

# Análisis de la Mortalidad Diaria por COVID-19 en Relación con la Calidad del Aire y Variables Climáticas en Siete Ciudades Colombianas

Analysis of Daily COVID-19 Mortality in Relation to Air Quality and Climatic Variables in Seven Colombian Cities

Eric Comincini Cantillo<sup>1</sup>, Karen V. Bohorquez Sanchez<sup>2</sup>, Deissy V. Rojas Guaidia<sup>3</sup>

## Resumen

**Introducción.** La pandemia de COVID-19 ha afectado significativamente la salud pública mundial. En Colombia, las variaciones en las tasas de mortalidad diaria por COVID-19 en diferentes ciudades han generado interés en investigar los factores ambientales que podrían influir en estas variaciones. Este estudio analiza la relación entre la mortalidad diaria por COVID-19 y variables climatológicas (temperatura máxima diaria, humedad relativa, precipitaciones diarias) y de calidad del aire (PM2.5 y PM10) en Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga, Cartagena, Barranquilla y Cúcuta, durante el período del 6 de marzo de 2020 al 30 de abril de 2023. **Materiales y Métodos.** Se utilizó un diseño observacional retrospectivo transversal. Los datos de mortalidad diaria por COVID-19 se obtuvieron del Instituto Nacional de Salud (INS) de Colombia. Las variables climatológicas y de calidad del aire se recopilaron del IDEAM, SISAIRE, IQAir, Meteostat, NOAA, EPA y la OMS. Se incluyeron datos completos de las siete ciudades para las variables climatológicas y de Bogotá y Medellín para las variables de calidad del aire. Se realizaron análisis descriptivos, bivariados y multivariados utilizando modelos lineales generalizados (MLG) con distribución de Poisson y función de enlace logarítmico, complementados con pruebas de correlación de Spearman. **Resultados.** Se analizaron datos de muertes por COVID-19 de siete ciudades colombianas durante 1,151 días. Bogotá y Medellín fueron las más relevantes debido a la disponibilidad completa de datos. En Bogotá, el promedio de muertes diarias fue de 25.04

1. Médico, Maestría en Epidemiología. Fundación Universitaria del Área Andina. Santiago, Chile.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4728-5862>

2. Enfermera, Maestría en Epidemiología. Fundación Universitaria del Área Andina. Bogotá, Colombia.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4428-0097>

3. Enfermera, Maestría en Epidemiología. Universidad del Bosque. Bogotá, Colombia.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1646-4263>

Autor de correspondencia: Eric Comincini Cantillo - [comincinieric56@gmail.com](mailto:comincinieric56@gmail.com)

$\pm 38.675$ , con una mediana de 6 muertes diarias. La temperatura máxima diaria media fue de  $20.488 \pm 2.001$  °C y la humedad relativa promedio fue de  $75.133 \pm 13.416$  %. Las precipitaciones diarias tuvieron una media de  $3.868 \pm 10.776$  mm. En Medellín, el promedio de muertes diarias fue de  $27.9 \pm 43.56$ , con una mediana de 7 muertes diarias. La temperatura máxima diaria media fue de  $27.191 \pm 1.803$  °C y la humedad relativa promedio fue de  $78.379 \pm 7.944$  %. Las precipitaciones diarias tuvieron una media de  $3.240 \pm 7.813$  mm. Se realizaron pruebas de normalidad utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov, indicando que los datos no seguían una distribución normal, por lo que se utilizaron pruebas no paramétricas como la correlación de Spearman y los Modelos Lineales Generalizados (MLG). **Conclusiones.** Este estudio evidencia la influencia de los factores ambientales en la mortalidad diaria por COVID-19. Los hallazgos resaltan la importancia de considerar las condiciones climáticas y la calidad del aire en el manejo y prevención de pandemias. Esta información es crucial para desarrollar políticas públicas que mejoren la salud pública en entornos urbanos diversos y para formular estrategias efectivas de mitigación ante futuras emergencias sanitarias.

