



Relación de PM_{2,5} y Enfermedad Respiratoria Aguda en un territorio de Colombia: Modelos Aditivos Generalizados

Relationship between PM_{2.5} and Acute Respiratory Disease in a Colombian region: Generalized Additive Models

Hugo Grisales-Romero^{1*} orcid.org/0000-0001-5493-0009

Nora Montealegre² orcid.org/0000-0001-5824-4030

Juan Gabriel Piñeros³ orcid.org/0000-0002-9944-5397

Dorian Ospina⁴ orcid.org/0000-0003-2708-5190

Emmanuel Nieto⁵ orcid.org/0000-0001-9555-0651

1. Grupo de Investigación Demografía y Salud, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
2. Grupo de Investigación Sistemas de Información, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
3. Grupo de Investigación Salud y Ambiente, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
4. Universidad de Manitoba. Winnipeg, Canadá.
5. Grupo de Investigación Salud y Sociedad, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Fecha de recepción: Marzo 12 - 2021

Fecha de revisión: Junio 08 - 2021

Fecha de aceptación: Diciembre 20 - 2021

Grisales-Romero H, Montealegre N, Piñeros JG, Ospina D, Nieto E. Relación de PM_{2,5} y Enfermedad Respiratoria Aguda en un territorio de Colombia: Modelos Aditivos Generalizados. *Univ. Salud.* 2022;24(1):45-54. DOI: 10.22267/rus.222401.256

Resumen

Introducción: El efecto deletéreo de material particulado fino exterior sobre la salud respiratoria de la población de niños y de adultos mayores, es de interés en salud pública. **Objetivo:** Establecer el efecto de la contaminación por Material Particulado de menos de 2,5 µm de diámetro (PM_{2,5}), sobre la Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) en los menores de 5 y personas de mínimo 65 años, ajustado por variables meteorológicas y climáticas, en los municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Colombia), 2008 a 2015. **Materiales y métodos:** Estudio ecológico con información de la red de vigilancia de calidad del aire y de registros de prestación de servicios de salud. Se construyeron Modelos Aditivos Generalizados con función de enlace *Poisson* y suavización *spline*. Para cada rezago distribuido se calculó la medida de la asociación e intervalo de confianza. **Resultados:** Los casos de ERA aumentaron significativamente en los menores de 5 años en Envigado y Caldas (43,3% vs 29,6%) y en los de 65 y más años, en Medellín (13,2%) por cada incremento de 10 µg/m³ en PM_{2,5} al día quince a partir de la exposición. **Conclusiones:** Los eventos diarios respiratorios tuvieron especial frecuencia en Medellín y en municipios de la zona sur.

Palabras clave: Contaminación atmosférica; medio ambiente; enfermedades respiratorias; material particulado; salud. (Fuente: DeCS, Bireme).

Abstract

Introduction: The harmful effect of fine particulate matter on the respiratory health of child and elderly populations is a concern for public health. **Objective:** To establish the effect of pollution by less than 2.5 µm in diameter (PM_{2.5}) particulate matter on Acute Respiratory Disease (ARD) during 2008-2015 in children younger than 5 and adults older than 65 from the Metropolitan Area of the Aburrá Valley (Colombia), adjusting for meteorological and climate variables. **Materials and methods:** Ecological study with information from the air quality surveillance network and individual records of health providers. Generalized Additive Models were developed using smoothing spline Poisson models. The assessment of the association and confidence intervals were calculated for each distributed lag. **Results:** For each 10 µg/m³ increment in PM_{2.5} and the day 15 post-exposure, ARD cases increased significantly in populations who are younger than 5 and older than 65 in Envigado and Caldas (43.3% vs. 29.6%) and Medellín (13.2%), respectively. **Conclusions:** Daily respiratory events had a special frequency in Medellín and the municipalities of the southern region.

Keywords: Air pollution; environment; respiratory diseases; particulate matter; health. (Source: DeCS, Bireme).

***Autor de correspondencia**

Hugo Grisales-Romero
e-mail: hugo.grisales@udea.edu.co

epidemiológico de la salud ambiental cuyos resultados se suman a la amplia evidencia reportada por la literatura internacional^(9,28,36).

