Área: ambiental

Fecha de recibido: 24-11-2022
Fecha de aceptado: 31-03-2023
DOI: 10.22490/21456453.6537

RELACIÓN ENTRE MATERIAL PARTICULADO, VARIABLES METEOROLÓGICAS E INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS EN LA ZONA NORTE DE OCAÑA

RELATIONSHIP BETWEEN PARTICULATE MATTER, WEATHER VARIABLES, AND ACUTE RESPIRATORY INFECTIONS IN THE NORTH ZONE OF OCAÑA

Alexander Armesto Arenas [1]
Julio Eduardo Cañón Barriga [2]

[1] Magister en Gestión Ambiental, Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, Colombia, aarmestoa@ufpso.edu.co

[2] Ph.D. en hidrología, Profesor titular, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia
julio.canon@udea.edu.co

Citación: Armesto, A. y Cañón, J. (2024). Relación entre material particulado, variables meteorológicas e infecciones respiratorias agudas en la zona norte de Ocaña. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 251-279.
https://doi.org/10.22490/21456453.6537

RESUMEN

Contextualización: esta investigación se enfoca en la salud pública y la calidad del aire de la zona norte residencial de la ciudad de Ocaña, impactada por una vía nacional con tráfico lento que provoca altas emisiones de material particulado (PM10).

Vacío de conocimiento: la investigación responde a las siguientes inquietudes: ¿cómo se relacionan las concentraciones de PM10 y PM2.5 en la zona?; ¿hacia dónde se dispersa el PM10 emitido por las fuentes móviles?; ¿cuáles son las repercusiones de la dispersión en los barrios de la zona norte?; ¿cuáles han sido los grupos etarios significativamente afectados por infecciones respiratorias agudas (IRA) debidas a las condiciones climáticas y el material particulado?

Propósito: analizar la correlación del material particulado (PM10 y PM2.5) con las condiciones meteorológicas y con el grado de correspondencia con las infecciones respiratorias agudas (IRA) de la zona norte de Ocaña, Colombia.

Metodología: se utilizó información oficial de los años 2018, 2019 y 2021, incluyendo mediciones propias de PM2.5 mediante un equipo automatizado. Las variables relacionadas con las IRA se agruparon por sexo, edad, barrio; y se relacionaron con el material particulado y condiciones meteorológicas, mediante análisis factorial múltiple (AFM) y modelos de regresión lineal.

Resultados y conclusiones: **Resultados**: la relación PM2.5/PM10 es significativa (Pearson r =0.812), y sus concentraciones son superiores a las permitidas. El PM10 tuvo correlación significativa con el viento, la precipitación y la humedad (-0.51, -0.53 y -0.56). Las mujeres presentaron más casos registrados de IRA que los hombres, con una mayor correlación significativa ($p<0.05$) con el PM10 y la humedad relativa, especialmente para edades entre uno a cuatro años, y mayores de 70 años. Asimismo, los barrios cercanos a la vía nacional, orientados en la dirección del viento, mostraron mayores casos de IRA, además de mayor correlación significativa con el PM10. En conclusión, las concentraciones de PM10 y PM2.5 están significativamente correlacionadas entre sí, e influenciadas por las condiciones climáticas, del mismo modo, sus impactos en la salud respiratoria son significativos en niños menores de cinco años, especialmente los que residen en la dirección de dispersión del PM10.

Palabras clave: contaminación atmosférica, condiciones meteorológicas, salud, tráfico urbano, vía urbana

ABSTRACT

Contextualization: This research focuses on public health and air quality in the northern residential zone of the city of Ocaña, affected by a national road with slow traffic that causes high emissions of particulate matter (PM10).

Knowledge gap: The research addresses the following concerns: How do PM10 and PM2.5 concentrations relate in the zone? Where does the dispersion of PM10 emitted by mobile sources occur? What are the impacts of PM dispersal in the northern neighborhoods? What age groups have been significantly impacted by Acute Respiratory Infections (ARIs) due to climatic conditions and particulate matter?

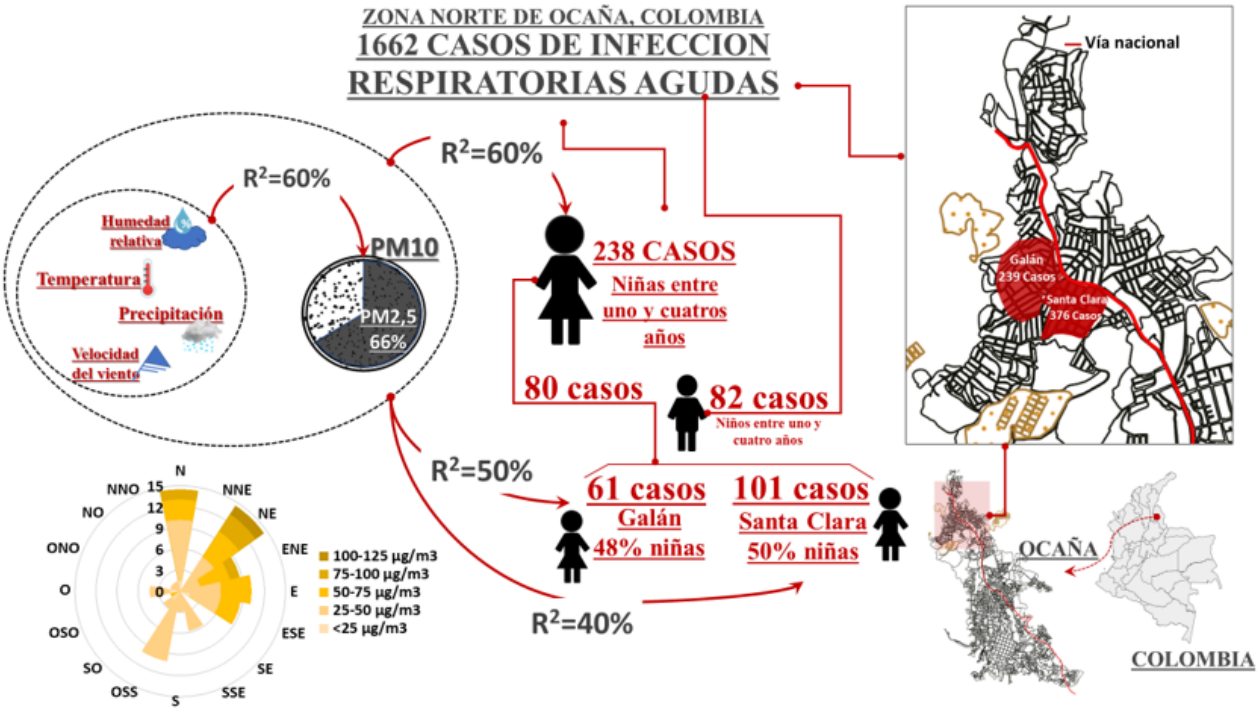
Purpose: To analyze the correlation of particulate matter (PM10 and PM2.5) with weather conditions and the degree of correspondence of acute respiratory infections (ARIs) in the north zone of Ocaña, Colombia.

Methodology: Official information from 2018, 2019, and 2021 was used, including PM2.5 measurements using automated equipment. Variables related to ARIs were grouped by sex, age, and neighborhood, and they were related to particulate matter and meteorological conditions using multiple factor analysis (MFA) and linear regression models.

Results and conclusions: **Results**: The PM2.5/PM10 ratio is significant (Pearson r=0.812) and its concentrations are higher than allowed. PM10 had a significant correlation with wind, precipitation, and humidity (-0.51, -0.53, and -0.56). Women had more recorded cases of ARI than men, with a significant correlation ($p<0.05$) with PM10 and relative humidity, especially for ages one to four and over 60 years. Likewise, neighborhoods downwind and near the national road, showed higher cases of ARI and a greater significant correlation with PM10. **In conclusion**, PM10 and PM2.5 concentrations are significantly correlated with each other and influenced by climatic conditions in Ocaña. Their impacts on respiratory health are significant in children under five years of age, especially those residing in the direction of main PM10 dispersal.

Keywords: air pollution, health, urban traffic, weather conditions, urban road

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y del parque automotor en las ciudades provoca un aumento en la contaminación atmosférica (He *et al*., 2021) e impacta la salud respiratoria de sus habitantes (Han *et al*., 2017). Diferentes investigaciones (Mannucci y Franchini, 2017; Hime *et al*., 2018; Arregocés *et al*., 2021) concluyen que las alteraciones de salud debido a las emisiones por fuentes móviles son muy comunes en personas que viven cerca de las vías. Por otro lado, son pocas las medidas de mitigación que se tienen (Gabbe y Wang, 2019). Asimismo, la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 es una de las principales causas de este tipo de problemas (Sosa *et al*., 2017; Mukherjee y Agrawal, 2017), siendo los niños los más afectados (Mahapatra *et al*., 2020; Manisalidis *et al*., 2020)

A nivel mundial, las infecciones respiratorias agudas (IRA) se encuentran entre los principales problemas de salud pública (Soriano *et al*., 2020), mientras que las emisiones de partículas por fuentes móviles son uno de los principales problemas

de calidad del aire (Pineda, 2018). En Colombia, particularmente en las ciudades de Bogotá (Colla *et al*., 2021; Mangones *et al*., 2020; Zafra *et al*., 2021) y Medellín (Gil *et al*., 2020; Hernández *et al*., 2020), se registran correlaciones significativas del PM2.5 con las muertes de tipo cardiovascular y pulmonar. De lo mencionado se destaca que, en la mayoría de los casos, los estudios sobre los efectos del material particulado se concentran en las grandes ciudades de Colombia sin tener en cuenta que las ciudades intermedias pueden presentar efectos iguales (Rodríguez, 2018). Al respecto, en el año 2018, Ocaña se ubicó en el segundo lugar del departamento de Norte de Santander, Colombia, con más episodios de IRA, de los cuales, de forma predominante, el 34% pertenecieron a los grupos etarios menores de 5 años (IDS, 2019). De acuerdo con registros suministrados por el Hospital Emiro Quintero Cañizares Ocaña, la zona norte de Ocaña es una de las que presenta mayores casos de IRA en la ciudad, argumentándose como posibles causas, la afluencia de población flotante desde Venezuela y otras ciudades de Colombia, así como por eventos culturales, flujo local de personas y condiciones climáticas.