**Palabras claves:** COVID-19, mortalidad, factores ambientales, contaminación del aire, climatología.

## **Abstract.**

**Introduction.** The COVID-19 pandemic has significantly impacted global public health. In Colombia, variations in daily COVID-19 mortality rates across different cities have generated interest in investigating the environmental factors that might influence these variations. This study analyzes the relationship between daily COVID-19 mortality and climatological variables (daily maximum temperature, relative humidity, daily precipitation) and air quality variables (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) in Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga, Cartagena, Barranquilla, and Cúcuta, during the period from March 6, 2020, to April 30, 2023. **Materials and Methods.** A retrospective cross-sectional observational design was used. Daily COVID-19 mortality data were obtained from the Instituto Nacional de Salud (INS) of Colombia. Climatological and air quality variables were collected from IDEAM, SISAIRE, IQAir, Meteostat, NOAA, EPA, and WHO. Complete data from the seven cities were included for climatological variables, and data from Bogotá and Medellín were included for air quality variables. Descriptive, bivariate, and multivariate analyses were performed using generalized linear models (GLM) with Poisson distribution and logarithmic

link function, complemented by Spearman correlation tests. **Results:** Data on COVID-19 deaths from seven Colombian cities were analyzed over 1,151 days. Bogotá and Medellín were the most relevant due to the complete availability of data. In Bogotá, the average daily deaths were  $25.04 \pm 38.675$ , with a median of 6 deaths per day. The mean daily maximum temperature was  $20.488 \pm 2.001$  °C, and the average relative humidity was  $75.133 \pm 13.416\%$ . Daily precipitation had a mean of  $3.868 \pm 10.776$  mm. In Medellín, the average daily deaths were  $27.9 \pm 43.56$ , with a median of 7 deaths per day. The mean daily maximum temperature was  $27.191 \pm 1.803$  °C, and the average relative humidity was  $78.379 \pm 7.944\%$ . Daily precipitation had a mean of  $3.240 \pm 7.813$  mm. Normality tests using the Kolmogorov-Smirnov test indicated that the data did not follow a normal distribution. Therefore, non-parametric tests, such as Spearman's correlation and Generalized Linear Models (GLM), were used. **Conclusions:** This study highlights the influence of environmental factors on daily COVID-19 mortality. The findings underscore the importance of considering climatic conditions and air quality in the management and prevention of pandemics. This information is crucial for developing public policies that improve public health in diverse urban settings and for formulating effective mitigation strategies for future health emergencies.

**Keywords:** COVID-19, mortality, environmental factors, air pollution, climatology.

## Introducción

Desde el inicio de la pandemia de COVID-19, la mortalidad asociada a esta enfermedad ha impactado de manera significativa la salud pública mundial. En Colombia, cada ciudad ha experimentado variaciones notables en las tasas de mortalidad diaria por COVID-19. Estas variaciones pueden estar influenciadas por una combinación de factores sociodemográficos, condiciones de salud preexistentes y variables ambientales, entre las cuales las condiciones climáticas y la calidad del aire desempeñan un papel crucial. Comprender

cómo estos factores ambientales afectan la mortalidad por COVID-19 es esencial.

La literatura existente sugiere que factores ambientales como la humedad relativa, las precipitaciones diarias, la temperatura máxima diaria y los niveles de contaminantes del aire (partículas PM2.5 y PM10) pueden influir en la propagación y severidad de las infecciones respiratorias. Estudios previos han demostrado una correlación entre la contaminación del aire y el incremento en la mortalidad por enfermedades respiratorias

y cardiovasculares (1). En particular, se ha observado que las partículas PM2.5 y PM10 pueden exacerbar enfermedades respiratorias preexistentes, incrementando la vulnerabilidad de la población a infecciones severas como el COVID-19 (2, 3).

