

Contaminación ambiental y enfermedades agudas y crónicas del tracto respiratorio alto y bajoDiana Carolina López Medina¹  Marcela Henao Pérez²  Víctor Hugo Aristizábal Tique³  

Recibido: 15 de agosto de 2024 – Aceptado: 26 de mayo de 2025 – Actualizado: 18 de Junio de 2025

DOI: 10.17151/luaz.2024.59.5**Resumen**

La contaminación atmosférica tiene una gran influencia en la salud y bienestar del ser humano, considerada uno de los principales factores de riesgo que favorece la presencia de enfermedades cardiorrespiratorias. Bello es un municipio del Valle de Aburrá, situado en la desembocadura de la cuenca hidrográfica. Su ubicación geográfica, junto con una alta densidad poblacional, una intensa actividad industrial y un importante tráfico vehicular, crea condiciones que pueden agravar la degradación ambiental y aumentar la exposición a contaminantes atmosféricos. El objetivo de este estudio fue correlacionar los valores medidos de contaminantes criterio con el número de consultas según localización y presentación (aguda o crónica) de las enfermedades respiratorias, en los meses de contingencia atmosférica en los años 2016 y 2017. Metodología: cuantitativo, observacional, retrospectivo, tipo ecológico, exploratorio correlacional por tiempo de latencia entre la exposición al factor ambiental y consulta médica por afecciones clínicas del tracto respiratorio. Resultados: el tiempo de latencia entre la exposición y las consultas para enfermedad respiratoria baja aguda se dio luego del segundo día de exposición al PM 2.5 y PM 10; para enfermedad respiratoria baja crónica-agudizada se aumentaron las consultas por exposiciones a PM 2.5 al quinto día y para enfermedad respiratoria alta aguda luego del sexto día de exposición a NOx, PM 2.5 y PM 10. Conclusiones: La exposición a PM 2.5 se relacionó con la presentación de enfermedades del tracto respiratorio alto y bajo tanto agudas como crónicas. El PM 10 se relacionó con las enfermedades agudas del tracto respiratorio alto y bajo, mientras que la exposición a NOx se asoció solo a patologías del tracto respiratorio alto. Los resultados sugieren una posible asociación entre los contaminantes criterio y la morbilidad respiratoria. Aunque no se puede establecer causalidad, estos resultados podrían orientar políticas públicas de control ambiental enfocadas en la protección de la salud y la equidad.

Palabras clave: contaminación aérea, contaminantes atmosféricos, control de la calidad del aire, efectos de la contaminación del aire, enfermedades del tracto respiratorio. (Fuente: *Tesaurus Ambiental para Colombia*)

Environmental Pollution and Acute and Exacerbated Chronic Respiratory Tract Diseases

Abstract

Air pollution significantly impacts human health and well-being and is a key risk factor in the development of cardiorespiratory conditions. The municipality of Bello, located in the Aburrá Valley at the mouth of a major watershed, faces acute environmental challenges due to high population density, intensive industrial activity, and elevated vehicular traffic. These conditions increase human exposure to atmospheric pollutants. This study aims to correlate levels of measured criteria pollutants with the number of medical consultations for upper and lower respiratory tract conditions, classified as acute or chronic, during pollution contingency periods in 2016 and 2017.

Methodology: A quantitative, observational, retrospective, ecological, and exploratory study was conducted, focusing on latency periods between environmental exposure and medical consultations. **Results:** Consultations for acute lower respiratory tract infections increased after two days of exposure to PM_{2.5} and PM₁₀. Exacerbated chronic lower respiratory conditions were associated with exposure to PM_{2.5} after five days, while acute upper respiratory infections increased after six days of exposure to NO_x, PM_{2.5}, and PM₁₀. **Conclusions:** Exposure to PM_{2.5} was associated with both acute and chronic respiratory diseases of the upper and lower tract. PM₁₀ exposure was linked to acute conditions, and NO_x exposure was associated primarily with acute upper respiratory conditions. While causality cannot be definitively established, these findings suggest a strong correlation and may inform public health policies focused on environmental monitoring and respiratory health equity.

Keywords: Air pollution, atmospheric pollutants, air quality control, respiratory diseases, environmental health. (*Source: Environmental Thesaurus for Colombia*)

Introducción

La contaminación atmosférica se define como la presencia de sustancias nocivas para la salud de los ecosistemas, incluido el ser humano (EPA, 2009). Se divide en contaminación ambiental y contaminación doméstica. Ambas fuentes de contaminación son reconocidas como perjudiciales para la salud, siendo responsables en el año 2012 de una de cada nueve muertes, además de afectar la calidad de vida de los habitantes y la economía de los países, convirtiéndose en una emergencia sanitaria (WHO, 2016).

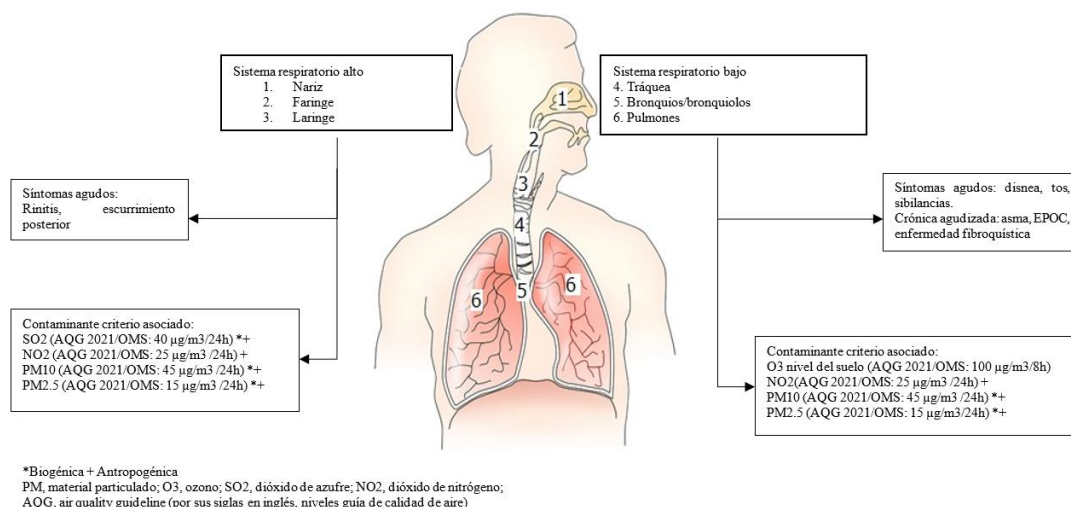
Las sustancias nocivas se clasifican en función de su naturaleza, fuente de origen y tiempo de exposición. Según su naturaleza están los contaminantes primarios que son los que se vierten directamente a la atmósfera, como el monóxido de carbono (CO) y los contaminantes secundarios que son los que se generan por reacción química, entre estos se destacan los óxidos de nitrógeno (NO_x). Por su origen están los denominados como biogénicos cuando los produce la naturaleza o antropogénicos cuando los genera el ser humano (Ubilla & Yohannessen, 2017). Según el tiempo de exposición están los agudos o de 24 horas y los crónicos que son aquellos que tienen más de un año (WHO, 2006).

Basados en su naturaleza y fuente de emisión, la Agencia Ambiental de Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA) (EPA, 2009), los agrupa en contaminantes criterio, como

los regulados y vigilados por su impacto en la salud y medio ambiente. En la [Figura 1](#) se describen los contaminantes criterio, su origen, nivel normativo en exposiciones agudas y efectos en el tracto respiratorio alto y bajo (WHO, 2021).

Figura 1

Contaminantes criterio, su origen, nivel normativo y efectos en el tracto respiratorio



Fuente: elaboración propia.

Con respecto al efecto de la contaminación del aire en la salud humana, la Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce que un factor de riesgo relevante para las enfermedades no transmisibles, además, ha estimado que alrededor de 7 millones de personas mueren cada año por la exposición a partículas finas en el aire que afectan al sistema cardiopulmonar, favoreciendo enfermedades como accidentes cerebro- vasculares, cardiacos, cáncer de pulmón, enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias. La contaminación del aire por sí sola causó alrededor de 4,2 millones de muertes en el año 2016. Se debe tener en cuenta, que más del 90% de las muertes relacionadas con la contaminación del aire, sucede en países en desarrollo (Prüss-Üstün, Wolf, Corvalán, Bos, & Neira, 2016).

La calidad del aire en el Valle de Aburrá ha sido un tema de interés en salud pública desde la década de 1990, dada la creciente preocupación por los efectos adversos de la contaminación atmosférica sobre la salud de la población. En el año 2001 se inició el monitoreo sistemático de emisiones mediante diversos sistemas de modelamiento atmosférico. Posteriormente, el Acuerdo Metropolitano N°. 8 de marzo de 2011 declaró al Valle de Aburrá como área fuente de contaminación, y en 2016, mediante el Acuerdo Metropolitano N°. 15, se aprobó el Plan Operacional para Enfrentar Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica (POECA), como parte del Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire (PIGECA) (AMVA, 2019a; 2019b). En este contexto, la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Salud y Protección Social establece niveles de referencia

para contaminantes atmosféricos prioritarios en el país, con el fin de orientar intervenciones y políticas públicas enfocadas en la protección de la salud humana. Esta normativa, basada en los lineamientos internacionales, constituye un referente técnico fundamental para la vigilancia ambiental y la gestión del riesgo en salud pública, especialmente en entornos urbanos como el Valle de Aburrá (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Entre el 18 de marzo de 2016 y el 22 de marzo de 2017, se declara nivel de contingencia atmosférica en la jurisdicción del área metropolitana del Valle de Aburrá por medio de las resoluciones metropolitanas No. 000379 y 000395, respectivamente (AMVA, 2016, 2017).