En conformidad con el plan maestro de movilidad de la ciudad de Ocaña (Alcaldía Municipal de Ocaña, 2015), la zona norte, junto con la comuna uno, son los lugares más comerciales de Ocaña. Asimismo, mediciones de material particulado realizadas por la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR), con el apoyo de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, indican que la zona norte presenta mayor concentración de PM10 que la comuna uno y, además, los promedios mensuales de concentraciones de PM10 frecuentan más valores por encima de lo exigido por la normativa colombiana (Pineda y Santiago, 2017). En muestras de PM10 tomadas de ese lugar, se han encontrado hongos relacionados con enfermedades respiratorias (Cuello *et al*., 2017), aunque algunos análisis anuales mostraron un grado de correlación bajo entre la concentración de PM10 y las IRA (Contreras, 2016). Por otra parte, la zona norte es uno de los lugares que presenta un tramo vial con mayores flujos vehiculares de tipo pesado en comparación con otras vías de Ocaña (Fonseca y Delgado, 2017), dado que la comuna es atravesada por una vía nacional que comunica a Venezuela con el centro de Colombia, y su flujo vehicular alcanza los 235 tractocamiones por día.

En estudios de contaminación atmosférica y sus efectos en la salud humana, es necesario tener en cuenta la interpretación de modelos en cuanto a la causalidad y el efecto. (Del Campo y Matamoros, 2020; Roy *et al*., 2019; Cataldo. 2019). En este sentido, es necesario precisar que este artículo es el resultado de un estudio correlacional basado en un análisis grupal de registros hospitalarios de IRA de la zona norte de Ocaña de concentración de PM10 y de las condiciones meteorológicas del área de estudio. De este modo, mediante la aplicación de modelos de análisis factorial múltiple y de regresión lineal simple y múltiple, se analizan las correlaciones

entre la concentración de PM2.5 y la concentración de PM10, así como las correlaciones entre el PM10 y las condiciones meteorológicas, al igual que las correlaciones entre las variables mencionadas y los casos hospitalarios de IRA de la zona norte de Ocaña, teniendo como hipótesis que las condiciones meteorológicas, la concentración de PM10 y el PM2.5 tienen una correlación significativa, además, que estos factores presentan una relación estadísticamente relevante con las IRA.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación fue realizada en la zona norte de la ciudad de Ocaña, Colombia (Figura 1A). Ocaña está ubicada en el nororiente colombiano (Figura 1B) en una depresión montañosa de la cordillera oriental a 1202 msnm (Figura 1D). El lugar tiene una topografía ondulada con un área de 1.34 km^2, atravesada por 1.68 km de vía nacional. Conjuntamente, en el norte se conecta una vía secundaria, mientras que en el oriente y occidente existen vías terciarias. Los parques, centros educativos y religiosos de la zona norte de Ocaña están distribuidos en el área residencial. Su actividad económica está distribuida a los costados de la vía mencionada, no tiene industrias y se caracteriza por tener centros comerciales, micro mercados, talleres de mecánica de motocicletas, carros y tractocamiones. Asimismo, las emisiones atmosféricas provocadas en esta zona están principalmente representadas por fuentes móviles.

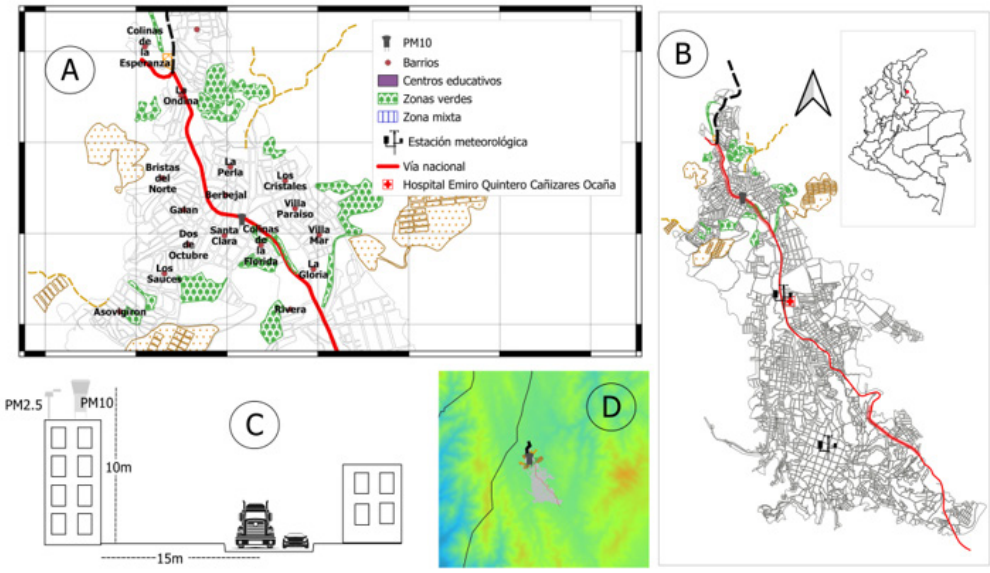


Figura 1. Área de estudio, zona norte de Ocaña.

Fuente: autores.

Datos utilizados

Los registros de casos de IRA fueron suministrados por el Sistema de Vigilancia de Salud Pública (SIVIGILA), específicamente del hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña. Los respectivos registros fueron obtenidos en el orden de semana, edad y barrio, entre mayo de 2018 y septiembre de 2019. La información de concentración de material particulado PM10, comprendida entre las fechas mencionadas, fue suministrada por la red de monitoreo de calidad del aire (Convenio Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y la Corporación Autónoma de la Frontera Nororiental). En esta red se manejó un equipo manual de alto volumen de marca Tisch Environmental ® durante un tiempo de medición de 24 horas cada tres días (Figura 1C). Las muestras de PM2.5 se tomaron con un equipo automático de marca Honeywell® perteneciente a la empresa R INGENIERÍA en conjunto con la medición de concentración de PM10 medida por la red de monitoreo de calidad del aire. Los datos meteorológicos se adquirieron de las estaciones automáticas portátiles de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La información demográfica de la zona norte de Ocaña proviene del censo del 2018, hecho por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Modelos estadísticos

Teniendo en cuenta varios estudios (Quintana *et al*., 2020; Saygın *et al*., 2017) para el análisis de correlación de PM2.5 y PM10, se implementó un modelo de regresión lineal simple de la forma:

$$PM\ 2.5 = a + \beta * PM\ 10 \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde β es la pendiente de la recta que determina cuánto cambiará diariamente el PM2.5 y PM10.

Para cada uno de los contaminantes, el modelo se calibró con 21 mediciones hechas durante los meses de febrero y abril del año 2021.

Teniendo en cuenta que las variables explicativas humedad, precipitación mensual y velocidad del viento son dependientes (Byrne y O'Gorman, 2018), la relación del promedio mensual de PM10 con el promedio mensual de las variables climáticas mencionadas se hizo aplicando un análisis factorial múltiple (AFM), con el objeto de encontrar la correlación entre variables y nuevas variables explicativas sin colinealidad, para crear un modelo de regresión lineal múltiple para estimar la respectiva variable respuesta (PM10) (Ecuación 2).

$$PM10 = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \beta_3 F_3 \text{ (Ecuación 2)}$$

Los valores *F* son hallados a partir del porcentaje de contribución de las variables explicativas (componentes meteorológicos), mientras que los valores β son las constantes de variabilidad de cada una de las nuevas variables halladas (F_1, F_2 y F_3).

En cuanto a los análisis de relación del número de casos hospitalarios de IRA con el PM10 y las variables meteorológicas humedad relativa, precipitación mensual y velocidad del viento, se implementó igualmente el AFM debido a la dependencia que existe entre las respectivas variables explicativas (condiciones meteorológicas y PM10). El modelo de regresión implementado se explica en la ecuación 3.

$$IRA_{(t+n)} = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \beta_3 F_3 \text{ (Ecuación 3)}$$

Los valores F son hallados a partir del porcentaje de contribución de las variables explicativas (componentes meteorológicos y PM10) en cada uno de ellos, los valores β son las constantes de variabilidad de cada una de las nuevas variables halladas (F_1, F_2 y F_3), y *n* hace referencia al desfase semanal del promedio mensual de los casos hospitalarios de IRA. Teniendo como referencia a Grisales *et al*. (2022) y Correal *et al*. (2015), el desfase se hizo hasta por cuatro semanas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Ministerio de Medio Ambiente de Colombia considera buena la calidad del aire cuando el promedio anual de PM10 es menor que 50 $\mu g/m^3$. Al respecto, investigaciones en varias ciudades concluyen que están cumpliendo con dicho parámetro (Posada *et al*., 2017). Sin embargo, se debe tener presente la excedencia que puede existir en el período analizado (Espinosa y Franco, 2019). En la presente investigación se encontró que el promedio de PM10 de los 19 meses comprendidos desde el mes abril de 2018 hasta septiembre de 2019 fue de 46.99 $\mu g/m^3$, que es inferior a lo exigido por la norma colombiana (promedio anual=50$\mu g/m^3$) pero muy superior a lo recomendado por la OMS (2021) (promedio anual=15$\mu g/m^3$). No obstante, hubo promedios mensuales que superaron la norma, incluso, se observaron días que excedieron el máximo permisible a 24 horas (70 $\mu g/m^3$) (Figura 2).