Investigaciones realizadas durante la pandemia han evidenciado que niveles elevados de contaminación del aire están asociados con un aumento en la tasa de mortalidad por COVID-19 en diversas regiones del mundo (4, 5). En China, por ejemplo, se encontró que las concentraciones de PM2.5 y PM10 estaban significativamente correlacionadas con las tasas de letalidad del COVID-19 (6). De manera similar, estudios en Europa y Estados Unidos han reportado hallazgos consistentes, sugiriendo que la exposición a largo plazo a contaminantes del aire puede agravar los resultados clínicos en pacientes con COVID-19 (7, 8).

Además de la contaminación del aire, las variables climáticas también juegan un papel crucial en la dinámica de transmisión de virus respiratorios. La humedad relativa y la temperatura pueden influir en la estabilidad y transmisión del virus SARS-CoV-2 (9). Estudios han mostrado que en ambientes de baja humedad, los aerosoles que contienen el virus pueden permanecer en el aire por más tiempo, aumentando la probabilidad de transmisión (10). Por otro lado, las altas temperaturas pueden reducir la viabilidad del virus en superficies y

en el aire, aunque los resultados han sido mixtos y dependen de diversos factores contextuales (11, 12).

En Colombia, la variabilidad climática entre las ciudades permite examinar el impacto de factores ambientales en la mortalidad por COVID-19 en distintos contextos. Bogotá, con su elevada altitud, tiene condiciones climáticas diferentes a las de ciudades costeras como Barranquilla y Cartagena. Este contraste permite analizar cómo las diversas condiciones meteorológicas y la calidad del aire influyen en la mortalidad por COVID-19 en diferentes entornos urbanos.

El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre la mortalidad diaria por COVID-19 y las variables de calidad del aire (PM2.5 y PM10) y climáticas (humedad relativa, precipitaciones diarias y temperatura máxima diaria) en las ciudades de Bogotá, Medellín, Cúcuta, Cali, Barranquilla, Cartagena y Bucaramanga.

## ***Materiales y Métodos***

### ***Diseño del Estudio***

Este es un estudio observacional retrospectivo transversal que examina las relaciones entre el número de muertes diarias por COVID-19 y varias variables climatológicas (temperatura de aire seco máxima diaria, humedad relativa, precipitaciones

diarias) y de calidad del aire (PM2.5 y PM10) en siete ciudades de Colombia: Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga, Cartagena, Barranquilla y Cúcuta. Los datos abarcan el período del 6 de marzo de 2020 al 30 de abril de 2023.

### ***Criterios de Inclusión y Exclusión***

El estudio incluyó datos de las siete ciudades mencionadas. Los criterios de inclusión fueron:

- Ciudades colombianas con datos completos de mortalidad diaria por COVID-19 desde marzo de 2020 hasta abril de 2023.
- Disponibilidad de datos climatológicos diarios (temperatura, humedad, precipitaciones) y de calidad del aire (PM2.5 y PM10) en las bases de datos nacionales e internacionales.

Se excluyeron:

- Ciudades con datos incompletos o inconsistentes.

Para el análisis de variables climatológicas y mortalidad diaria por COVID-19, se incluyeron las siete ciudades de interés debido a la disponibilidad de datos completos. Sin embargo, solo Bogotá y Medellín se incluyeron en el análisis de variables de calidad del aire (PM2.5 y PM10) debido a la falta de datos completos en las otras ciudades. Se realizaron análisis separados para evaluar

el impacto de las variables climatológicas en todas las ciudades y el impacto de las variables de calidad del aire exclusivamente en Bogotá y Medellín.

### ***Variables Dependientes***

- Número de muertes diarias por COVID-19 reportadas por el Instituto Nacional de Salud (INS) de Colombia.

### ***Variables Independientes***

- Temperatura diaria máxima (°C).
- Humedad relativa promedio diaria (%).
- Precipitaciones diarias acumuladas (mm).
- Concentraciones diarias de PM2.5 y PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### ***Fuentes de Datos y Medición***

Los datos sobre la mortalidad por COVID-19 se obtuvieron del INS de Colombia. Las variables climatológicas y de calidad del aire se recopilaron de las siguientes fuentes:

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y Sistema de Información sobre la Calidad del Aire (SISAIRE) de Colombia.