Según el Instituto Nacional de Salud, en Colombia se producen 17.549 muertes asociadas a factores de riesgo ambiental, de las cuales, 15681 son atribuibles a la contaminación del aire (INS, 2018).

El sistema respiratorio es el más afectado ante la exposición aguda a contaminantes criterio o primarios. Las afecciones del tracto respiratorio alto se presentan con mayor frecuencia en las personas jóvenes y usualmente de forma aguda, mientras que el compromiso inferior es más frecuente en personas adultas o con preexistencias como el asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (Ardusso, 2019) ([Figura 1](#)).

La contaminación del aire afecta el desarrollo estructural y funcional del aparato respiratorio, induciendo estrés oxidativo, fomentando un medio proinflamatorio y cambios epigenéticos, favoreciendo así el desarrollo del cáncer pulmonar, EPOC en poblaciones adultas, asma e infecciones respiratorias agudas (IRA) en todos los grupos etarios (Ardusso, 2019).

En el estudio *Contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud de los habitantes del Valle de Aburrá, 2008-2015* (Piñeros-Jiménez et al., 2018), encontró relaciones entre el aumento de la morbilidad respiratoria y circulatoria con el efecto acumulado (15 días) ante el aumento (10 µg/m³) promedio diario de los contaminantes O₃, PM 10 y 2.5. Para el año 2016, en Bello Antioquia las infecciones respiratorias ocuparon la cuarta causa de muerte (Alcaldía-de-Bello, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este estudio es correlacionar los valores medidos de contaminantes criterio con el número de consultas según localización y presentación (aguda o crónica) de las enfermedades respiratorias, además de un análisis de los tiempos de latencia para explorar el periodo crítico que desencadena un aumento en el número de consultas, en los meses de enero a marzo de los años 2016 y 2017, periodos en los cuales se han generado las declaraciones de contingencia atmosférica en el Valle de Aburrá.

Materiales y método

Este estudio es de carácter cuantitativo, observacional, retrospectivo y ecológico. Con un enfoque exploratorio, dividido en dos unidades de análisis, la primera, corresponde a los contaminantes ambientales durante el primer trimestre de los años 2016 y 2017 en el municipio de Bello-Antioquia, periodo caracterizado por una alarmante contingencia ambiental. Y la segunda unidad, hace referencia a los datos clínicos de las consultas de origen respiratorio generadas durante el mismo tiempo en un hospital público de segundo nivel de la región. También, se formaron grupos

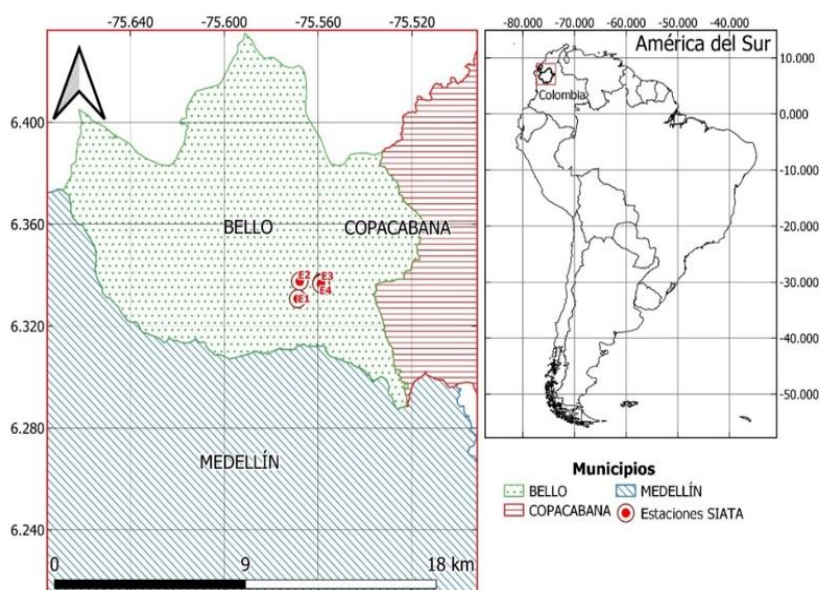
poblacionales de análisis, correspondientes a pacientes con enfermedades respiratorias agudas y crónicas agudizadas.

Localización Bello es un municipio del Valle de Aburrá en Antioquia (Colombia), con coordenadas 6.331944, -75.558056, ubicado a 1310 metros sobre el nivel del mar, con un área total de 149 km² (Figura 2). Se encuentra inmerso entre montañas, con una alta cifra poblacional y con importantes problemas relacionados con la industria y el transporte, lo cual favorece condiciones ambientales precarias.

Los valores medidos de las variables de interés sobre calidad del aire para este estudio fueron obtenidos de las estaciones del SIATA (Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá) que están ubicadas en el municipio de Bello. Estas estaciones se muestran en la Figura 2.

Figura 2

Ubicación continental, nacional y regional de la zona de estudio, junto a la localización de las estaciones de medida de calidad de aire del SIATA



Fuente: elaboración propia

Factor ambiental

Se obtuvieron datos sobre las concentraciones de material particulado presentes en el aire en tiempo real entre el 1 de enero y el 31 de marzo de los años 2016 y 2017, esta información fue obtenida de la estación de control del aire de la Universidad de San Buenaventura, correspondiente a la estación número 2 (Figura 2), consultado en el SIATA. Para las partículas medidas en este estudio se tomó como parámetro lo establecido en el 2021 por la Organización Mundial de la Salud para exposiciones en 24 horas, según las Directrices Globales de Calidad del Aire (AQG)(WHO, 2021). La

concentración media diaria de cada contaminante se calculó a través de medidas de tendencia central y dispersión media y desviación estándar.

La estimación de la exposición ambiental se realizó utilizando datos provenientes de una única estación de monitoreo de calidad del aire, es decir, la de estación de la Universidad de San Buenaventura, ubicada en el municipio de Bello. Si bien esta fuente proporciona datos en tiempo real con alta resolución temporal, su cobertura espacial es limitada. En consecuencia, se asume que los niveles de contaminación registrados por esta estación son representativos de la exposición promedio de la población del municipio. Esta aproximación puede introducir un sesgo espacial, al no capturar la variabilidad geográfica en los niveles de contaminación entre zonas industriales, residenciales y de tráfico vehicular. Además, no fue posible controlar otras fuentes potenciales de exposición, como ambientes laborales industriales o el uso de biomasa en interiores, lo cual podría actuar como factor de confusión. Estas limitaciones deben considerarse al interpretar los resultados del estudio y al evaluar la generalización de sus hallazgos.

Factor clínico

Se seleccionó la información de las historias clínicas de pacientes mayores de un año que consultaron al hospital por síntomas respiratorios. Se excluyeron las historias clínicas de personas que vivieran, trabajaran o estudiaran en municipios diferentes al de interés. Los datos obtenidos incluían la edad, sexo, diagnóstico al momento del alta según la décima revisión de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10). Se agruparon las enfermedades respiratorias según el nivel comprometido del tracto respiratorio y si eran agudas o crónicas.

Análisis epidemiológico

Para el cálculo de la frecuencia de las enfermedades se usaron los datos reportados en el anuario estadístico de Bello 2018 y se eliminaron los registros de reconsultas dentro de los 15 días siguientes a una consulta o alta hospitalaria. Se determinó la frecuencia puntual de enfermedades respiratorias por nivel del compromiso del tracto por cada 10,000 habitantes.

Descripción del conjunto de datos y resumen de sus atributos

Los datos de los contaminantes del aire corresponden a NO_x, NO₂, O₃, PM 2.5 y PM 10, y el número de consultas por eventos de origen respiratorio se organizó en tres categorías: Enfermedades Respiratorias Altas Agudas (ERAA), que incluyen a la sinusitis, faringitis, rinitis alérgica, amigdalitis, otitis, laringitis y rinofaringitis; Enfermedades Respiratorias Bajas Agudas (ERBA), que comprenden la neumonía y bronquitis; y Enfermedades Respiratorias Bajas Crónicas (ERBC), que engloban la enfermedad obstructiva crónica y el asma.

Hay heterogeneidad en el número de datos reportados por variable y están organizadas en columnas, es decir, en algunas columnas se informan datos diarios, con datos faltantes, en otras columnas se informan datos cada minuto, resultando finalmente en tamaños de columna diferentes. Por ejemplo, para el PM 2.5, PM 10, NO_x, NO₂ y O₃ la estación reportó 78, 2058, 1802, 1824, 2091 datos, respectivamente, mientras que para todas las consultas ERAA, ERBA y ERBC se reportaron 90 datos correspondientes a los 90 días del primer trimestre del 2017. Esta heterogeneidad en el número de datos se puede evidenciar en la Figura 4, donde se aprecia algunos valles que caen a cero, y esto se debe a que en estas zonas la estación no reportaba datos debido a

problemas técnicos o de mantenimiento. Además, se observa en la figura correspondiente al PM 2.5, que la estación reportó el valor promedio diario por lo que no presenta curva de valores máximo y mínimos, y los bigotes de la desviación estándar.

Por la falta de datos en el trimestre estudiado del año 2016, solo se tuvieron en cuenta los informes del 2017 para la realización de los análisis de correlación y tiempo de latencia.