De todo el tiempo analizado, se observó un promedio de velocidad del viento de 7.8km/h, humedad relativa 73%, y una lluvia total de 1,112 mm. En cuanto a la dirección del viento, el PM10 se dispersó de forma predominante de oriente a occidente, sin embargo, la mayor concentración se dispersó de norte a sur. Según varios estudios, en algunos casos estos aumentos de concentración de material particulado también se dan cuando tanto la humedad como el viento aumentan (Sahanavin *et al*., 2018), y la precipitación disminuye (Biglari *et al*., 2017). En este caso de estudio, la concentración de PM10 au-

mentó cuando la velocidad del viento, la humedad relativa y la precipitación disminuyeron. Al respecto, es también necesario tener en cuenta lo explicado por Ezhilkumar y Karthikeyan (2020), donde las variables meteorológicas, en conjunto con las edificaciones, podrían causar una recirculación del contaminante PM10 y, en consecuencia, mantener elevados los respectivos niveles.

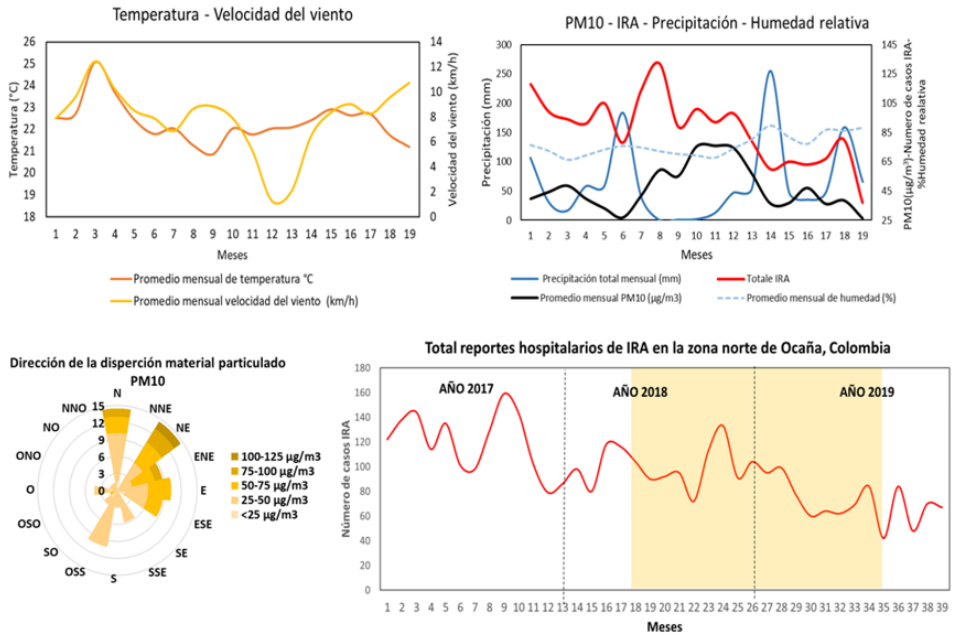


Figura 2. Comportamiento temporal de las condiciones climáticas, el PM10 las IRA de la zona norte de Ocaña.

Fuente: autores.

De la Figura 2 se observa que no existe estacionalidad en las IRA. Asimismo, son similares la tendencia y comportamiento de los registros hospitalarios, el PM10, y la humedad relativa. También se observa que las respectivas infecciones respiratorias tienden a disminuir a partir del octavo mes. En todo el tiempo analizado, la zona norte registró 1662 casos hospitalarios de IRA, alcanzando el tercer lugar (14.68% del total de casos registrados) en comparación con las demás comunas de la ciudad de Ocaña. Teniendo como referencia el censo del DANE 2018, para el período analizado, la zona norte de Ocaña tuvo una relación de 1 persona enferma de IRA por cada 12 habitantes.

Conjuntamente, de acuerdo con otros análisis (Phillips *et al*., 2021; Xue y Li, 2017), es probable que el alto nivel de concentración se deba a que la zona norte de la ciudad de Ocaña es atravesada por una vía nacional con alto flujo vehicular, que a su vez no tiene controles viales, lleva tráfico de vehículos pesados y tiene frecuentes estancamientos vehiculares, entre otros factores.

De ello se conoce que los carros desprenden partículas finas (PM2.5) (Jeong *et al*, 2019) que también se pueden correlacionar como PM10 (Ntziachristos y Samaras, 2020; Mani *et al*., 2020). Los resultados de esta investigación muestran que el 19% de los datos estuvieron por encima de la norma colombiana (37 $\mu g/m^3$ a 24 horas de exposición) (Figura 3A); sin embargo, el 80% fueron superiores a lo que recomienda la OMS (15$\mu g/m^3$). En cuanto a la relación PM2.5/PM10, se obtuvo una correlación de Pearson alta (r=0.812, R^2=0.66) (Figura 3B), lo que indica que el PM10 está representando significativamente la presencia del PM2.5, por lo que hay una alta probabilidad de que ese porcentaje provenga de las emisiones de los vehículos que atraviesan la zona norte de Ocaña. Este resultado es importante porque permite extender los registros de PM2.5 tomando de base los de PM10, que son más comunes de medir, además de tener mayores series de tiempo de registro. Al respecto, se obtuvo la ecuación 4, que nos permite estimar la concentración diaria de PM2.5 a partir de la concentración diaria de PM10, y de igual forma, nos facilita evaluar el comportamiento de las fuentes móviles y sus efectos sobre la salud.

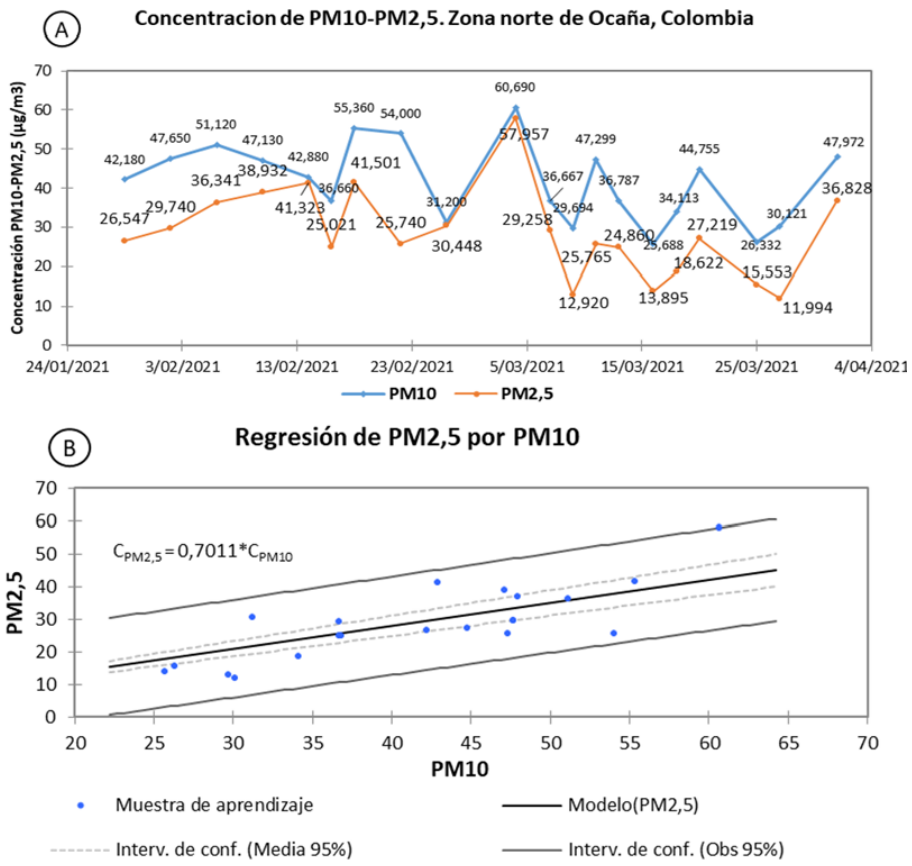


Figura 3. Comportamiento de la concentración de PM10-PM2.5.

Fuente: autores.

$$C_{PM2.5} = 0.7011 * C_{PM10} \text{ (Ecuación 4)}$$

De lo mencionado, es necesario resaltar que el PM2.5 está relacionado con las IRA (Yu *et al*., 2018).