La problemática esbozada sustenta el efecto deletéreo del material particulado en general y PM_{2,5} en particular, en la salud por su capacidad de ocasionar eventos agudos de carácter infeccioso, especialmente en los grupos vulnerables como los menores de 5 años, los de 65 y más años, las gestantes y las personas con comorbilidades, especialmente de tipo respiratorio. Las estrategias de mitigación, mejoramiento de la calidad del aire se han acogido a través de diferentes proyectos tales como el de Sistemas de Alertas Tempranas de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA), que opera la red de monitoreo atmosférico, el inventario de emisiones y el pacto por el mejoramiento de la calidad del aire; este sistema ha permitido la implementación de 21 medidas de las cuales se destacan la no emisión de humo en la industria, la legalización de las actividades de extracción y disposición de desechos de la construcción, el transporte masivo público (metrocable, metroplus, tren metropolitano), el pico y placa ambiental, la renovación del parque automotor público y privado, el plan de descontaminación, así como la generación, aprovechamiento y fortalecimiento del conocimiento científico y tecnológico.

Se avizora que el trabajo mancomunado de los entes ambientes del AMVA tendrá un efecto positivo en la disminución de los eventos adversos a la salud de la población; el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá (PIGECA)⁽¹⁵⁾, en sus directrices ha impulsado acciones importantes como la obtención del aval de 13 métodos de medición basados en el Código de Regulaciones Federales de los Estados Unidos de América US-EPA (*Environmental Protection Agency*), que garantizan la obtención de datos en tiempo real del dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, O₃, PM_{1,0} y PM_{2,5}. Con ello se prevé avances en la consolidación y producción de la información cuantitativa, para los estudios ambientales requeridos por las autoridades afines competentes de carácter oficial.

Conclusiones

Los mayores incrementos, significativos, de los casos diarios de ERA, por cada aumento de 10 µg/m³ en PM_{2,5}, en los menores de 5 años, se presentaron en los

municipios de Envigado (43,3%), Girardota (37,2%), Caldas (29,6%), La Estrella (25,2%) y Medellín (18,3%). En las personas de 65 y más años los mayores incrementos fueron en Medellín (13,2%), Caldas (9,9%) y La Estrella, (5,4%). En general, el riesgo de presentación diaria de eventos respiratorios, se reflejaron especialmente en los municipios de la zona sur y en la ciudad de Medellín.

Limitaciones

Dadas las características del diseño fue imposible el control del sesgo ecológico ya que se asumió que la exposición se distribuyó homogéneamente en todo el grupo menor de cinco, 65 y más años, debido a que la medición es a nivel poblacional; además, no se consideraron las interacciones con otros contaminantes denominados de exposición simultánea. Sólo se abordaron los registros que refirieron la demanda atendida, con los RIPS, cuyas principales limitantes estriban en la captación del caso, del registro y la validación del diagnóstico.

Recomendaciones

Se recomienda avanzar en estudios de tipo individual para explorar y definir la exposición y su gradiente, el riesgo acumulado y los efectos de la contaminación por PM_{2,5} que permita trascender a la causalidad. También es importante realizar estudios que permitan la georreferenciación tanto de la morbilidad como de la mortalidad por eventos relacionados con la contaminación del aire, no sólo por PM_{2,5} sino que también incluya los demás contaminantes criterio, lo que permitirá el establecimiento de una línea de base que facilite la ubicación de las residencias y comunidades cerradas de niños y adultos y su posterior seguimiento.

Conflicto de intereses: Ninguno declarado por los autores.

Financiamiento

Este estudio fue financiado por el programa Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias, mediante convocatoria 744-2016 contrato No. 633-2017 y por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, contrato CCT 1133 de 2018.