Limpieza e imputación de datos, e ingeniería de características

En primer lugar, se creó un nuevo archivo con 90 filas y 9 columnas para estructurar los datos. Las 90 filas corresponden al número de días del primer trimestre de 2017, y las 9 columnas corresponden a las variables: fecha, PM 2.5, PM 10, NOx, NO2, O3, ERAA, ERBA y ERBC. En segundo, se calculó la media diaria de todos los contaminantes del aire desde el archivo original, con la excepción del PM2.5 donde la información fue reportada diariamente por la estación, luego se reemplazan estos valores en el nuevo archivo creado. En tercer lugar, usando la biblioteca Scikit-learn en Python (Pedregosa et al., 2011), se hace imputación de datos mediante el algoritmo KNN (K-Nearest Neighbors o k-vecinos más cercanos) para completar los valores faltantes en cada una de las columnas de las variables ambientales del nuevo archivo, donde se tomaron 6 vecinos y la distancia fue tomada como función de peso, esto implica que los vecinos más cercanos de un punto a imputar tendrán una mayor influencia que los vecinos más alejados. Si bien esta técnica permite recuperar información y conservar la estructura del conjunto de datos, su uso en contextos con alta variabilidad temporal, como es el caso de la calidad del aire en Bello, puede introducir incertidumbre en las estimaciones.

Análisis estadístico

Usando la biblioteca Scipy en Python (The_SciPy_community, s.f.), se realizó un análisis de correlación bivariado entre las variables ambientales y clínicas mediante el coeficiente r de Pearson, y para analizar la significancia estadística de la asociación, se calculó el valor p para una prueba de hipótesis cuya hipótesis nula es que la pendiente es cero, utilizando la Prueba de Wald con distribución t del estadístico de prueba. Todo esto se realizó para latencias de 0-7 días, es decir, para un día determinado se estudió la relación entre el número de visitas de cada grupo de enfermedades con los niveles diarios de los contaminantes de cero a siete días previos a la visita. Sin embargo, este enfoque no incluye ajustes por variabilidad climática intraanual ni por eventos externos (como brotes epidémicos o cambios súbitos en las condiciones atmosféricas), los cuales podrían influir en el número de consultas durante el período analizado. Esta omisión representa una limitación.

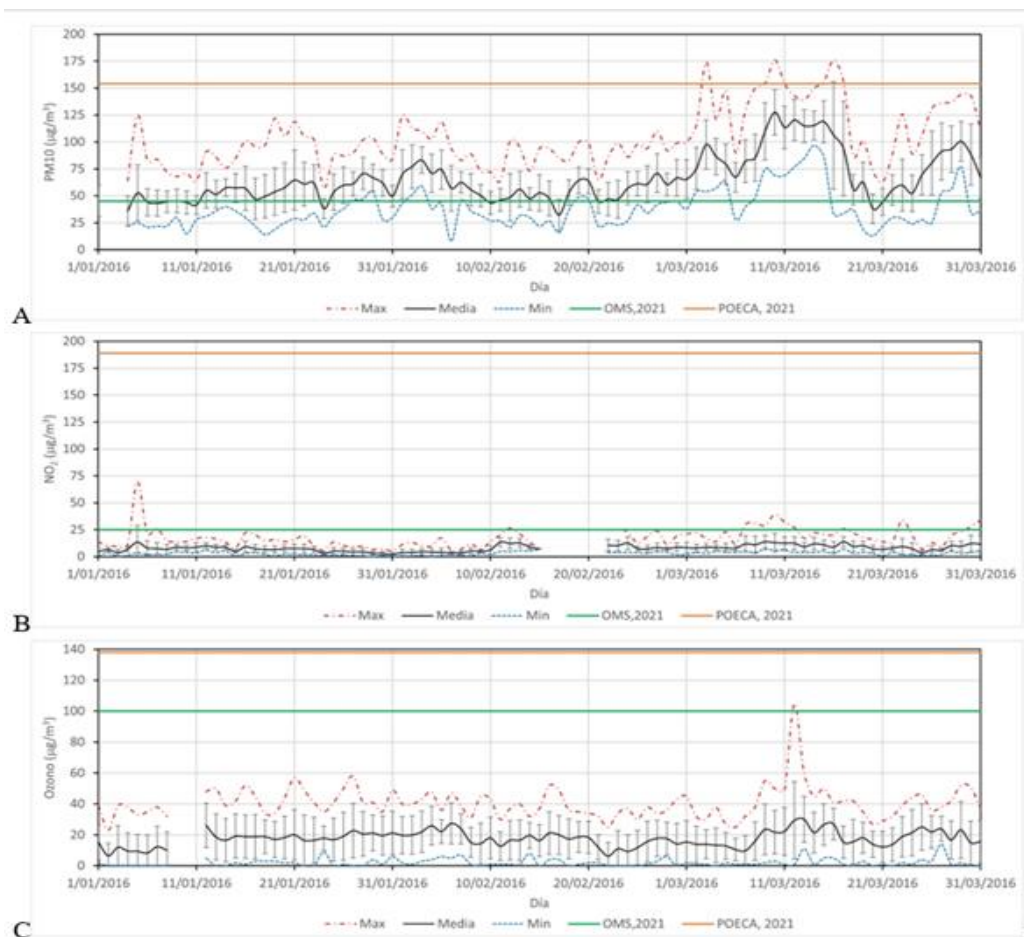
Resultados

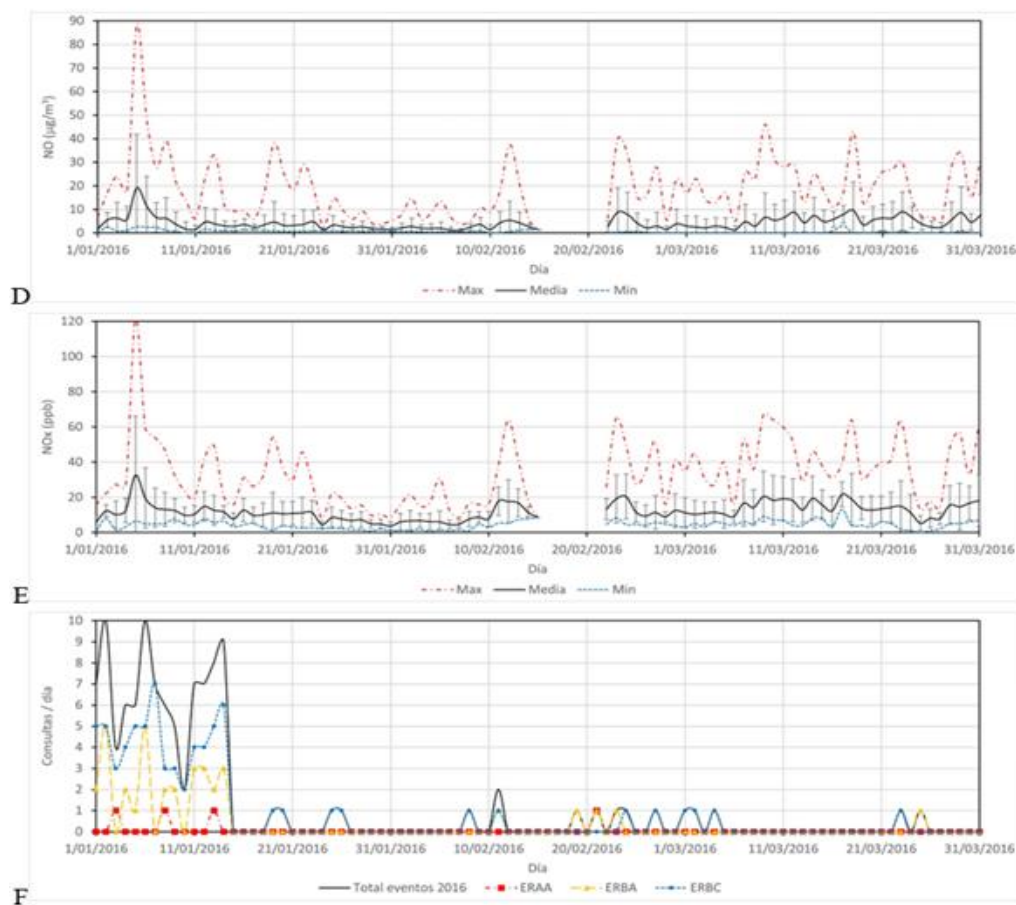
Contaminación ambiental

En las [Figuras 3 y 4](#) se muestra los valores de los componentes registrados en la estación E1, junto con el número de consultas atendidas en la institución de salud.

Figura 3

Valores diarios de contaminantes registrados en la E1 durante el primer trimestre de 2016