- **Bases de Datos Internacionales:**
  - IQAir: Datos sobre la calidad del aire.
  - Meteostat: Datos meteorológicos históricos.
- **Bases de Datos Gubernamentales de Estados Unidos:**
  - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA): Datos climatológicos.
  - United States Environmental Protection Agency (EPA): Datos sobre la calidad del aire.
  - **Organización Mundial de la Salud (WHO):** Datos sobre calidad del aire y variables climatológicas.

### **Sesgo**

Para minimizar el sesgo, se seleccionaron siete ciudades (Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga, Cartagena, Barranquilla y Cúcuta) por su diversidad geográfica y climática. Sin embargo, debido a la falta de datos completos de calidad del aire en algunas ciudades, se centró el análisis en Bogotá y Medellín, donde los datos eran más robustos. En las ciudades con datos incompletos, se utilizaron fuentes internacionales como IQAir y Meteostat para complementar la información siempre que fuera posible.

El análisis se basó en datos completos de Bogotá y Medellín, donde se realizaron análisis descriptivos, bivariados y multivariados para proporcionar una visión precisa y detallada. Las limitaciones de los datos incompletos en las otras ciudades se documentaron claramente, y los análisis parciales se presentaron como tales, destacando la necesidad de una interpretación cautelosa. Se emplearon técnicas de validación cruzada para asegurar la robustez y representatividad de los resultados en las dos ciudades principales.

### **Tamaño de la Muestra**

El estudio incluyó todos los días del período comprendido entre el 6 de marzo de 2020 y el 30 de abril de 2023 para las siete ciudades seleccionadas, sumando un total de 1151 días registrados.

### **Análisis Estadístico**

El análisis estadístico y la visualización de datos se realizaron utilizando el software IBM SPSS Statistics versión 29.0 y Microsoft Excel 365 versión 2023. Inicialmente, se calcularon medidas de tendencia central (media, mediana) y dispersión (varianza, desviación estándar, rango intercuartílico) para cada variable independiente (temperatura diaria, humedad relativa, precipitaciones, PM2.5 y PM10) y la variable dependiente (número de muertes diarias por COVID-19).

Se llevaron a cabo pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) para evaluar la distribución de las variables. El análisis bivariado se utilizó primero para identificar correlaciones potenciales entre las variables independientes y la variable dependiente. Luego, se aplicó un análisis multivariado mediante modelos lineales generalizados (MLG), seleccionando una distribución de Poisson debido a la naturaleza de conteo de las variables dependientes. La función de enlace utilizada fue la logarítmica. Adicionalmente, se utilizó la correlación de Spearman para evaluar la relación entre las variables no paramétricas y confirmar los resultados obtenidos con los MLG.

## Resultados

Se analizaron datos de muertes por Covid-19 de siete ciudades colombianas, con un total de 1,151 días (ver Figura 1). Entre ellas, Bogotá y Medellín fueron las más relevantes debido a la disponibilidad completa de datos.

En Bogotá, el promedio de muertes diarias por COVID-19 fue de  $25.04 \pm 38.675$ , con una mediana de 6 muertes diarias y una varianza de 1495.751. La temperatura máxima diaria tuvo una media de  $20.488 \pm 2.001$  °C y una mediana de 20.4 °C. La humedad relativa promedio fue de  $75.133 \pm 13.416$  % con una mediana de 77 %. Las precipitaciones diarias tuvieron una media de 3.868

$\pm 10.776$  mm y una mediana de 0.0 mm. La concentración de PM2.5 fue de  $14.164 \pm 7.792$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una mediana de 12.92  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y la concentración de PM10 fue de  $24.851 \pm 13.341$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una mediana de 23.08  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cada variable contó con 1,151 observaciones (ver Tabla 1).