Referencias

1. Calidad del aire [Internet]. OPS-OMS; 2020 [consultado 2021 Feb 11]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

2. Friedrich MJ. Air Pollution Is Greatest Environmental Threat to Health. *JAMA* [Internet]. 2018 Mar 20 [consultado 2021 Feb 13];319(11):1085. DOI: 10.1001/jama.2018.2366.
3. GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020;396(10258):1223-49. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30752-2.
4. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*. 2017;389(10082):1907-18. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30505-6.
5. Pope CA, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc*. 2006;56(6):709-42. DOI: 10.1080/10473289.2006.10464485.
6. Grzywa-Celińska A, Krusiński A, Milanowski J. 'Smoging kills' – Effects of air pollution on human respiratory system. *Ann Agric Environ Med*. 2020;27(1):1-5. DOI: 10.26444/aaem/110477.
7. Brugha R, Grigg J. Urban air pollution and respiratory infections. *Paediatr Respir Rev*. 2014;15(2):194-9. DOI: 10.1016/j.prrv.2014.03.001.
8. Observatorio Nacional de Salud. Carga de enfermedad ambiental en Colombia [Internet]. 2018 [consultado 2021 Feb 11]. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Resumenes Ejecutivos/Resumen ejecutivo informe10 Carga de enfermedad en Colombia.pdf>
9. Golub E, Klytchnikova I, Sanchez-Martinez G, Belausteguigoitia JC. Environmental Health Costs in Colombia The Changes from 2002 to 2010 [Internet]. Washington, DC: World Bank; 2014 [consultado 2021 Feb 11]. 63 p. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21096>
10. Rodríguez Villamizar LA, Herrera López AB, Castro Ortiz H, Niederbacher Velázquez J, Vera Cala LM. Incidencia de síntomas respiratorios y su asociación con contaminación atmosférica en preescolares: un análisis multinivel. *Cad Saude Publica*. 2010;26(7):1411-8. DOI: 10.1590/S0102-311X2010000700020.
11. Hernández-Flórez LJ, Aristizabal-Duque G, Quiroz L, Medina K, Rodríguez-Moreno N, Sarmiento R, et al. Air pollution and respiratory illness in children aged less than 5 years-old in Bogotá, 2007. *Rev salud pública*. 2013;15(4):503-16. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/38719>
12. Herrera-Torres AM, Echeverri-Londoño CA, Maya-Vasco GJ, Ordoñez-Molina JE. Patologías respiratorias en niños preescolares y su relación con la concentración de contaminantes en el aire en la ciudad de Medellín (Colombia). *Rev Ing Univ Medellín* [Internet]. 2011;10(19):21-32. Disponible en: <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/435>
13. Rodríguez-Villamizar LA, Rojas-Roa NY, Blanco-Becerra LC, Herrera-Galindo VM, Fernández-Niño JA. Short-Term Effects of Air Pollution on Respiratory and Circulatory Morbidity in Colombia 2011–2014: A Multi-City, Time-Series Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(8):1610. DOI: 10.3390/ijerph15081610.
14. Plan Decenal de Salud Pública, 2012-2021 [Internet]. Ministerio de Salud y Protección Social. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Paginas/home2013.aspx>
15. Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (PIGECA 2017–2030) [Internet]. Area Metropolitana del Valle de Aburra; 2017. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Gestion-integral/PIGECA.aspx>
16. Sevillano E. Niños y ancianos, los más vulnerables a la contaminación por PM2,5. EL PAÍS: Madrid. 2021 Jan 11 [consultado 2021 Feb 27]. Disponible en: https://elpais.com/diario/2011/01/11/madrid/1294748654_850215.html
17. Vargas S, Onatra W, Osorno L, Páez E, Sáenz O. Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños, en mujeres embarazadas y en adultos mayores. *Rev UDCA Actual Divulg Científica*. 2008;11(1):31-45. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v11n1/v11n1a06.pdf>
18. Shakil S, Keilholz SD, Lee C-H. On frequency dependencies of sliding window correlation. In: Proceedings - 2015 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine, BIBM 2015 [Internet]. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2015 [consultado 2021 Jun 11]. p. 363–8. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7359708>
19. Li H. Nonsymmetric Dependence Measures: the Discrete Case. 2015 [consultado 2021 Jun 11]. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/1512.07945>
20. Stegmann G, Jacobucci R, Harring JR, Grimm KJ. Nonlinear Mixed-Effects Modeling Programs in R. *Struct Equ Model* [Internet]. 2018 Jan 2 [consultado 2021 Jun 11];25(1):160–5. DOI: 10.1080/10705511.2017.1396187.
21. IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2014: synthesis report. In: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC [Internet]; 2014 [consultado 2021 Jun 12]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf.
22. OMS. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: actualización mundial 2005 [Internet]. 2006. [consultado 2021 Feb 24]. 28 p. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf
23. Wood S. Generalized Additive Models: An Introduction with R. 2nd ed. Boca Raton, USA: CRC Press; 2017 [consultado 2021 Jun 16]. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=HL-PDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=+Generalized+Additive+Models:+An+Introduction+with+R&ots=NqTieitBn6&sig=O-l5Zz2ACTvaHu9nSv4IA7D2n_8#v=onepage&q&f=false
24. Hastie TJ, Tibshirani R. Generalized Additive Models. Statistical Models in S [Internet]. Routledge; 1992 [consultado 2021 Jun 14]. Disponible en: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203738535-7/generalized-additive-models-trevor-hastie>
25. Schwartz J. Nonparametric smoothing in the analysis of air pollution and respiratory illness. *Can J Stat* [Internet]. 1994