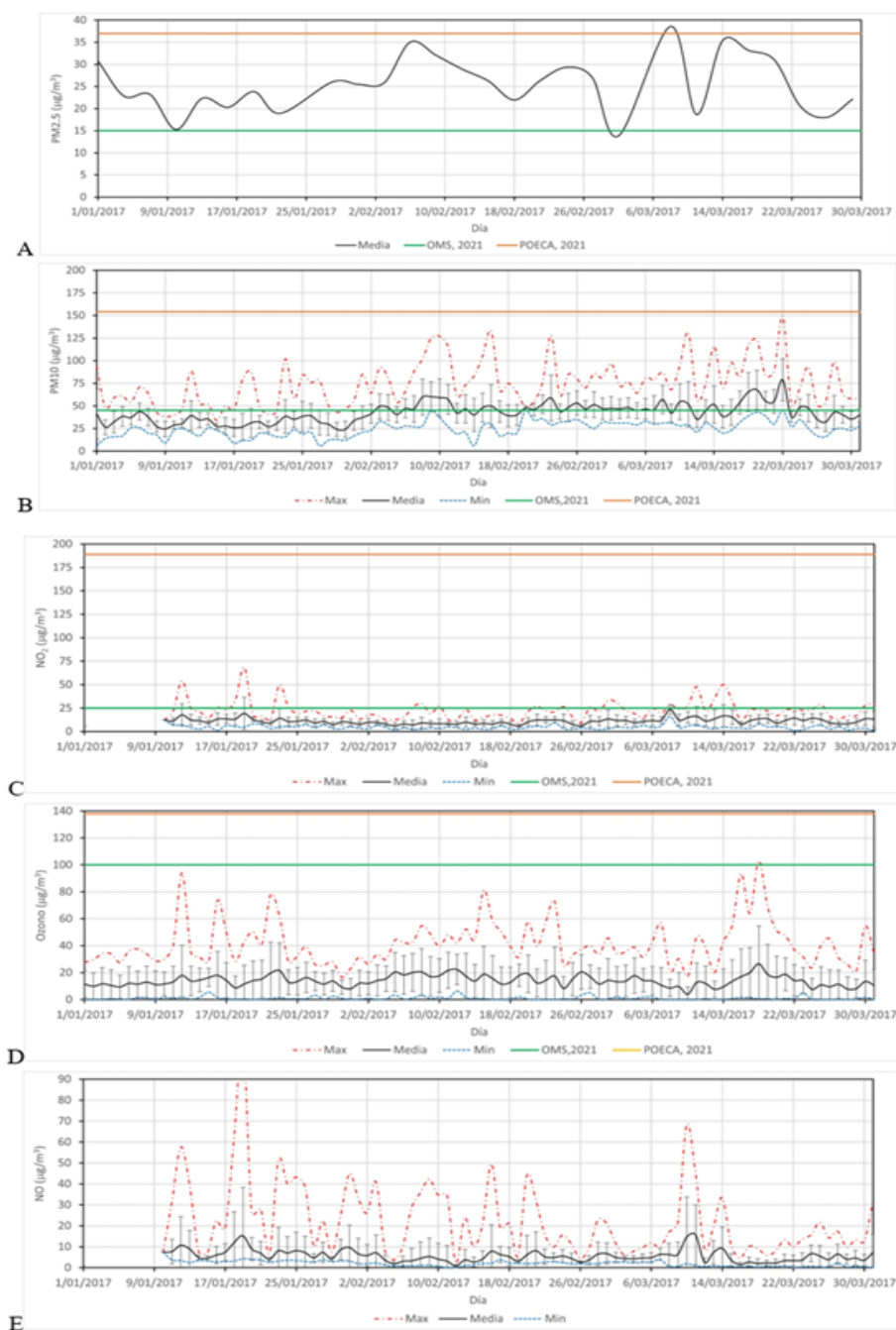


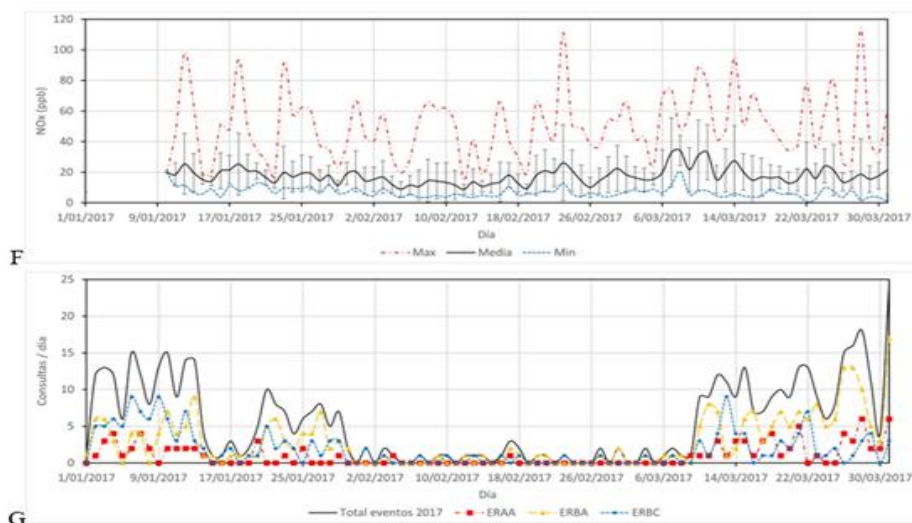


Nota. Valores diarios medidos para el primer trimestre del 2016 en la estación E1 para el PM10 (A), NO₂ (B), Ozono (C), NO (D) y NO_x (E), y en la última figura se muestra el número de consultas atendidas por la institución de salud (F). En las figuras, la curva roja segmentada representa el valor máximo medido durante el día, la curva azul punteada representa el valor mínimo medido durante el día, la curva negra continua representa el valor promedio del día completo y los bigotes representa la desviación estándar del grupo de datos capturados durante el día por la estación E1. La línea horizontal verde corresponde a los parámetros OMS 2021. La línea horizontal naranja corresponde al nivel de alerta naranja de contingencia del Índice de Calidad del Aire (ICA) del Acuerdo Metropolitano No. 15 de 2016. Fuente: elaboración propia.

Figura 4

Valores diarios de contaminantes registrados en la E1 durante el primer trimestre de 2017





Nota. Valores diarios medidos para el primer trimestre del 2017 en la estación E1 para el PM_{2.5} (A), PM₁₀ (B), NO₂ (C), Ozono (D), NO (E) y NO_x (F), y en la última figura se muestra el número de consultas atendidas por la institución de salud (G). En las figuras, la curva roja segmentada representa el valor máximo medido durante el día, la curva azul punteada representa el valor mínimo medido durante el día, la curva negra continua representa el valor promedio del día completo y los bigotes representan la desviación estándar del grupo de datos capturados durante el día por la estación E1. La línea horizontal verde corresponde a los parámetros OMS 2021. La línea horizontal naranja corresponde al nivel de alerta naranja de contingencia del Índice de Calidad del Aire (ICA) del Acuerdo Metropolitano No. 15 de 2016. Fuente: elaboración propia.

Con respecto al PM 10 para ambos periodos, se observó un registro máximo que superó el límite fijado localmente por el POECA, siendo en marzo donde se presentaron los picos más elevados. Según el umbral determinado por la OMS en el 2021 y tomando en cuenta el promedio, sin relacionar los datos máximos registrados, se evidenció desde la segunda semana de enero del 2016 niveles por encima de este umbral de forma continua, mientras que en el año 2017 el promedio del registro se presentó por encima del umbral, pues se evidenciaron, cuatro días continuos en febrero y seis días continuos en marzo.

El promedio PM 2.5 para enero-marzo del 2017 permaneció de forma continua por encima del límite de la OMS.

Para los contaminantes nitrogenados (NO_x, NO y NO₂) el comportamiento es muy variado mes a mes, con picos de corta duración tanto para el trimestre del 2016 como para el 2017.

El ozono presentó un pico máximo de registro que superó el nivel de la OMS, para ambos años en la segunda semana de marzo.

El compromiso del tracto respiratorio bajo generó el mayor número de consultas en ambos años.

Enfermedad respiratoria

Para el primer trimestre de 2016, 61 atenciones cumplieron con los criterios de inclusión. Para el mismo período del 2017, 420 registros cumplieron con los criterios. Para ambos años las enfermedades respiratorias bajas agudas fueron las que más demandaron servicios médicos, seguidos por las patológicas respiratorias bajas crónicas agudizadas, generando las estancias hospitalarias más prolongadas ([Tabla 1](#)).

Tabla 1

Descripción sociodemográfica y clínica de los pacientes con enfermedades respiratorias aguda o crónica agudizada por año

	2016			2017		
	ERAA (4) n (%)	ERBA (32) n (%)	ERBC (17) n (%)	ERAA (77) n (%)	ERBA (231) n (%)	ERBC (80) n (%)
Edad *	29.5 (25.5)	75 (23)	62 (31)	4 (7)	45 (59.5)	70.5 (19.5)
Sexo (mujer)	3 (75)	20 (62.5)	10 (58.8)	37 (48,1)	113 (48.9)	42 (52.5)
Seguridad social						
Contributivo	2 (50)	21 (65.6)	12 (70,6)	44 (57,1)	136 (58.9)	51 (63.8)
Subsidiado	1 (25)	11 (34.4)	5 (29,4)	29 (37,7)		25 (31.3)
Régimen Especial	1 (25)	0	0	3 (3,9)	87 (37.7)	4 (5)
Vinculado	0	0	0	0	8 (3.5)	0
Sin dato	0	0	0	1 (1,3)	0	0
					0	
Trabajador activo (si)	2 (50)	7 (21.9)	8 (47.1)	4 (5.2)	4 (1.7)	0
Exposición a biomasa (si)	0	1 (3.1)	0	1 (1,3)	4 (1.7)	1 (1.3)
	4 (100)	31 (96.9)	16 (94.1)	27 (35.1)	46 (19.9)	65 (81.3)
Sin dato						
Tabaquismo						
Activo	0	1 (3.1)	0	0	1 (0.4)	3 (3.8)
Pasivo	0	1 (3.1)	0	4 (3.9)	10 (4.3)	7 (8.8)
Exfumador	0	3 (9.4)	2 (11.8)	2 (2,6)	8 (3.5)	18 (22.5)
Nunca ha fumado	1 (25)	2 (6.3)	1 (5.9)	54 (70.1)	155 (67.1)	5 (6.3)
Sin dato	3 (75)	26 (81.3)	14 (82,4)	18 (23.4)		47 (58.8)
					57 (24.7)	
Antecedente personal						
HTA	0	6 (18.8)	3 (17.6)	1 (1.3)	6 (2.6)	29 (36.3)
DM	0	4 (12.5)	0	1 (1.3)	7 (24.7)	13 (16.3)
Obesidad	0	0	0	0	0	1 (1.3)
EPOC	0	10 (31.3)	3 (17.6)	0	0	63 (78.8)
Asma	0	0	15 (88.2)	4 (5.2)	0	15 (18,8)
Rinitis	0	0	1 (5.9)	1 (1.3)	0	3 (3.8)
Número de atenciones	4	35	22	82	253	85

Tipo de atención+							
Consulta	sin	4 (100)	23 (65.7)	15 (68.2)	70 (85.4)	180	53 (62.4)
hospitalización		0	9 (25.7)	2 (9.1)	5 (6.1)	(71.1)	25 (29.4)
Consulta	con	0	0	5 (22.7)	6 (7.3)	49 (19.4)	3 (3.5)
hospitalización		0	3 (8.6)	0	1 (1.2)	21 (8.3)	4 (4.7)
RC ≤15 días	sin					3 (1.2)	
hospitalización							
RC ≤15 días	con						
hospitalización							
Días de hospitalización*		0	9 (4)	18.5 (9.5)	6 (6.75)	5 (4)	9 (8.5)
Máximo		0	28	28	13	28	27
Mínimo		0	1	9	2	1	2

ERAA, enfermedades respiratorias altas agudas; ERBA, enfermedades respiratorias bajas agudas; ERBC, enfermedades respiratorias bajas crónicas agudizadas; HTA, hipertensión arterial; DM, diabetes mellitus; EPOC, enfermedad pulmonar obstructiva crónica; RC, reconsulta.