Con el AFM aplicado en análisis de relación entre el PM10 y las condiciones climáticas, se encontraron dos nuevas variables (F_1, F_2). La F_1 está representada por la precipitación (32.011%) y la humedad relativa (38.68%); y la F_2 está representada por el viento (32.453%) y la temperatura (37.441%). Con las nuevas variables mencionadas se obtuvo un modelo de regresión lineal múltiple (Ecuación 5) que en principio da cuenta de un 60% de la variabilidad promedio mensual de PM10 en función de los factores mencionados, cuyos coeficientes de correlación significativos con el contaminante mencionado fueron de -0.53, -0.56 y -0.51 respectivamente

$$C_{PM10} = -0.3887F_1 - 7.257F_2 + 146.21 \quad R^2=0.602 \text{ (Ecuación 5)}$$

Del modelo obtenido, es significativo reconocer la confiabilidad para determinar el promedio mensual de concentración de PM10 a partir de las condiciones meteorológicas, pero no se podría utilizar para estimar los posibles eventos futuros de tipo horario, diario o semanal. Al respecto, se recomienda hacer mediciones temporales en intervalos más cortos; así mismo, es necesario tener en cuenta otros factores locales tales como: remoción de suelo (Espinoza *et al*., 2017) provocada por invasiones y proyectos urbanísticos cercanos a la zona de estudio, así como la ocurrencia de incendios forestales (Uttajug *et al*., 2021; SATC, 2021), entre otros.

En lo relacionado con los casos de IRA, las mujeres tuvieron el mayor número de casos. De acuerdo con su distribución por barrio, Santa Clara fue el que más casos presentó, seguido del barrio Galán. De acuerdo con la Figura 4A, estas localidades alcanzaron el máximo número de casos de IRA con baja humedad, velocidad del viento y precipitación. Además, estos barrios se encuentran ubicados hacia donde más se diluye el contaminante originado en la vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña. De ello, investigaciones demuestran que la dispersión del PM2.5 emitido a nivel de exhosto por fuentes móviles y la ubicación de los receptores son influyentes en las IRA (Reza *et al*., 2005; Kakareka y Salivonchyk, 2020). Al respecto, en comparación con los demás barrios (Anexo 1), se evidencia de forma gráfica que Galán y Santa Clara muestran semejanza con el gráfico que explica la variación de material particulado (Figura 4B); de forma contraria, el barrio La Ondina mostró el menor número de casos de IRA, a pesar de estar muy cerca de la vía nacional, lo que puede deberse a que es un barrio muy comercial con poco uso de suelo residencial.

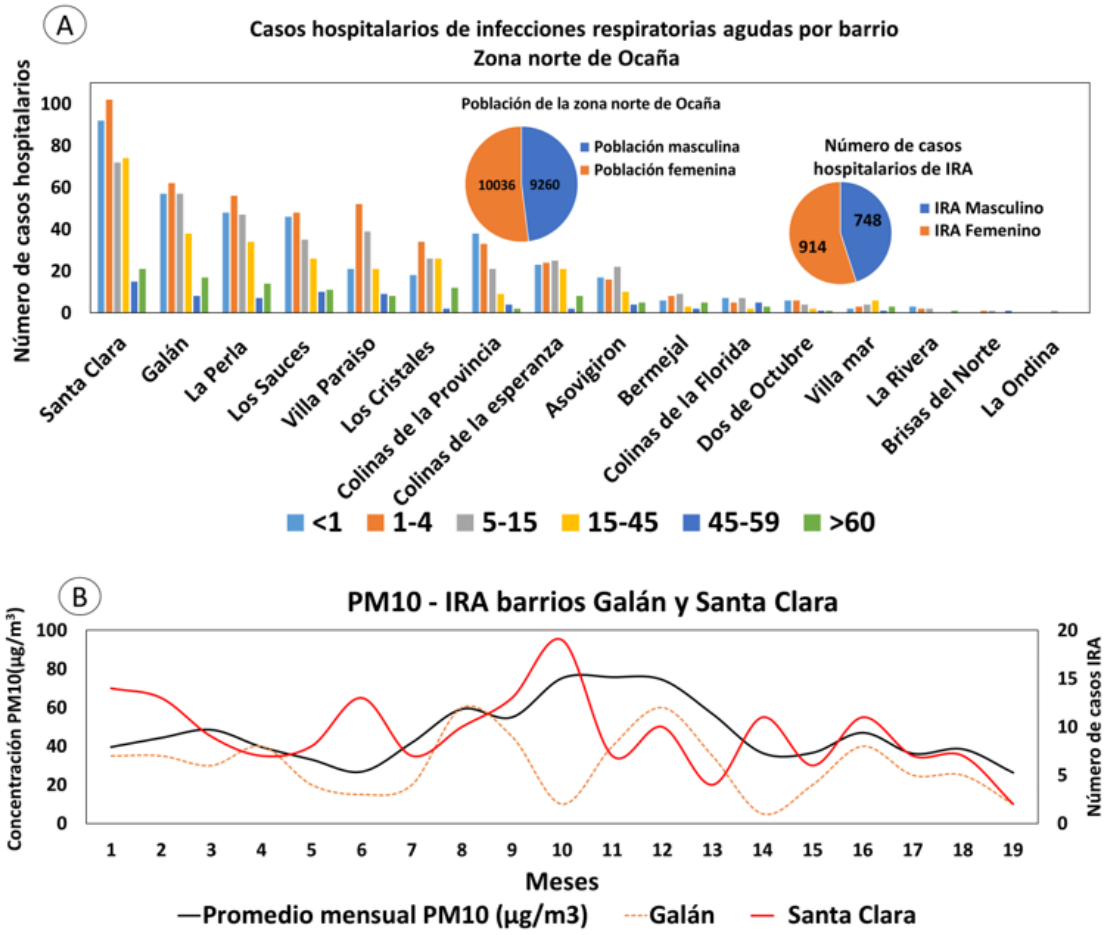


Figura 4. Número de casos de IRA por barrio y edad en la zona norte de Ocaña.
Fuente: autores

De las localidades mencionadas, en la Tabla 1 se determina que solo cuatro tuvieron una correlación significativa con al menos un factor meteorológico y PM10. En cuanto a las mujeres, 198 casos del barrio Santa Clara demostraron ser significativamente sensibles a variaciones de PM10, humedad relativa y precipitación. De igual manera, se evidenciaron 125 casos en el barrio Galán, con la salvedad de que no demostraron ser afectados por la precipitación; por otro lado, 59 casos del barrio Colinas de la Provincia mostraron una correlación significativa con la temperatura. Para los grupos mencionados, se observaron coeficientes de correlación de Pearson de PM10 que oscilan entre los 0.49 y 0.604, lo cual indica unos coeficientes de determinación bajos (R^2), entre 0.24 y 0.36; de manera semejante lo demostró la precipitación (PP); en cambio, la humedad relativa demostró ser más determinante en la variación de IRA para esto barrios, de los cuales los r oscilaron entre 0.672 y 0.692, con R^2 entre 0.4515 y 0.4788.

No obstante, estos resultados en el AFM nos permitieron encontrar nuevas variables que permitieran, bajo un modelo de regresión lineal, ser determinantes en la estimación de IRA. En lo relacionado con los hombres, 114 casos del barrió Galán demostraron estar correlacionados con el PM10, la humedad relativa y la precipitación; adicionalmente, sin incluir la precipitación, 81 casos del barrio los Sauces mostraron semejante correlaciones. De los resultados explicados se observa que las mujeres son más sensibles a las variaciones climáticas y de PM10. Desde lo fisiológico posiblemente esto ocurra por cambios hormonales y diferencias específicas de sexo en la susceptibilidad genética (Xue *et al.*, 2020).

Tabla 1. Correlación por barrio. IRA-PM10-Factores meteorológicos.

Barrio	**Factor ambiental**	**Coeficientes de correlación de Pearson (r) IRA-Factor meteorológico (p<0.05)**						
		Mujeres			**Hombres**			
		r	**$r_{(+1}$**	**$r_{(+2}$**	**r**	**$r_{(+1}$**	**$r_{(+2}$**	
Galán	*PM10*	0.615		0.604	-	0.551	0.514	-
	H%	-		-0.692	-0.667	-0.476	-	-
	P	-		-	-	-0.521	-	-
Santa Clara	*PM10*	0.49		0.493	-	-	-	-
	PP	-0.541		-0.501	-	-	-	-
	%H	-0.662		-0.672	-	-	-	-
Colinas de la Provincia	*T°*	-		-	-0.538	-	-	-
Los Sauces	*PM10*	-		-	-	0.624	0.552	-
	%H	-		-	-	-0.588	-0.514	-

Fuente: autores.

Los coeficientes de correlación de Pearson de la Tabla (1) son comparables y superiores a los encontrados por otros autores en estudios similares (Sahanavin *et al.*, 2018; Cao *et al.*,2018; y Biancofiore *et al.*2017), indicando que las variables explicativas efectivamente manifiestan su importancia en la variabilidad de las IRA. Estos coefi-

cientes pueden robustecerse en la medida en que se continue con un plan de mediciones de las variables involucradas a largo plazo en la municipalidad de Ocaña.

En cuanto a las edades, todos los grupos etarios demostraron tener una correlación significativa con al menos un factor meteorológico y PM10 (Tabla 2). En el caso de las mujeres, 238 casos de niñas entre uno y cuatro años estuvieron significativamente influenciadas por variaciones de PM10 y humedad relativa, además su variación fue la más similar a la variación del PM10 en comparación con los demás grupos etarios (Anexo 2), 184 casos de grupo entre cinco y 15 años demostraron estar afectadas por la humedad, y 67 casos de adultos mayores de 70 años estuvieron correlacionadas con el PM10. En cuanto a los hombres, 205 casos de menores de un año, 214 entre uno y cuatro años estuvieron significativamente influenciados por el PM10, 83 casos entre 15 a 45 años, y 15 casos, entre 45 y 49, demostraron ser sensibles a variaciones de la humedad relativa.