- Dec [consultado 2021 Feb 11];22(4):471-87. DOI: 10.2307/3315405.
26. Peng RD, Dominici F. Statistical methods for environmental epidemiology with R: a case study in air pollution and health [Internet]. New York, USA: Springer; 2008 [consultado 2021 Feb 11]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=372584>
 27. Keller W, Borkowski A. Thin plate spline interpolation. *Artic J Geod* [Internet]. 2019 [consultado 2021 Feb 27]. DOI: 10.1007/s00190-019-01240-2.
 28. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud de los habitantes del Valle de Aburrá. 2008-2015 [Internet]. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia; 2019 [consultado 2021 Feb 13]. 116 p. Disponible en: https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Re-analisis/ContaminacionAtmosferica_y_sus_Efectos_en_la_Salud-AMVA_2019.pdf
 29. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 2254 del 1 de noviembre del 2017 Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones [Internet]. 2017 [consultado 2021 Feb 24]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Resolucion-2254-de-2017.pdf>
 30. Velásquez García MP. Caracterización meteorológica de la atmosfera en presencia de nubes bajas sobre zona plana del Valle en el Aburra [Tesis de grado]. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia; 2019 [consultado 2021 Jun 15]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/InvestigacionSIATA/Tesis-Characterizacion-Atmosfera.pdf>
 31. Porta A, Sanchez EY, Colman Lerner E, Massolo L, Gutierrez M, Orte M, et al. Calidad Del Aire: Monitoreo y modelado de contaminantes atmosféricos. Efectos en la salud pública [Internet]. Buenos Aires, Argentina; Universidad de La Plata; 2018 [consultado 2021 Jun 15]. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/136723/CONICET_Digital_Nro.14856eb7-05bd-4812-a99e-50ed2b7552e4_V.pdf?sequence=5&isAllowed=y
 32. Mendez Espinosa JF, Pinto Herrera LC, Belalcázar Cerón LC. Study of a Saharan Dust Intrusion into the Atmosphere of Colombia. *Ing Univ Medellín* [Internet]. 2018 [consultado 2021 Feb 24];17(32):17-34. DOI: 10.22395/rium.v17n32a1.
 33. Bernstein JA, Alexis N, Barnes C, Bernstein IL, Bernstein JA, Nel A, et al. Health effects of air pollution. *J Allergy Clin Immunol* [Internet]. 2004 Nov 1 [consultado 2021 Jun 15];114(5):1116-23. DOI: 10.1016/j.jaci.2004.08.030.
 34. Pope CA, Ezzati M, Dockery DW. Fine-Particulate Air Pollution and Life Expectancy in the United States. *N Engl J Med* [Internet]. 2009 Jan 22 [consultado 2021 Feb 13];360(4):376-86. Disponible en: <http://www.nejm.org/doi/abs/10.1056/NEJMsa0805646>
 35. Arouca S. La historia natural de las enfermedades. *Rev Cuba Salud Pública* [Internet]. 2018 [consultado 2021 Feb 24];44(4):220-8. Disponible en: <https://www.scielosp.org/article/rcsp/2018.v44n4/220-228/es/>
 36. Ortega-García JA, Sánchez-Solís M, Ferrís-Tortajada J. Air pollution and children's health. *An Pediatr* [Internet]. 2018 Aug 1 [consultado 2021 Feb 27];89(2):77-9. DOI: 10.1016/j.anpedi.2018.04.017.