*Mediana (RIC)

+La proporción del tipo de atención se calcula del total de número de atenciones.

Fuente: elaboración propia.

En la [Tabla 2](#) se presenta la descripción sociodemográfica y clínica por pacientes atendidos durante los períodos observados y no por número de atenciones, la edad de consulta de las ERAA fue mayor en los jóvenes para el 2016, mientras que para el 2017 la mitad de los pacientes eran menores de edad. En la mayoría de los pacientes no fue reportada la exposición a biomasa, ni al tabaquismo ([Tabla 1](#)).

Tabla 2

Frecuencia de enfermedades respiratorias por grupo de edad

Edad	Población*	ERAA		ERBA		ERBC	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017
0-4	39127	0.26	15.59	2.04	39.87	0.00	0.26
5-9	38739	0.00	2.58	0.52	4.39	0.26	0.52
10-14	39570	0.00	0.51	0.00	2.27	0.25	0.25
15-19	41351	0.00	0.00	0.24	0.24	0.24	0.24
20-24	46139	0.00	0.65	0.22	1.30	0.22	0.43
25-29	45688	0.22	0.66	0.44	2.63	0.22	0.22
30-34	39942	0.25	0.25	0.25	1.75	0.25	0.25
35-39	37450	0.00	0.53	0.27	2.94	0.53	0.00
40-44	33976	0.00	0.29	0.00	1.47	0.00	0.00
45-49	28518	0.00	0.70	1.05	1.05	0.00	1.40
50-54	25533	0.00	0.39	0.00	1.57	0.00	0.78
55-59	21039	0.00	1.43	2.85	10.46	0.48	2.85
60-64	15226	0.00	1.31	3.28	17.73	3.94	5.91

65-69	10726	0.00	0.00	13.05	19.58	0.93	8.39
70-74	8054	0.00	0.00	21.11	23.59	1.24	19.87
75-79	5891	0.00	0.00	22.07	42.44	0.00	15.28
80 y más	5318	3.76	1.88	69.58	116.59	1.88	47.01
Total	482287	0.10	1.91	2.30	8.44	0.37	1.85

*Tomado del Anuario estadístico de Bello para el 2018. que a su vez se basan las proyecciones del DANE.

Frecuencia calculada por cada 10.000 personas.

ERAA, enfermedades respiratorias altas agudas; ERBA, enfermedades respiratorias bajas agudas; ERBC, enfermedades respiratorias bajas crónicas agudizadas.

Fuente: elaboración propia.

La frecuencia de compromiso respiratorio alto y bajo durante el trimestre del 2017 aumentó con respecto al mismo trimestre del 2016. Para el total de la población del municipio, las enfermedades que afectaron al tracto respiratorio bajo fueron las que más incremento tuvieron. Durante el primer trimestre del 2017 se afectaron todos los grupos etarios, siendo para la ERAA los menores de edad los más comprometidos, mientras que para la ERBA los extremos de la vida los más afectados y para la ERBC los de edad avanzada ([Tabla 2](#)).

Correlación contaminante criterio, número de consultas según nivel respiratorio afectado y el tiempo de latencia entre la exposición y la consulta

Se analizaron los contaminantes criterio PM 2.5, PM 10, O3, NO2 para el 2017, además del NOx y el número de consultas, encontrándose significancia estadística y correlaciones positivas entre débiles a moderadas. El tiempo de latencia entre la exposición y las consultas para ERBA se dio luego del segundo día de exposición al PM 2.5 y PM 10; para ERBC se aumentaron las consultas por exposiciones a PM 2.5 al quinto día y para ERAA luego del sexto día de exposición a NOx, PM 2.5 y PM 10 ([Tabla 3](#)).

Tabla 3

Correlaciones de contaminante criterio y enfermedades respiratorias según días de latencia

Contaminante criterio	Latencia (días)	Enero r (p)	y	marzo	2017
		ERAA	ERBA	ERBC	
NOX	0	-0.10 (0.4)	NA	NA	
	1	-0.06 (0.7)			
	2	-0.08 (0.6)			
	3	0.00 (1.0)			
	4	0.27(0.04)			
	5	-0.03 (0.8)			
	6	0.07 (0.6)			
	7	0.32 (0.02)			

O3	0	NA	0.01 (0.9)	-0.12 (0.4)
	1		0.05 (0.7)	-0.11 (0.4)
	2		-0.14 (0.2)	-0.15 (0.2)
	3		-0.13 (0.3)	-0.12 (0.3)
	4		0.03 (0.8)	-0.14 (0.3)
	5		0.17 (0.2)	-0.22 (0.1)
	6		0.2 (0.1)	-0.12 (0.4)
	7		0.14 (0.3)	-0.20 (0.2)
NO2	0	0.04 (0.8)	-0.10 (0.4)	0.19 (0.1)
	1	0.05 (0.7)	0.07 (0.6)	-0.08 (0.6)
	2	-0.08 (0.6)	0.05 (0.7)	0.05 (0.7)
	3	-0.01 (1.0)	0.10 (0.5)	0.05 (0.7)
	4	0.17 (0.2)	0.17 (0.2)	0.06 (0.7)
	5	-0.12 (0.4)	0.08 (0.5)	-0.06 (0.6)
	6	0.15 (0.3)	0.12 (0.4)	-0.14 (0.3)
	7	0.22 (0.1)	0.16 (0.3)	0.01 (1.)
PM 2.5	0	0.04 (0.7)	-0.24 (0.1)	-0.07 (0.6)
	1	0.07 (0.6)	0.05 (0.7)	-0.07 (0.6)
	2	0.01 (0.9)	0.28 (0.03)	-0.12 (0.4)
	3	0.01 (0.9)	0.20 (0.1)	0.05 (0.7)
	4	0.21 (0.1)	0.21 (0.1)	0.07 (0.6)
	5	0.04 (0.7)	0.22 (0.1)	0.27 (0.04)
	6	0.31 (0.02)	0.41 (0.002)	0.08 (0.5)
	7	0.46 (<0.001)	0.44 (0.001)	0.06 (0.6)
PM 10	0	0.10 (0.4)	0.09 (0.5)	0.04 (0.8)
	1	0.10 (0.4)	0.21 (0.1)	-0.14 (0.3)
	2	0.09 (0.5)	0.28 (0.03)	-0.05 (0.7)
	3	0.11 (0.3)	0.30 (0.02)	0.06 (0.6)
	4	0.25 (0.1)	0.37 (0.005)	0.02 (0.8)
	5	0.12 (0.4)	0.44 (0.001)	0.01 (0.9)
	6	0.42 (0.001)	0.51 (<0.001)	0.01 (0.9)
	7	0.53 (<0.001)	0.54 (<0.001)	0.06 (0.6)

ERAA, enfermedades respiratorias altas agudas; ERBA, enfermedades respiratorias bajas agudas; ERBC, enfermedades respiratorias bajas crónicas agudizadas; NA, no aplica.

Fuente: elaboración propia.

Discusión

La contaminación del aire tiene un impacto adverso en la salud humana, incrementando la morbilidad y mortalidad. El efecto nocivo de estos contaminantes depende de la cantidad y el tiempo de exposición, el tipo de contaminantes y su acumulación en el tiempo (Almetwally et al., 2020).

En este estudio se analizaron las concentraciones de los contaminantes criterio y el período de latencia con el número de consultas de origen respiratorio en una población colombiana durante dos períodos, en los que se pone en vigencia las medidas de contingencia ambiental.

Entre los hallazgos están que los niveles de partículas PM 2.5 y PM 10 fueron los que más se asociaron con las enfermedades agudas del tracto respiratorio alto y bajo, mientras que para las patologías crónicas del tracto respiratorio bajo el material particulado de 2.5 fue el más relevante. Hallazgos que concuerdan con la literatura, en la cual se ha descrito que el material particulado en el aire es uno de los contaminantes atmosféricos más propagados, siendo el PM 2.5 el más frecuente y que deteriora la calidad de aire en las ciudades (Mao et al., 2018; Yan et al., 2019). Las partículas con un diámetro menor de 10 μm alcanzan bronquios y alvéolos en el pulmón, mientras que las menores de 2,5 μm pueden alcanzar la pared de los capilares bronquiales e interferir con el intercambio gaseoso en el pulmón, favoreciendo de esta manera la presentación de enfermedad en este sistema (WHO, 2013).