Al igual que en el análisis realizado por barrio, en este análisis también se evidencia que las mujeres están mayormente afectadas, especialmente las niñas. De acuerdo con Becklakea y Kauffmann (1999); Ma *et al*. (2020); Putri y Susanna (2019), es probable que esto ocurra debido a que los pulmones de las niñas son más pequeños que los de los niños, lo que genera dificultad para adaptarse a concentraciones de PM2.5. Adicionalmente, se tuvo en cuenta que otra posible causa es el tipo de combustible utilizado (Tipanluisa y Reina, 2017). Según informes oficiales, en Ocaña, por ser zona de frontera con Venezuela, es frecuente el tráfico ilegal de gasolina y ACPM (Pabón, 2019), además, según los conductores de la región, es combustible de mala calidad. No obstante, el hospital de Ocaña explica que la posible causa es la interacción entre niños contagiados, el descuido de los padres, eventos religiosos de semana santa, visitantes de otras ciudades y otros eventos culturales que provocan alta aglomeración de población.

Tabla 2. Correlación por edad. IRA-PM10-Factores meteorológicos.

Edad	**Factor ambiental**		**Coeficientes de correlación de Pearson significativos (r) IRA-Factor ambiental ($p<0.05$)**					
		Mujeres			**Hombres**			
		r	**$r_{(+1}$**	**$r_{(+2}$**	**r**	**$r_{(+1}$**	**$r_{(+2}$**	

<1	*PM10*	-	-	-	0.481	0.533	-
	H%	-	-	-	-	-	-
1-4	*PM10*	0.669	0.713	0.720	0.528	0.481	-
	%H	-0.510	-0.533	-	-	-	-
5-15	*%H*	-0.565	-0.513	-	-	-	-
15-45	*%H*	-	-	-	-0.502	-0.548	-
45-59	*%H*	-	-	-	-	-	-0.486
>60	*PM10*	-	0.531	-	-	-	-

Fuente: autores.

En el AFM aplicado para el análisis de PM10 (Tabla 3), factores meteorológicos y las IRA, por edad y por sexo, se obtuvieron las variables F_1, F_2 y F_3, cuyo porcentaje de variabilidad acumulada fue del 89.923%. Al respecto, en el F_1 el PM10 mostró el mayor porcentaje de contribución, la velocidad del viento en el F_2, y la temperatura para el F_3. Con estos resultados se obtiene un modelo de regresión lineal múltiple que muestra como los factores ambientales mencionados pueden explicar hasta un 60% en la variabilidad de los casos hospitalarios de IRA en niñas, entre uno y cuatro años, con un desfase de dos semanas.

Tabla 3. Modelo de regresión lineal para estimación de casos hospitalarios mensuales de IRA en niñas entre uno y cuatro años con un desfase de dos semanas

$$(1-4)_{(t+2)} = 32.56 + 0.485F_1 + 1.0431F_2 + 1.88F_3 \quad R^2 = 0.6$$

(Ecuación 6)

Variables explicativas	% de contribución de las variables en los factores		
	F_1	F_2	F_3
PM10	57,883	2,027	6,475
Velocidad del viento	5,621	35,369	17,292
Precipitación	18,768	13,316	3,448
Temperatura	2,638	28,362	68,859
Humedad relativa	15,091	20,926	3,926

Fuente: autores.

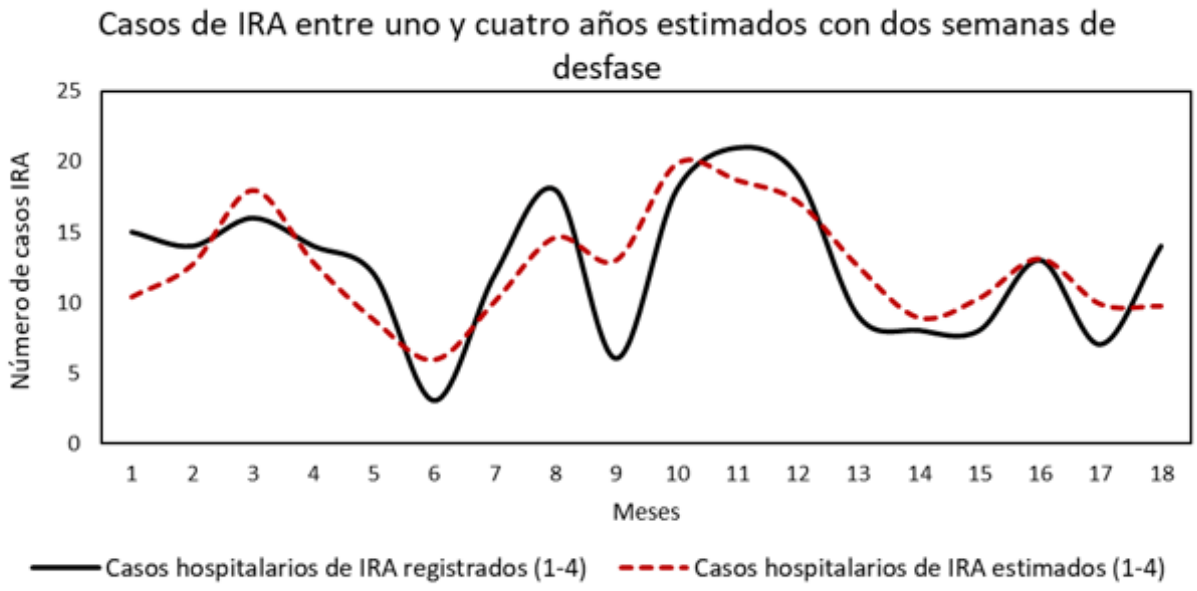


Figura 5. Casos de IRA entre uno y cuatro años estimados.

Fuente: autores.

Al igual que esta investigación, otras investigaciones demuestran que los niños pueden ser los más afectados por contaminación atmosférica y cambios climáticos (Nascimento *et al*., 2020). De acuerdo con los registros oficiales de Bienestar Familiar, en la zona norte se cuidan 533 niños menores de cinco años, distribuidos en 28 hogares comunitarios en el barrio Santa Clara, y 13 en el barrio Galán. Aunque para estos barrios las niñas con estas edades no mostraron una correlación significativa con el PM10, en conjunto, los dos géneros sí presentaron las respectivas correlaciones. De ello, 101 casos hospitalarios de IRA del conjunto de niños y niñas entre uno y cuatro años del barrio Santa Clara, y 61 casos de la misma edad del barrio Galán, obteniendo el mismo nivel de contribución mostrada en la Figura 5; además, se observa que el PM10, el viento y la temperatura influyen estadísticamente en un 41% y 51.5%, respectivamente, en la variabilidad de las infecciones respiratorias de los grupos etarios mencionados.

$$\boldsymbol{IRA - Barrio\ Santa\ Clara(1-4)_{(t+4)} = 0.173F_1 + 0.707F_2 + 0.290F_3 + 6.027\ R^2 = 0.41}$$

(Ecuación 7)

$$\boldsymbol{IRA - Barrio\ Galán(1-4)_{(t+3)} = 0.206F_1 + 0.7734F_2 + 1.3278F_3 + 20.914\ R^2 = 0.515}$$

(Ecuación 8)

Por otro lado, se obtuvo una correlación significativa entre el PM10 y las mujeres mayores de 60 años, a pesar de que el índice de determinación es relativamente bajo. Sin embargo, en este escenario es importante discutir cuales pudieron ser las causas. Se ha confirmado que los adultos mayores también son los más afectados por la contaminación por material particulado (Feng *et al*., 2019); para este grupo de personas esto puede ocurrir por un bajo sistema inmune (AliAkbarzadeh *et al*., 2018) debido a influencias hormonales, tamaño pulmonar, tabaquismo, entre otros (Thabethe y Wichmann, 2021; Chen *et al*., 2018; Liu *et al*., 2019). No obstante, semejante a lo sucedido con los niños, la ubicación residencial de este tipo de personas también puede influir en la alta correlación con el PM10. El DANE (2018) reporta que en el occidente de la vía nacional existe mayor población de personas mayores de 70 años, especialmente en los barrios mencionados.

De lo discutido acerca de la IRA y sus posibles causas, dependiendo de la atención médica (Tobón y Cardona, 2018; Téllez, 2019), varios estudios demuestran que estos impactos en la salud respiratoria pueden permanecer varios días (Gabbe *et al*., 2019; Ferrero *et al*., 2019). En este caso de estudio, las buenas correlaciones con los desfases temporales encontrados con los modelos de regresión lineal múltiple permitirían prever la posible incidencia del PM10 sobre las IRA hasta con cuatro semanas de antelación, en especial, en las niñas; lo cual representaría un apoyo para las instituciones hospitalarias que reciben a la población afectada en diferentes épocas del año.

En cuanto a las condiciones meteorológicas, se observó que solamente la humedad, la precipitación y la temperatura tuvieron efectos sobre la IRA. Estudios explican que esto se debe a la baja humedad, que en efecto provoca mejor estabilidad a los virus (Jo *et al*., 2017; Mansour *et al*., 2020); y la temperatura ocasiona inestabilidad arterial (Yang *et al*., 2021), lo que en consecuencia altera de forma adversa el sistema respiratorio. Por otro lado, es también necesario reconocer la influencia del lugar de permanencia de este grupo de personas (Rodríguez *et al*., 2021; Galindo *et al*., 2018). Es probable que su lugar de trabajo tenga menos concentración de PM10 y, en consecuencia, los problemas de salud sean causados por variaciones climáticas. De todas maneras, es preciso hacer un análisis más selecto que logre reconocer los efectos de las variaciones meteorológicas y los contaminantes atmosféricos.