En Medellín, el promedio de muertes diarias por COVID-19 fue de  $27.9 \pm 43.56$ , con una mediana de 7 muertes diarias y una varianza de 1897.516. La temperatura máxima diaria tuvo una media de  $27.191 \pm 1.803$  °C y una mediana de 27.2 °C. La humedad relativa promedio fue de  $78.379 \pm 7.944$  % con una mediana de 79.9 %. Las precipitaciones diarias tuvieron una media de  $3.240 \pm 7.813$  mm y una mediana de 0.20 mm. La concentración de PM2.5 fue de  $15.922 \pm 6.918$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una mediana de 14.88  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y la concentración de PM10 fue de  $44.085 \pm 11.116$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una mediana de 44.26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cada variable contó con 1,151 observaciones (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Descripción de variables del estudio

Ciudad	VARIABLES ESTADÍSTICAS	Media	Mediana	DE	Varianza	RIC	N
Bogotá	Muertes	25.04	6	38.675	1495.751	31.00	1,151.00
	T° Max diaria	20.488	20.4	2.001	4.008	2.40	1,151.00
	Humedad relativa	75.133	77	13.416	179.989	15.00	1,151.00
	Precipitaciones diarias	3.868	0.0	10.776	116.135	1.95	1,151.00
	PM 2.5 (mcg/m3)	14.164	12.92	7.792	60.726	10.84	1,151.00
	PM 10(mcg/m3)	24.851	23.08	13.341	178	16.08	1,151.00
Medellín	Muertes	27.9	7	43.56	1897.516	33	1,151.00
	T° Max diaria	27.191	27.2	1.803	3.251	2.5	1,151.00
	Humedad relativa	78.379	79.9	7.944	63.107	9.6	1,151.00
	Precipitaciones diarias	3.240	0.20	7.813	61.046	2.4	1,151.00
	PM 2.5 (mcg/m3)	15.922	14.88	6.918	47.87	6.16	1,151.00
	PM 10(mcg/m3)	44.085	44.26	11.116	123.577	13.43	1,151.00
Cartagena	Muertes	2.03	0	3.531	12.465	3.00	1,151.00
	T° Max diaria	31.778	32.0	1.280	1.64	1.80	1,151.00
	Humedad relativa	81.935	82.0	4.736	22.438	5.70	1,151.00
	Precipitaciones diarias	4.227	1.0	13.890	192.934	5.20	1,151.00
Barranquilla	Muertes	5.23	1	11.671	136.202	4	1,151.00
	T° Max diaria	27.606	27.6	0.941	0.886	1.1	1,151.00
	Humedad relativa	79.82	80.3	8.869	78.668	8.5	1,151.00
	Precipitaciones diarias	0.694	0	3.858	14.89	0	1,151.00
Cúcuta	Muertes	2.83	1	4.424	19.575	4	1,151.00
	T° Max diaria	27.466	27.3	2.137	4.569	3	1,151.00
	Precipitaciones diarias	0	0	0	0	0	1,151.00
Cali	Muertes	7.74	3	10.111	102.238	12	1,151.00
	T° Max diaria	23.436	23.5	1.059	1.121	1.4	1,151.00
	Humedad relativa	77.611	77.1	5.247	27.531	7.25	1,151.00
	Precipitaciones diarias	3.203	0	7.3225	53.619	2.1	1,151.00



Ciudad	Variables estadísticas	Media	Mediana	DE	Varianza	RIC	N
Bucaramanga	Muertes	2.92	1	4.964	24.642	4	1,151.00
	T° Max diaria	22.526	22.4	1.2154	1.477	1.6	1,151.00
	Humedad relativa	83.79	84.7	6.868	47.177	8.6	1,151.00
	Precipitaciones diarias	4.924	1.4	8.821	77.817	6.1	1,151.00

Se realizaron pruebas de normalidad utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov, seleccionada debido al tamaño considerable de la muestra (1,151 días). Los resultados indicaron valores de  $p < 0.05$ , lo que sugiere que los datos no siguen una distribución normal. Debido a la falta de normalidad en la distribución de los datos, se decidió em-

plear pruebas no paramétricas, específicamente correlación de Spearman y los Modelos Lineales Generalizados (MLG).