En relación con las ERBA nuestros hallazgos reportan relación con la exposición a PM 2.5 y PM 10 con un tiempo de latencia de 2 días. Croft et al. 2019 describen que el aumento de las tasas relativas de ingresos hospitalarios y visitas al servicio de urgencias por neumonía con cultivo negativo se asoció significativamente con el aumento de las concentraciones de PM 2.5 en los 2 a 7 días anteriores. Algunos estudios han informado asociaciones positivas entre exposiciones a corto plazo a la contaminación del aire ambiental con las consultas u hospitalizaciones por neumonía (Pirozzi et al., 2015). La carga global de morbilidad atribuible a la contaminación del aire ambiente estimó un incremento del 50% al 100% en el riesgo de infección del tracto respiratorio inferior asociado con aumento de 50 a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de PM 2.5 (Cohen et al., 2017).

Desde el punto de vista mecánico, en modelos celulares y murinos el impacto negativo de la contaminación ambiental en las vías respiratorias conduce a procesos inflamatorios e interrupción del sistema inmune innato pulmonar (Jaspers et al., 2005), en cuanto al PM 2.5 se ha descrito su potencial para aumentar la respuesta inmunitaria e inflamatoria a la infección y disminuir la capacidad de eliminar esta inflamación, lo que conduce a un curso grave de la enfermedad llevando a requerir manejo ambulatorio u hospitalario, sin embargo, se requiere más investigación para dilucidar el impacto de componentes específicos de PM 2.5 en la respuesta inmune innata a la infección (Croft et al., 2019).

Por otro lado, la relación del PM 10 con las ERBA se ha descrito en otros estudios, en donde las exposiciones a corto plazo a este contaminante se asoció con las visitas ambulatorias por infecciones respiratorias bajas agudas (Liang et al., 2021). De igual manera, otros autores refieren que aumentos en los niveles de PM 10 de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ provoca un aumento de las enfermedades respiratorias (Ünver et al., 2018; Yalın et al., 2020).

Cuando se analiza lo encontrado con las ERBC agudizadas y su relación con la exposición a PM 2.5 al quinto día, la literatura es clara en afirmar cómo el incremento de partículas finas de PM2.5 en el medio ambiente aumenta la susceptibilidad a exacerbaciones en la EPOC, a través de la producción excesiva de especies reactivas de oxígeno (Fan et al., 2023) y a la remodelación de las vías respiratorias por proliferación del músculo liso bronquial (Zou et al., 2021). De igual forma, el estudio de carga global de enfermedad 2019 (Yang et al., 2021), refiere que los países de ingresos bajos y medianos soportan la mayor carga de EPOC atribuible a PM2.5 debido a la alta de exposición a PM2.5 ambiental y a la escasa disponibilidad y asequibilidad de medicamentos y pruebas diagnósticas. Es de gran importancia caracterizar exhaustivamente la composición de las PM2.5 ambientales e identificar los componentes patógenos significativos, y permitir investigar los mecanismos subyacentes por los cuales contribuyen a la EPOC (Wang & Liu, 2023).

En cuanto a lo encontrado para las ERAA y su relación con la exposición a NOx, PM2.5 y PM10, se encuentran hallazgos similares en la literatura. En un estudio transversal retrospectivo realizado en Cracovia durante un período de 2 años, se identificó que las concentraciones medias de PM10, PM2.5 y NOx excedieron los niveles permitidos y se correlacionaron de forma positiva y significativa con el número de casos de crup viral registrados por semana (Dyląg et al., 2018). Otro estudio realizado en Taiwán aplicando arquitectura de aprendizaje automático de perceptrón multicapa, describió como las concentraciones de PM2.5 y PM10 a corto plazo se relacionaron con precisión con la aparición posterior de infecciones del tracto respiratorio superior (Chen et al., 2018). Ratajczak et al & Badyda, 2021 también informaron que la exposición en un plazo moderado, para este caso, un período de observación de 12 semanas a la contaminación del aire se asoció con un mayor riesgo de síntomas del tracto respiratorio superior entre los niños de 3 a 12 años en Polonia. En una gran cohorte multiétnica adulta observada por un período de 12 años y a la cual se le realizó cinco seguimientos, identificaron que la exposición a PM2.5, NOx y NO2 se asoció con un riesgo de 4%, 15% y 21% mayor de formar una infección respiratoria, respectivamente (Kirwa et. al, 2021).

El material particulado parece favorecer el crecimiento de la biopelícula de *Streptococcus pneumoniae*, la colonización de las células del epitelio del oído medio humano in vitro, y aumenta la colonización neumocócica de la nasofaringe en un modelo animal (Yadav et al., 2020). Por su parte, los óxidos de nitrógeno se absorben tanto en el tracto respiratorio superior como en las regiones pulmonares, y sus reacciones con los fluidos epiteliales superficiales pueden provocar estrés oxidativo, mientras que los componentes absorbidos pueden causar irritación pulmonar e inmunomodulación de la respuesta del huésped a la infección, posiblemente aumentando la susceptibilidad o empeorando la severidad de la infección existente (Han & Naeher, 2006).

En general se ha demostrado que los contaminantes del aire afectan la susceptibilidad y las respuestas inmunitarias a las infecciones virales a través de varios mecanismos, que incluyen respuestas inmunitarias innatas y adaptativas exageradas o alteradas, alteración de la barrera epitelial de las vías respiratorias, expresión alterada de receptores de superficie celular y deterioro de la función citotóxica (Burbank, 2023).

La Sociedad Americana del Tórax expresa que los niveles de contaminación bajos, es decir que, aunque no sean extremos, pueden afectar la salud de toda la población, y estos son más notorios en personas con patologías previas cardiopulmonares, como lo observado en este estudio, en donde los extremos de la vida y los pacientes con patologías crónicas respiratorias fueron los más afectados. Por lo anterior, es importante que se generen políticas de salud pública que vigilen los

niveles de contaminación ambiental con el fin de proteger a la población más vulnerable (Rice et al., 2021).

En este estudio no se encontró asociación con otros factores contaminantes, a diferencia de lo hallado por otros autores en ciudad de México y la Habana que encontraron latencias de 5 días en las consultas por infecciones respiratorias altas en población pediátrica relacionadas con los incrementos del ozono y el dióxido de azufre, respectivamente (Télles-Rojo et al., 1997; Romero-Placeres et al., 2004).

Adicionalmente al compromiso respiratorio, la contaminación ambiental puede tener efectos deletéreos en otros sistemas del cuerpo humano, como el cardio cerebrovascular, inmunológico, endocrino, psicológico, etc., por lo cual se hace aún más urgente que en el mundo y principalmente en las grandes ciudades de países en desarrollo, se tomen medidas más estrictas y de rápida implementación (Schraufnagel et al., 2019; Labraña et al., 2021;), que aseguren el cumplimiento de las últimas indicaciones de la OMS, las cuales son más estrictas en los niveles de contaminantes criterio al disminuir los parámetros de alertamiento (WHO, 2021).

En Colombia, el Índice de Calidad del Aire (ICA) es un indicador que traduce las concentraciones de contaminantes atmosféricos de una escala numérica a una escala de colores que representan el riesgo para la salud en categorías que van desde buena hasta peligrosa, esta escala de colores se emplea para facilidad de interpretación del público. El ICA fue adoptado en Colombia mediante la Resolución 2154 de 2010, emitida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Posteriormente, la Resolución 2254 de 2017 actualizó los niveles de referencia para la calidad del aire ambiente, consolidando al ICA como una herramienta fundamental tanto para la comunicación del riesgo ambiental a la población como para la toma de decisiones en salud pública y control ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). No obstante, los valores de referencia establecidos por la OMS son más estrictos y están orientados específicamente a la protección de la salud humana. Según la OMS (2021), las concentraciones diarias de material particulado no deben superar los 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{2.5} ni los 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM₁₀. Sin embargo, estos valores, al ser interpretados bajo el esquema del ICA colombiano, corresponden a niveles que no implican medidas de intervención en salud pública: un valor de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{2.5} se clasifica como nivel 1 o bueno, caracterizado con el color verde, y 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM₁₀ se ubica en el nivel 2 o aceptable, distinguido por el color amarillo.

En cuanto a las medidas de salud públicas, estas deben ser ajustadas a la realidad de cada país con el fin de tomar acciones que controlen las principales fuentes de contaminación ambiental urbana y rural. En el contexto de las políticas urbanas se encuentra Health in All Policies (HiAP), enfoque que tiene como centro primordial a la salud para la toma de decisiones, basándose en el uso de pruebas científicas y las evaluaciones de impacto en la salud, en donde las enfermedades relacionadas directamente con la exposición a la contaminación del aire ocupan un lugar fundamental. Entre las propuestas se encuentra un transporte público eficiente, con redes de ciclovía, promover espacios verdes abiertos dentro y alrededor de las ciudades, reciclar, reutilizar y reducir los residuos sólidos. Este tipo de políticas urbanas pueden contribuir significativamente a evitar muertes prematuras y ahorrar costos para los sistemas de salud (Ramírez-Rubio et al., 2019). En el caso de Colombia, específicamente Medellín y demás municipios que conforman el área metropolitana del Valle de Aburrá ya son conocidos las principales fuentes de contaminación del aire en donde el 91% deriva de fuentes móviles y el 9% corresponde a fuentes industriales. Las

medidas que se han tomado hasta el momento en relación con el control de circulación de los vehículos según día y hora no han sido suficiente para disminuir significativamente los niveles de contaminación, por lo cual han recomendado aplicar medidas adicionales, como la implementación de las zonas urbanas de aire protegido (ZUAP) y enfatizar en el plan de renovación vehicular, especialmente, aquellos vehículos de carga y transporte público. También se ha propuesto una tasa retributiva por emisiones de PM_{2.5} y fomento a la movilidad sostenible (Meneses et al., 2020).

Las anteriores estrategias para obtener aire limpio deben ser consideradas como un derecho humano fundamental y no como una simple política gubernamental, ya que están conexas a los derechos a la vida, a la salud y a un medio ambiente limpio, sano, seguro y sostenible (Boyd, 2019; Liang et al., 2021).