Con los grupos etarios que tuvieron IRA y no tuvieron relación con el material particulado y las condiciones meteorológicas, es posible que esto se deba a las aglomeraciones de la población, Santos *et al*. (2019) mencionan que las altas concentraciones de PM10 se presentan en épocas típicas de celebraciones religiosas y culturales de la ciudad de Ocaña. Otras posibles causas son los comportamientos de migración e inmigración (Houston *et al*., 2020); según la Secretaria de Salud, desde Venezuela y sitios de Colombia arriban al hospital de Ocaña menores de edad y personas con

alteraciones en la salud respiratoria; asimismo, mencionan que este tipo de población reside de forma transitoria en la zona norte con crisis alimentaria, económica y de vivienda; adicionalmente, teniendo en cuenta lo explicado por Molina *et al*. (2021), el desplazamiento interno urbano incide en las IRA. De acuerdo con la Secretaria de Planeación de la ciudad de Ocaña, la zona norte es muy frecuentada por su elevado flujo comercial y de transporte.

Desde otro punto de vista, en este estudio se evidenció un número elevado de individuos que no asistieron al hospital. Tal vez presentaron IRA, pero su gravedad no fue tan significativa para acudir al hospital, posiblemente por su buena nutrición (Sorensen, 2018), intercambio microbiano desde muy joven (Nino *et al*., 2021; Dumas *et al*., 2018), sistema inmune congénito (Johnston, 2021), remedios caseros (O'Grady *et al*., 2018; Jaykaran *et al*., 2020) o uso de medicamentos con decisión propia (Kaur *et al*., 2021). De lo mencionado, es necesario implementar visitas más puntuales con el objetivo de identificar el comportamiento socioeconómico y cultural de la zona norte, junto con su afinidad con las IRA, el PM10 y condiciones meteorológicas.

En este estudio se resalta la adecuada información entregada por las diferentes fuentes oficiales, debido a que son instituciones competentes que, en principio, cumplen con la normativa vigente. Con esta indagación se logró conocer el comportamiento temporal del PM10, las IRA, las condiciones meteorológicas y su relación entre las respectivas partes. Igualmente, se reconoce la necesidad de medir de forma secuencial, y en un período más largo, las concentraciones de PM2.5 en la ciudad de Ocaña. Si bien en este estudio se utilizó un equipo no certificado por la EPA, pero recomendado por varios investigadores (Hwa *et al*; 2021), es ineludible que las autoridades ambientales realicen mediciones con equipo automatizado, tal como lo exige la norma colombiana vigente o, como en otras ciudades de Colombia (López, 2019), validen mecanismos o procedimientos que permitan mantener de forma continua, oportuna y económica, las mediciones de concentración de material particulado. Ahora bien, las mediciones de PM10 tan solo se han socializado con las autoridades ambientales competentes; sin embargo, es pertinente que la comunidad ocañera y los centros hospitalarios de la región estén informados, con el objetivo de que se preparen ante la posible elevación de casos hospitalarios de IRA que, como lo demuestra esta investigación, tienen una correlación significativa con el PM10.

4. CONCLUSIONES

En la zona norte de Ocaña, el 66% de material particulado PM10 esta significantemente representado por el PM2.5, es decir, las fuentes móviles tienen una incidencia representativa sobre la concentración de PM10; también, las variaciones de la concentración de PM10 dependen del viento, la precipitación y la humedad. Por otro lado, es importante mencionar que el promedio anual de PM10 no superó los límites permitidos, por lo que el PM2.5, en principio, tampoco estuvo por fuera de la norma.

En cuanto a las IRA, no se puede concluir que el material particulado PM10 y las condiciones meteorológicas influyen sobre la salud respiratoria de todos los barrios ni de todos los grupos etarios de la zona norte de Ocaña. En este sentido, sólo los barrios Galán y Santa Clara demuestran ser las localidades que presentan los mayores casos de IRA relacionados con variaciones de PM10 y las condiciones meteorológicas. Los niños de estos barrios con edades entre uno y cuatro años demostraron ser los más impactados, determinando así que entre un 40% y 50% de ellos son influenciados por los factores ambientales mencionados. Es importante mencionar que ellos representan el 9.7% del total de casos de IRA de la zona norte, y el 1.2% del total de casos hospitalarios de IRA registrados en la ciudad de Ocaña.

A nivel general, el estudio muestra que las niñas entre uno y cuatro años de toda la zona norte de Ocaña demostraron ser las más susceptibles y las más impactadas por los cambios de PM10 y las condiciones climáticas, representando el 14.32%. del total de casos hospitalarios de IRA de la zona norte, y el 2.5% del total de casos registrados en la ciudad de Ocaña.

En conjunto con los factores meteorológicos resaltados, es importante mencionar la dirección y la velocidad del viento, puesto que, a pesar de no mostrar relevancia en el modelo de regresión lineal, el modelo gráfico permite deducir que los mayores casos hospitalarios de IRA en la zona norte de Ocaña ocurren hacia donde se dispersa el PM10, en especial los barrios más cercanos a la vía nacional; es decir, que los casos de IRA están influenciados por el material particulado emitido por fuentes móviles. De ello, se concluye que el efecto del PM10 persiste en períodos relativamente largos, y con un dominio mayor que los factores meteorológicos. Los modelos de regresión con antecedencias obtenidos en esta investigación ofrecerían un apoyo importante para que los centros hospitalarios de Ocaña prevean la cantidad de casos de IRA que ingresarán en eventos futuros debido a alteraciones meteorológicas y de calidad del aire producidas, demostrando la necesidad de un trabajo conjunto, además de articulado, entre las instituciones de salud y las autoridades locales encargadas de medir, y analizar, la calidad del aire como de las condiciones meteorológicas del municipio.

Finalmente, se resaltan otros condicionantes que no se ven reflejados en estos modelos, como el hecho de que los comportamientos económicos y socioculturales del área de estudio y zonas aledañas contribuyen también en los efectos adversos de la salud respiratoria de los residentes de la zona de estudio que acudieron al hospital, y el hecho de que en la zona norte de Ocaña existe un porcentaje relevante de personas que no acuden a los centros médicos para tratar sus afecciones respiratorias causadas por los factores discutidos, especialmente por el material particulado y las condiciones climáticas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Alexander Armesto Arenas: Toma de datos, metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Julio Eduardo Cañón Barriga:** Investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por su recurso humano y la disponibilidad de equipos e infraestructura, a la Universidad de Antioquia y su programa de maestría en Gestión ambiental por su recurso humano, al hospital Emiro Quintero Cañizares por la información suministrada, a la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR) por el suministro de información y a la empresa RIngeniería por el préstamo de equipos.

LITERATURA CITADA

Alcaldía municipal de Ocaña. (2015). *Formulación del plan maestro de movilidad del municipio de Ocaña*. https://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000069/3450_plan_de_movilidad.pdf

Ali Akbarzadeh, M., Khaheshi, I., Sharifi, A., Yousefi, N., Naderian, M., Namazi, M. H., and Nickdoost, N. (2018). The association between exposure to air pollutants including PM 10, PM 2.5, ozone, carbon monoxide, sulfur dioxide, and nitrogen dioxide concentration and the relative risk of developing

STEMI: A case-crossover design. *Environmental Research, 16,* 299-303. https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.020

Arregocés, H. A., Rojano, R. & Restrepo, G. (2021). Impact of lockdown on particulate matter concentrations in Colombia during the COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment, 764*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142874

Becklakea, M. R., & Kauffmann, F. (1999). Gender differences in airway behaviour over the human life span. *Thorax, 54,* 1119–1138. http://dx.doi.org/10.1136/thx.54.12.1119

Biglari, H., Mohammadi, S., Porazmey, M. J., Chuturkova, E. J., Khaniabadi, R. Z., Goudarzi, G., Mahboubi, M., Mohammadi, B. & Yari, A. R. (2017). Relationship between air particulate matter and meteorological parameters. *Fresenius environmental bulletin, 26*(*6*), 4047-4056.