Con fines de proteger la población se requiere revisar los parámetros de alerta actuales en el área metropolitana, se recomienda acogerse a estándares internacionales que permitan generar acciones más prontas, ya que sistemas como Green City Accord (GCA) establece límites inferiores y exposiciones agudas de menor tiempo que el sistema del Índice de Calidad del Aire, actos que requieren compromiso de sus gobernantes, conciencia ciudadana e implementación de medidas individuales de protección (Laumbach et al., 2021).

Limitaciones

Las limitaciones de este estudio corresponden a la ausencia de datos de uno de los parámetros criterios, la baja presentación de los eventos clínicos y aspectos metodológicos, tales como el tiempo de observación y el diseño de estudio.

Entre las limitaciones de este estudio se encuentra la ausencia de datos de CO, debido a que se realiza en tres estaciones del área metropolitana, dos de ellas Medellín y una en Girardota y no en Bello.

Otra de las limitaciones del presente estudio radica en la imputación de datos faltantes mediante el algoritmo de K-Nearest Neighbors (KNN), como respuesta a fallas técnicas reportadas en la estación de monitoreo. Aunque este método es ampliamente utilizado en estudios ambientales, su aplicación en entornos con alta variabilidad diaria en las concentraciones de contaminantes —como ocurre en municipios con actividad industrial y tráfico denso— puede afectar la precisión de los valores imputados. Además, la heterogeneidad en los patrones de concentración entre los diferentes contaminantes puede generar distorsiones en los análisis de correlación temporal, introduciendo sesgos que deben ser considerados al interpretar los resultados (Jerez et al., 2010).

Otra limitación fue la baja presentación de eventos clínicos aquí analizados, lo cual puede ser explicado por la dinámica del sistema de salud del país. Esta restricción puede afectar la representatividad de los casos de morbilidad respiratoria incluidos en el análisis, dado que algunos residentes del municipio podrían acudir a instituciones privadas o a hospitales ubicados en otros municipios del área metropolitana, lo que implicaría una posible subestimación o sobreestimación de la frecuencia real. Esta situación es especialmente relevante en contextos urbanos con libre movilidad intermunicipal y oferta diversa de servicios de salud. Por tanto, al provenir los datos de un único hospital público de segundo nivel del municipio de Bello, los resultados deben interpretarse como una aproximación parcial al comportamiento de las enfermedades respiratorias en la zona, reconociendo el sesgo potencial en la captura de eventos clínicos.

Conclusiones

Lo realizado en este estudio, fue un análisis exploratorio de correlación entre los contaminantes criterio con el número de consultas según localización y presentación (aguda o crónica) de las enfermedades respiratorias, además de un análisis de los tiempos de latencia para explorar el período crítico que desencadena un aumento en el número de consultas. Se observó que las Enfermedades Respiratorias Altas Agudas (ERAA) incrementó el número de consultas después del sexto día de exposición elevada al NOx y el material particulado de 10 y 2.5 micras, principalmente en jóvenes y menores de edad. Las Enfermedades Respiratorias Bajas Crónicas (ERBC) generó aumento en las consultas luego del quinto día de exposición al PM 2.5 en adultos mayores. Las Enfermedades Respiratorias Bajas Agudas (ERBA) incrementó la cifra de consultas luego del segundo día de exposición elevada al PM de 10 y 2.5, afectando principalmente a las personas en los extremos de la vida.

Se requiere herramientas que reduzcan la generación del material particulado, estrategias gubernamentales de salud pública que protejan a las personas vulnerables e implementar sistemas de alerta ambiental con estándares internacionales vigentes y conciencia ciudadana.

Recomendaciones

Este estudio ecológico brinda información de frecuencia epidemiológica útil para la toma de decisiones en torno a la salud pública, no determina asociación causal, ni se recomienda generar hipótesis de los fenómenos fisiopatológicos de las enfermedades respiratorias en razón de la contaminación ambiental; por tanto no se recomienda generalizar los resultados, ni extrapolar los hallazgos a individuos (Roumeliotis et al., 2021; Sheppard, 2014).

La transparencia en la presentación de estas limitaciones es esencial, especialmente tratándose de investigaciones que relacionan variables ambientales con eventos en salud humana, para evitar sobreinterpretaciones o extrapolaciones no justificadas de los hallazgos.

Para futuros estudios se recomienda observar periodos de tiempo mayores para lograr una correlación cuantitativa de la frecuencia de patologías respiratorias agudas y crónicas agudizadas durante el periodo de alerta ambiental y adicionalmente, registrar el fenómeno clínico en diferentes ciudades e instituciones de salud.

Consideraciones éticas

Este estudio es considerado sin riesgo para los pacientes al ser una fuente secundaria, según Resolución 8430 de 1993. Además, contó con aprobación para su ejecución (código INV2836). Se actuó bajo los estándares internacionales de investigaciones éticas en seres humanos, tales como el informe Belmont y la declaración de Helsinki.

Agradecimientos

Agradecemos al Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá(SIATA) por su valioso asesoramiento en la adquisición de los datos de calidad de aire.

Asimismo, agradecemos el apoyo en la recolección de la información clínica a los estudiantes de medicina de la Universidad Cooperativa de Colombia Isabella Castilla Ibarra, Mariana Gómez Morales, Nathaly Ramírez Hincapié y Camilo Santiago Sierra.

Potencial conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses en la realización de esta investigación.

Fuentes de financiación

Este estudio fue financiado por la Universidad Cooperativa de Colombia a través del Proyecto INV2836.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Bello. (2018). *Anuario estadístico de Bello* 2018. <https://bello.gov.co/index.php/styles/anuario-estadistico-2016>
- Almetwally, A. A., Bin-Jumah, M., & Allam, A. A. (2020). Ambient air pollution and its influence on human health and welfare: an overview. *Environ Sci Pollut Res Int*, 27(20), 24815-24830. doi: 10.1007/s11356-020-09042-2
- AMVA. (2016). Resolución metropolitana N° 000379 de 2016. *Por la cual se declara el nivel de contingencia atmosférica en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y se toman otras determinaciones. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín, Colombia, 18 de marzo.* <http://proyectos.andi.com.co/Ambiental/SiteAssets/Resoluci%C3%B3n%20379%20AMVA.pdf>.
- AMVA. (2017). Resolución metropolitana N° 00-000395 de 2017. Por medio de la cual se adoptan medidas con ocasión de la contingencia atmosférica que se presenta en el Valle de Aburrá. Marzo 22, 2017. https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Documents/Normatividad/Resolucion_395_2017%20contingencia.pdf.

- AMVA. (2019). Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire (Pigeca). <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Gestion-integral/PIGECA.aspx>
- AMVA. (2019). Plan Operacional para Enfrentar Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica (Poeca). <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Gestion-integral/POECA.aspx>
- Arduoso, L., Neffen, H., Fernández-Caldas, E., Saranz, R., Parisi, C., Tolcachier, A., Cicerán, A., Smith, S., Máspero, J., Nardacchione, N., y Marino, N. (2019). Intervención ambiental en las enfermedades respiratorias. *Medicina (Buenos Aires)*, 79(2), 123-136. <https://medicinabuenosaires.com/revistas/vol79-19/n2/123-136-Med6871-Arduoso-A.pdf>
- Boyd, D. R. (2019). The Human Right to Breathe Clean Air. *Annals of global health*, 85(1), 146-146. doi: 10.5334/aogh.2646
- Burbank, A. J. (2023). Risk Factors for Respiratory Viral Infections: A Spotlight on Climate Change and Air Pollution. *Journal of Asthma and Allergy*, 183-194. doi: 10.2147/JAA.S364845
- Cohen, A., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, R., Frostad, J., Estep, K., Ba Ross, K., Brunekreef, B., Dandona, L., Nandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R., Morawska, L., Pope, A., Shin, H., Straif, K., Shaddick, G., Thomas, M., Dingenen, R., Donkelaar, A., Vos, T., Murray, C., y Forouzanfar, M. (2017). 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. *The lancet*, 389(10082), 1907-1918. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)
- Croft, D. P., Zhang, W., Lin, S., Thurston, S. W., Hopke, P. K., Masiol, M., Squizzato, S., Wijngaarden, E., y Rich, D. Q. (2019). The Association between Respiratory Infection and Air Pollution in the Setting of Air Quality Policy and Economic Change. *Ann Am Thorac Soc*, 16(3), 321-330. doi: 10.1513/AnnalsATS.201810-691OC
- Chen, M. J., Yang, P. H., Hsieh, M. T., Yeh, C. H., Huang, C. H., Yang, C. M., & Lin, G. M. (2018). Machine learning to relate PM2.5 and PM10 concentrations to outpatient visits for upper respiratory tract infections in Taiwan: A nationwide analysis. *World J Clin Cases*, 6(8), 200-206. doi: 10.12998/wjcc.v6.i8.200
- Dyląg, K. A., Wroński, B., Przybyszewska, K., & Dumnicka, P. (2018). Air pollution is associated with incidence of viral croup among children living in Kraków area, Poland. *Folia Med Cracov*, 58(1), 69-79.
- EPA. (2009). United States Environmental Protection Agency. Terminology Services., 2021. <https://www.epa.gov/>
- Fan, X., Dong, T., Yan, K., Ci, X., & Peng, L. (2023). PM2.5 increases susceptibility to acute exacerbation of COPD via NOX4/Nrf2 redox imbalance-mediated mitophagy. *Redox Biol*, 59, 102587. doi: 10.1016/j.redox.2022.102587