Biancofiore, F., Busilacchio, M., Verdecchia, M., Tomassetti, B., Aruffo, E., Bianco, S., & Di Carlo, P. (2017). Recursive neural network model for analysis and forecast of PM10 and PM2. 5. *Atmospheric Pollution Research, 8*(4), 652-659. https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.12.014

Byrne, M. P., & O'Gorman, P. A. (2018). Trends in continental temperature and humidity directly linked to ocean warming. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of Americans*, *115*(19). https://doi.org/10.1073/pnas.1722312115

Cao, Q., Rui, G., & Liang, Y. (2018). Study on PM2. 5 pollution and the mortality due to lung cancer in China based on geographic weighted regression model. *BMC public health, 18*(1), 1-10. https://doi.org/10.1186/s12889-018-5844-4

Cataldo, R., Arancibia, M., Stojanova, J., y Papuzinski, C. (2019). Conceptos generales en bioestadística y epidemiología clínica: estudios observacionales con diseños transversal y ecológico. *Medwave*, *19*(8), e7698. https://doi.org/10.5867/medwave.2019.08.7698

Chen, C., Zhu, P., Lan, L., Zhou, L., Liu, R., Sun, Q., . . . Li, T. (2018). Short-term exposures to PM 2.5 and cause-specific mortality of cardiovascular health in China. *Environmental Research, 161*. 188-194. https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.046

Colla, N. S., Botté, S. E., & Marcovecchio, J. E. (2021). Atmospheric particulate pollution in South American megacities. *Environmental Reviews*. https://doi.org/10.1139/er-2020-0105

Contreras, E. (2016). *Evaluación de los efectos en salud relacionados con la contaminación del aire para el sector ciudadela norte de la ciudad de Ocaña, norte de Santander.* [Trabajo de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Biblioteca digital Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Correal, M. E., Marthá, J. E., y Sarmiento, R. (2015). Influencia de la variabilidad climática en las enfermedades respiratorias agudas en Bogotá. *Bio-*

médica, *35*(SPE), 130-138. https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2456

Cuello, J. A., Armesto, A. A., Hernández, C. J. D., y Pedraza, F. M. (2017). Hongos asociados al material particulado, en Ocaña Norte de Santander. *Revista Ingenio, 12*(1). https://doi.org/10.22463/2011642X.2126

Del Campo, N. M. S., y Matamoros, L. Z. (2020). Técnicas estadísticas multivariadas para el estudio de la causalidad en Medicina. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, *24*(2), 1-14.

Departamento Nacional de Estadística. [DANE]. (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda. Estadísticas, Bogotá. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018

Dumas, A., Bernard, L., & Yannick Poquet, G. L. (2018). The role of the lung microbiota and the gut-lung axis in respiratory infectious diseases. *Cell Microbiol, 20(*12). https://doi.org/10.1111/cmi.12966

Espinosa, M., y Franco, J. F. (2019). *Gestión de la Calidad del Aire en Bogotá* [Conferencia]. Foro nacional ambiental. Bogotá, Colombia. https://www.foronacionalambiental.org.co/wp-content/uploads/2019/09/MonicaEspinosaY-JuanFranco-comprimido.pdf

Espinoza, J. F., Herrera, L. C., Remolina, B. R., & Pachón, J. E. (2017). Stimation of resuspended dust emission factors before, during and after road paving process in Bogotá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 27*(1), 43-60. https://doi.org/10.18359/rcin.1797

Ezhilkumar, M. R., & Karthikeyan, S. (2020). Vertical Measurement of PM2.5 and PM10 in Street Canyons and Cohort Health Risk Estimation at Chennai, South India. *Environmental Engineering Science, 37*(8), 535-547. https://doi.org/10.1089/ees.2019.0494

Feng, W., Li, H., Wanga, S., Lutterodt, N. V., An, J., Liu, Y., . . . Guo, X. (2019). Short-term PM10 and emergency department admissions for selective cardiovascular and respiratory diseases in Beijing, China. *Science of the Total Environment, 657*, 213-221. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.066

Ferrero, F., Abrutzky, R., Ossorio, M. F., & Torres, F. (2019). Effects of contamination and climate in the Pediatric Emergency Department visits for acute respiratory infection in the City of Buenos Aires. *Arch Argent Pediatr, 117*(6), 368-374. https://doi.org/10.5546/aap.2019.eng.368

Fonseca, K. J., y Delgado, E. C. (2017). *Inventario de emisiones por fuentes móviles en el perímetro urbano del municipio de Ocaña Norte de Santander.* [Trabajo de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Biblioteca digital Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Gabbe, C. J., Oxlaj, E., & Wang, J. (2019). Residential development and

near-roadway air pollution: Assessing risk and mitigation in San José, California. *Journal of Transport & Health, 13*, 78-89. https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.03.011

Galindo, N. E., Varea, N. M., & Crespo, J. (2018). Characterization of metals in PM1 and PM10 and health risk evaluation at an urban site in the western Mediterranean. *Chemosphere, 201*, 243-250. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.162

Gil, D. A., Peláeza, L. M., Jaramillo, T. Á., Correa, O. M. A., & Saldarriaga, M. J. C. (2020). Evaluating the impact of PM2. 5 atmospheric pollution on population mortality in an urbanized valley in the American tropic. *Atmospheric Environment, 224*. 117343 https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117343

Grisales, R. H., Montealegre, N., Piñeros, J. G., Ospina, D., y Nieto, E. (2022). Relación de PM2, 5 y Enfermedad Respiratoria Aguda en un territorio de Colombia: Modelos Aditivos Generalizados. *Universidad y Salud*, *24*(1), 45-54. https://doi.org/10.22267/rus.222401.256

Han, L., Zhou, W., Li, W., & Qian, Y. (2017). Global population exposed to fine particulate pollution by population increase and pollution expansion. *Air Quality, Atmosphere & Health, 10*(10), 1221-1226. https://doi.org/10.1007/s11869-017-0506-8

He, M., Chen, J., He, Y., Li, Y., Long, Q., Qiao, Y., & Zhang, K. (2021). Trends and Source Contribution Characteristics of SO2, NOX, PM10 and PM2.5 Emissions in Sichuan Province from 2013 to 2017. *Atmosphere, 12(*2), 189. https://doi.org/10.3390/atmos12020189

Hernández, C. Z., Giraldo, G. D., & Tobón, R. B. (2020). Physicochemical Characterization of Airborne Particulate Matter in Medellín, Colombia, and its Use in an-In Silico Study of Ventricular Action Potential. *Water, Air, & Soil Pollution, 231*. https://doi.org/10.1007/s11270-020-04884-5

Hime, N. J., Marks, G. B., & Cowie, C. T. (2018). A Comparison of the Health Effects of Ambient Particulate Matter Air Pollution from Five Emission Sources. *International journal of environmental research and public health, 15*(6), 508 1206. https://doi.org/10.3390/ijerph15061206

Houston, A. R., Lynch, K., Ostrach, B., & Isaacs, Y. S. (2020). United States immigration detention amplifies disease interaction risk: A model for a transnational ICE-TB-DM2 syndemic. *Global Public Healt,*1-20. https://doi.org/10.1080/17441692.2021.1919737

Hwa H. G., WeiTu, T. C., Wang, C., Chang, S. C., Yu, J. Y., Lin, G. Y., . . . Tsai, C. J. (September de 2021). Long-term evaluation and calibration of three types of low-cost PM2. 5 sensors at different air quality monitoring stations. *Journal of Aerosol Science, 157*, 105829. https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105829

Instituto Departamental de Salud. [IDS]. (2019). *Informe de comportamiento de eventos de interés en salud pública*. Norte de Santander. Semanas epidemiológicas. Informe de salud, Instituto Departamental de Salud, Cúcuta. http://salasituacionalidsnds.weebly.com/informacioacuten.html

Jaykaran Charan, P. B., Dutta, S., Kaur, R., Bist, S. K., Detha, M. D., Kanchan, T., . . . Sharma, P. (2020). Use of Complementary and Alternative Medicine (CAM) and Home Remedies by COVID-19 Patients: A Telephonic Survey. *Indian Journal of Clinical Biochemistry, 36*(1), 108-111. https://link.springer.com/article/10.1007/s12291-020-00931-4

Jeong, C. H., Wang, J. M., Hilker, N., Jerzy Debosz, U. S., Su, Y., Noble, M., . . . J. Evans, D. H. (2019). Temporal and spatial variability of traffic-related PM2.5 sources: Comparison of exhaust and non-exhaust emissions. *Atmospheric Enviroment, 198*, 55-69. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.10.038

Jo, E. J., Lee, W. S., Jo, H. Y., Chang Hoon Kim, J. S., Mok, J. H., Kim, M. H., . . . Park, H. K. (2017). Effects of particulate matter on respiratory disease and the impact of meteorological factors in Busan, Korea. *Respiratory Medicine, 124*, 79-87. https://doi.org/10.1016/j.rmed.2017.02.010

Johnston, R. B. (2021). *An overview of the innate immune system*. https://www.uptodate.com/contents/an-overview-of-the-innate-immune-system#-topicContent

Kakareka, S., & Salivonchyk, S. (2020). Assessment of atmospheric pollutant dispersion from mobile sources in Antarctica: a case study of Vecherny Oasis. *Polar Geography, 43*(4), 280-294. https://doi.org/10.1080/1088937X.2020.1766591

Kaur, N., Bisht, B., & Kaur, M. (2021). Self Medication Practices among Youngsters: A Global Health Concern. *Medico-legal Update, 21*(1).

Liu, J., Wang, W., Chen, Y. E., & Ping, C. C. (2019). Age Structures and Air Pollution: What Role Does Gender Play. *Problemy Ekorozwoju, 14*(1).

López, M. J., y Vega, A. F. (2019). *Estrategias de mejoramiento de la calidad del aire en ciudades con problemas de contaminación*. [Monografía. Especialización en gestión ambiental, Universidad de Antioquia]. Biblioteca digital de la universidad de Antioquia.

Ma, Y., Yue, L., Liu, J., He, X., Li, L., Niu, J., & Luo, B. (2020). Association of air pollution with outpatient visits for respiratory diseases of children in an ex-heavily polluted Northwestern city, China. *BMC Public Health, 20*(816), 1-14. https://doi.org/10.1186/s12889-020-08933-w

Mahapatra, B., Monika Walia1, W. R., & Saggurti, N. (2020). Effect of exposure to PM10 on child health: evidence based on a large-scale survey from 184

cities in India. *BMJ global health, 5*(8). 1-8. http://dx.doi.org/10.1136/bmjgh-2020-002597

Mangones, S. C., Jaramillo, P., Rojas, N. Y., & Fischbeck, P. (2020). Air pollution emission effects of changes in transport supply: the case of Bogotá, Colombia. *Environmental Science and Pollution Research, 27*(29), 35971–35978. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08481-1

Mani, S. A., Mani, F. S., Kumar, A., Shah, S., & Peltier, R. E. (2020). Traffic related PM2. 5 air quality: Policy options for developing Pacific Island countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 87*, 102519. https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102519

Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health, 8*, 1-13. https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014

Mannucci, P. M., & Franchini, M. (2017). Health effects of ambient air pollution in developing countries. International journal of environmental research and public health. *International journal of environmental research and public health, 14*(9), 1048. https://doi.org/10.3390/ijerph14091048

Mansour, E., Vishinkin, R., Rihet, S., Saliba, W., Fish, F., Sarfati, P., & Haick, H. (2020). Measurement of temperature and relative humidity in exhaled breath. S*ensors and actuators B: Chemical, 304*, 127371. https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127371

Molina, G. N. I., Parada, R. S., Arévalo, J. L., & Jiménez, P. A. (2021). Analysis of incidence of air quality on human health: a case study on the relationship between pollutant concentrations and respiratory diseases in Kennedy, Bogotá. *International Journal of Biometeorology, 65*. https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-020-01955-4

Mukherjee, A., & Agrawal, M. (2017). A global perspective of fine particulate matter pollution and its health effects. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 44*, 5-51 https://link.springer.com/chapter/10.1007/398_2017_3

Nascimento, A. P., Santos, J. M., Mill, J. G., Albuquerque, T. T., Júnior, N. C., AnselmoReisen, V., & Page, É. C. (2020). Association between the incidence of acute respiratory diseases in children and ambient concentrations of SO2, PM10 and chemical elements in fine particles. *Environmental Research, 188*. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109619

Nino, G., Martínez, C. E., & Gutiérrez, M. J. (2021). Early Microbial–Immune Interactions and Innate Immune Training of the Respiratory System during Health and Disease. *Children, 8*. https://doi.org/10.3390/children8050413

Ntziachristos, L., y Samaras, Z. (2019). *Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos*. Agencia Europea de Medio Ambiente.

Roy, G. R. I., Rivas, R, R., Pérez, R. M., y Palacios, C. L. (2019). Correlación: no toda correlación implica causalidad. *Revista Alergia México*, *66*(3), 354-360.

O'Grady, K. A., Kerry, A. B., Anne, C., & Potter, C. (2018). Review of respiratory diseases among Aboriginal and Torres Strait Islander children. *Australian Indigenous HealthBulletin, 18*(2). https://eprints.qut.edu.au/119551/

Pabón, S. (2019). *Contrabando de combustible en Norte de Santander: Complizidad fronteriza*. https://crudotransparente.com/2019/10/02/complicidad-fronteriza-el-contrabando-de-combustible-en-norte-de-santander/

Phillips, B. B., Bullock, J. M., L. Osborne, J., & Gaston, K. J. (2021). Spatial extent of road pollution: A national analysis. *Science of the Total Environment, 773*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145589

Pineda, D. A. (2018). *Análisis de la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 en la ciudad de Manizales*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional]. Biblioteca digital Universidad Nacional.

Pineda, Y. C., y Santiago, L. F. (2017). *Evaluación de la contaminación atmosférica respecto al material particulado menor a 10µm, en el casco urbano del municipio de Ocaña, norte de Santander.* [Tesis de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Biblioteca digital de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Posada, E., Gómez, M., y Almanza, J. (2017). Análisis comparativo y modelación de las situaciones de calidad del aire en una muestra de ciudades del mundo. Comparación con el caso de Medellín. *Revista Politécnica, 13*(25). 9-29. https://doi.org/10.33571/rpolitec.v13n25a1

Putri, M. S., & Susanna, D. (2019). *The Effectiveness of Health Promotion on Knowledge of Mothers about Acute Respiratory Infections (ARI) in Mipiran Village, Padamara Public Health Center* [Conferencia]. The 2nd International Meeting of Public Health 2016: Public Health Perspective of Sustainable Development-Goals: Challenges and Opportunities in Asia Pacific Region, KnE Life Sciences, pages 123–128.

Quintana, G. R., Polo, G. R., y Santodomingo, N. A. (2020). Modelo de regresión lineal múltiple para estimar concentración de pm1. *Revista internacional de contaminación ambiental, 35*(1). 179-194. https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.01.13

Reza, P. Z., Kingham, S., & Pearce, J. (2005). Evaluation of a year-long dispersion modelling of PM10 using the mesoscale model TAPM for Christchurch, New Zealand. *Science of The Total Environment, 349*, 249-259. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.037

Rodríguez, V., Gama, C., Ascenso, A., K. Oliveira, Coelho, S., Monteiro, A., . . . López, M. (2021). Assessing air pollution in European cities to support a

citizen centered approach to air quality management Science of The Total Environment. *Science of The Total Environment, 799*. 149311. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149311

Rodríguez. V. L. A. (2018). Short-term effects of air pollution on respiratory and circulatory morbidity in Colombia 2011–2014: A multi-city, time-series analysis. *International journal of environmental research and public health, 15*(8). https://www.mdpi.com/1660-4601/15/8/1610

Sahanavin, N., Prueksasit, T., & Tantrakarnapa, K. (2018). Relationship between PM 10 and PM 2.5 levels in high-traffic area determined using path analysis and linear regression. *Journal of Environmental Sciences, 69*, 105-114. https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.01.017

Santos, P. D., Silva, F. C., Santos, B. W., & Schivinski, a. I. (2019). Early childhood education professionals' knowledge about prevention, detection and treatment of acute respiratory infections in children. *Acta Scuentiarum. Health Sciences, 41*, 1-10. https://doi.org/10.4025/actascihealthsci.v41i1.43759

Saygın, M., Taner Gonca, 2. Ö., Has, M., Çalışkan, S., Has, Z. G., & Akkaya, A. (2017). To Investigate the Effects of Air Pollution (PM10 and SO2) on the Respiratory Diseases Asthma and Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Turkish Thoracic Journal, 18*(2), 33-39. https://doi.org/10.5152/TurkThoracJ.2017.16016

Sistema de alertas tempranas ante inundaciones y sequias como medida de adaptación al cambio climático en el departamento de Norte de Santander [SATC] (2021). *Incendios* https://www.satcnortedesantander.gov.co/#no-back-button

Sorensen, G. L. (2018). Surfactant Protein D in Respiratory and Non-Respiratory Diseases. Frontiers in medicine. *Pulmonary medicine, 5*(18). https://doi.org/10.3389/fmed.2018.00018

Soriano, J. B., Kendrick, P. J., Paulson, K. R. (2020). Prevalence and attributable health burden of chronic respiratory diseases, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet Respiratory Medicine, 8*, 585-596. https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30105-3

Sosa, B. S., Porta, A., Lerner, J. E. C., Noriega, R. B., & Massolo, L. (2017). Human health risk due to variations in PM10-PM2. 5 and associated PAHs levels. *Atmospheric environment, 160*, 27-35. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.004

Téllez, L. E. (2019). Calidad de la atención médica y adherencia a la guía de manejo colombiana de neumonía adquirida en la comunidad en el Hospital Uni-

Tipanluisa, L. E., y Reina, S. W. (2017). Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades. *Información tecnológica, 28*(1). doi: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000100002

Thabethe, N. D., & Wichmann, K. V. (2021). Association between ambient air pollution and cause-specific mortality in Cape Town, Durban, and Johannesburg, South Africa: any susceptible groups. *Environmental Science and Pollution Research, 28*. https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13778-w

Tobón, L. A., y Cardona-Arias, J. A. (2018). Evaluación de la calidad de los servicios médicos según las dimensiones del SERVQUAL en un hospital de Colombia. *Archivos de medicina, 14*(44).

Uttajug, A., Ueda, K., Oyoshi, K., Honda, A., & Takano, H. (2021). Association between PM10 from vegetation fire events and hospital visits by children in upper northern Thailand. *Science of The Total Environment, 764*, 142923. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142923

World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

Xue Li, 1. P., Chan, K. Y., Campbell, H., Theodoratou, E., & Rudan, I. (June de 2020). The disease burden of childhood asthma in China: a systematic review and meta-analysis. *Journal of global health, 10*(1). https://doi.org/10.7189/2Fjogh.10.01081

Xue, F., & Li, X. (2017). The impact of roadside trees on traffic released PM10 in urban street canyon: Aerodynamic and deposition effects. *Sustainable cities and society, 30*, 195-204. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.001

Yang Shen, X. Z., Cai Chen, Q. L., Li, X., Qu, W., Xuejian Liu, L. Z., & Chang, S. (January de 2021). The relationship between ambient temperature and acute respiratory and cardiovascular diseases in Shenyang, China. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(16), 20058-20071. https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-11934-2

Yu, W., Guo, Y., Shi, L., & Li, S. (2018). The association between long-term exposure to low-level PM2. 5 and mortality in the state of Queensland, Australia: A modelling study with the difference-in-differences approach. *PLoS medicine, 17*(6), 1-19. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003141

Zafra, C., Suárez, J., & Pachón, J. E. (January de 2021). Public Health Considerations for PM10 in a High-Pollution Megacity: Influences of Atmospheric Condition and Land Coverage. *Atmosphere, 12*(1), 118. https://www.mdpi.com/2073-4433/12/1/118

Conflicto de intereses
Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Licencia de Creative Commons
Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.