- Han, X., & Naeher, L. P. (2006). A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. *Environment international*, 32(1), 106-120. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.05.020>
- INS. (2018). Instituto Nacional de Salud, Observatorio Nacional de Salud, Carga de Enfermedad Ambiental. Décimo Informe Técnico Especial. Bogotá D.C., 177.
- Jaspers, I., Ciencewicky, J. M., Zhang, W., Brighton, L. E., Carson, J. L., Beck, M. A., & Madden, M. C. (2005). Diesel exhaust enhances influenza virus infections in respiratory epithelial cells. *Toxicological Sciences*, 85(2), 990-1002. doi: <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfi141>
- Kirwa, K., Eckert, C. M., Vedal, S., Hajat, A., & Kaufman, J. D. (2021). Ambient air pollution and risk of respiratory infection among adults: evidence from the multiethnic study of atherosclerosis (MESA). *BMJ Open Respir Res*, 8(1). doi: 10.1136/bmjresp-2020-000866
- Labraña, J., Folchi, M., Urquiza, A., & Rivas, M. (2021). La Construcción de la Contaminación Atmosférica como Problema Público, Santiago de Chile (1961-1978). *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC)* revista de la Solcha, 11(3), 149-177.
- Laumbach, R. J., Cromar, K. R., Adamkiewicz, G., Carlsten, C., Charpin, D., Chan, W. R., . . . Viegi, G. (2021). Personal Interventions for Reducing Exposure and Risk for Outdoor Air Pollution: An Official American Thoracic Society Workshop Report. *Annals of the American Thoracic Society*, 18(9), 1435-1443. doi: 10.1513/AnnalsATS.202104-421ST
- Liang, Z., Meng, Q., Yang, Q., Chen, N., & You, C. (2021). Size-Specific Particulate Matter Associated With Acute Lower Respiratory Infection Outpatient Visits in Children: A Counterfactual Analysis in Guangzhou, China. *Front Public Health*, 9, 789542. doi: 10.3389/fpubh.2021.789542
- Mao, M., Zhang, X., & Yin, Y. (2018). Particulate matter and gaseous pollutions in three metropolises along the Chinese Yangtze River: Situation and Implications. *International journal of environmental research and public health*, 15(6), 1102. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph15061102>
- Meneses, R., Gonzalez-Gonzalez, M. V., Garay-Molina, N. M., Hoyos-Barba, M., & Agudelo-Henao, L. F. (2020). Informe de Calidad de Vida de Medellín, 2016-2019. *Medellín, cómo vamos*, 1-318. doi: 10.17230/19094108-2017d
- Jerez, J. M., Molina, I., García-Laencina, P. J., Alba, E., Ribelles, N., Martín, M., & Franco, L. (2010). Missing data imputation using statistical and machine learning methods in a real breast cancer problem. *Artificial Intelligence in Medicine*, 50(2), 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2010.05.002>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Resolución 2154 de 2010, por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones*. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-2154-de-2010/>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 2254 de 2017, por la cual se actualizan los niveles de calidad del aire ambiente*. <https://www.minambiente.gov.co>
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., . . . Dubourg, V. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *the Journal of machine Learning research*, 12(85), 2825-2830.
- Piñeros-Jiménez, J. G., Grisales-Romero, H. d. J., Nieto-López, E. S., Montealegre-Hernández, N. A., Villa-Garzón, F. A., Agudelo-Cadavid, R. M., & Cubaque-López, H. A. (2018). *Contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud de los habitantes del Valle de Aburrá., 2008-2015*.
- Pirozzi, C. S., Jones, B. E., VanDerslice, J., Jephson, A., & Dean, N. C. (2015). Short-term effects of particulate air pollution exposure on incidence and severity of pneumonia C104. *Indoor and outdoor pollution: epidemiology and mechanisms* (pp. A5250-A5250): American Thoracic Society.
- Prüss-Üstün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Bos, R., & Neira, M. (2016). *Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks*: World Health Organization.
- Ramirez-Rubio, O., Daher, C., Fanjul, G., Gascon, M., Mueller, N., Pajín, L., . . . Nieuwenhuijsen, M. J. (2019). Urban health: an example of a “health in all policies” approach in the context of SDGs implementation. *Globalization and health*, 15(1), 1-21. doi: <https://doi.org/10.1186/s12992-019-0529-z>
- Ratajczak, A., & Badyda, A. (2021). Air Pollution Increases the Incidence of Upper Respiratory Tract Symptoms among Polish Children. *J Clin Med*, 10(10). doi: 10.3390/jcm10102150
- Rice, M., Balmes, J., & Malhotra, A. (2021). Outdoor Air Pollution and Your Health. *Am J Respir Crit Care Med*, 204(7), P13-P14. doi: <https://doi.org/10.1164/rccm.2046p13>
- Romero-Placeres, M., Más-Bermejo, P., Lacasaña-Navarro, M., Rojo-Solís, M. M. T., Aguilar-Valdés, J., & Romieu, I. (2004). Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de La Habana. *salud pública de méxico*, 46(3), 222-233.
- Roumeliotis, S., Abd-ElHafeez, S., Jager, K. J., Dekker, F. W., Stel, V. S., Pitino, A., . . . Tripepi, G. (2021). Be careful with ecological associations. *Nephrology*, 26(6), 501-505. doi: <https://doi.org/10.1111/nep.13861>
- Schraufnagel, D. E., Balmes, J. R., Cowl, C. T., De Matteis, S., Jung, S. H., Mortimer, K., . . . Wuebbles, D. J. (2019). Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air Pollution and Organ Systems. *Chest*, 155(2), 417-426. doi: 10.1016/j.chest.2018.10.041
- Sheppard, L. (2014). Ecological Study Design *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*.

- Télles-Rojó, M., Romieu, I., Polo-Peña, M., Ruiz-Velasco, S., Meneses-González, F., & Hernández-Avila, M. (1997). Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la Ciudad de México. *salud pública de méxico*, 39, 513-522.
- The_SciPy_community. (s.f.). *scipy.stats.pearsonr*. Retrieved abril, 2022, from <https://scipy.github.io/devdocs/reference/generated/scipy.stats.pearsonr.html?highlight=pearson#r8c6348c62346-3>
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Outdoor air pollution respiratory health effects in children. *Revista Médica Clínica las Condes*, 111-118.
- Ünver, E., Altın, S., Bolat, E., Çoban, A., Aktaş, M., Fıçıcı, M., & Tecer, L. H. (2018). *Effects of air pollution on respiratory system disease admission and health budget*. Paper presented at the Allergy.
- Wang, Q., & Liu, S. (2023). The Effects and Pathogenesis of PM2.5 and Its Components on Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 18, 493-506. doi: 10.2147/copd.s402122
- WHO. (2006). 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: Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- WHO. (2016). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.
- WHO. (2021). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Executive summary. Geneva: World Health Organization. 16. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts>
- World Health Organization. Regional Office for Europe. (2013). *Health effects of particulate matter: policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia*. Copenhagen: World Health Organization. Regional Office for Europe.
- Yadav, M. K., Go, Y. Y., Jun, I., Chae, S.-W., & Song, J.-J. (2020). Urban particles elevated *Streptococcus pneumoniae* biofilms, colonization of the human middle ear epithelial cells, mouse nasopharynx and transit to the middle ear and lungs. *Scientific reports*, 10(1), 1-13. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62846-7>
- Yalınz, E., Uslu, Ö., Bolat, E., Altın, S., & Polat, G. (2020). Does the Hospital Admission of Patients with Respiratory Disease Increase in Izmir When the PM10 Level is High? *Turkish Thoracic Journal*, 21(1), 32. doi: 10.5152/TurkThoracJ.2019.180148
- Yan, Y., Li, Y., Sun, M., & Wu, Z. (2019). Primary pollutants and air quality analysis for urban air in China: evidence from Shanghai. *Sustainability*, 11(8), 2319. doi: <https://doi.org/10.3390/su11082319>

Yang, X., Zhang, T., Zhang, Y., Chen, H., & Sang, S. (2021). Global burden of COPD attributable to ambient PM2.5 in 204 countries and territories, 1990 to 2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Sci Total Environ*, 796, 148819. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148819

Zou, W., Wang, X., Sun, R., Hu, J., Ye, D., & Bai, G. (2021). PM2.5 Induces Airway Remodeling in Chronic Obstructive Pulmonary Diseases via the Wnt5a/ β -Catenin Pathway. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 16, 3285-3295. doi: 10.2147/copd.s334439

1 Médica y magister en Epidemiología de la Universidad CES. Doctora en Epidemiología y Salud Pública de la Universidad Santiago de Compostela. Docente de la Facultad de Medicina en la Universidad Cooperativa de Colombia. Correo electrónico: diana.lopezme@campusucc.edu.co- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2098-7319> - Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=cVNjWXQAAAAJ&hl=es>

2 Médica de la Universidad Pontificie Bolivariana. Magister y doctora en Neurociencias de la Universidad Pablo de Olavide. Docente de la Facultad de Medicina en la Universidad Cooperativa de Colombia. Correo electrónico: marcela.henaop@campusucc.edu.co - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7337-2871> - Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=HDF-94QAAAAJ&hl=en>

3 Ingeniero físico y magister en Física de la Universidad Nacional de Colombia. Docente de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Cooperativa de Colombia – Correo electrónico: victor.aristizabalt@campusucc.edu.co - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7880-5883> - Google Scholar: <https://scholar.google.es/citations?user=EbGraxIAAAAAJ&hl=es>

Para citar este artículo: López Medina, D. C., Henao Pérez, M., y Aristizábal Tique, V. H. (2024). Contaminación ambiental y enfermedades agudas y crónicas del tracto respiratorio alto y bajo. *Revista Luna Azul*, (59), 78-103. DOI: <https://doi.org/10.17151/luaz.2024.59.5>

Esta obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Código QR del artículo