### Análisis Bivariado

Los resultados de los análisis estadísticos bivariados se resumen en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Resultados del análisis bivariado que muestra las correlaciones de Spearman entre las variables climatológicas, la calidad del aire y las muertes diarias por COVID-19

Ciudad	Variables comparadas	Rho Spearman	P Valor	95% de intervalos de confianza	
				Inferior	Superior
Bogotá	Temperatura diaria °C	0.043	0.149	-0.017	0.102
	Humedad relativa promedio %	0.171	<.001	0.113	0.229
	precipitaciones promedio mensual (mm)	-0.199	<.001	-0.256	-0.141
	PM 2.5 (mcg/m3)	-0.293	<.001	-0.347	-0.238
	PM 10(mcg/m3)	-0.237	<.001	-0.292	-0.18
Medellín	Temperatura diaria °C	-0.102	<.001	-0.161	-0.043
	Humedad relativa promedio %	-0.037	0.212	-0.096	0.023
	precipitaciones promedio mensual (mm)	-0.355	<.001	-0.406	-0.302
	PM 2.5 (mcg/m3)	-0.171	<.001	-0.228	-0.113
	PM 10(mcg/m3)	-0.114	<.001	-0.172	-0.055
Cartagena	Temperatura diaria °C	0.076	0.01	0.017	0.135
	Humedad relativa promedio %	0.249	<.001	0.193	0.304
	precipitaciones promedio mensual (mm)	0.23	<.001	0.173	0.286

Ciudad	Variables comparadas	Rho Spearman	P Valor	95% de intervalos de confianza	
				Inferior	Superior
Bucaramanga	Temperatura diaria °C	0.226	<.001	0.169	0.282
	Humedad relativa promedio %	-0.16	<.001	-0.218	-0.102
	precipitaciones promedio mensual (mm)	-0.035	0.235	-0.094	0.025
Cali	Temperatura diaria °C	0.095	0.001	0.036	0.153
	Humedad relativa promedio %	-0.044	0.132	-0.104	0.015
	precipitaciones promedio mensual (mm)	-0.619	<.001	-0.655	-0.581
Cúcuta	Temperatura diaria °C	0.204	<.001	0.147	0.261
	Humedad relativa promedio %	-0.161	<.001	-0.218	-0.102
Barranquilla	Temperatura diaria °C	0.158	<.001	0.1	0.216
	Humedad relativa promedio %	0.019	0.526	-0.041	0.078
	precipitaciones promedio mensual (mm)	-0.194	<.001	-0.251	-0.136

En Bogotá, la temperatura diaria no mostró correlación significativa con las muertes diarias por COVID-19 (Rho = 0.043,  $p = 0.149$ ), mientras que la humedad relativa (Rho = 0.171,  $p < 0.001$ ) mostró correlación positiva significativa, asimismo las precipitaciones (Rho = -0.199,  $p < 0.001$ ), PM2.5 (Rho = -0.293,  $p < 0.001$ ) y PM10 (Rho = -0.237,  $p < 0.001$ ) mostraron correlaciones negativas significativas.

En Medellín, la temperatura diaria (Rho = -0.102,  $p < 0.001$ ), las precipitaciones (Rho = -0.355,  $p < 0.001$ ), PM2.5 (Rho = -0.171,  $p < 0.001$ ) y PM10 (Rho = -0.114,  $p < 0.001$ ) mostraron correlaciones negativas significativas, mientras que la humedad relativa (Rho = -0.037,  $p = 0.212$ ) no mostraron correlaciones significativas.

En Cartagena, la temperatura diaria (Rho = 0.076,  $p = 0.01$ ), la humedad relativa (Rho = 0.249,  $p < 0.001$ ) y las precipitaciones (Rho = 0.23,  $p < 0.001$ ) tuvieron una correlación positiva significativa.

En Bucaramanga, la temperatura diaria (Rho = 0.226,  $p < 0.001$ ) mostraron correlación significativa, las precipitaciones (Rho = -0.16,  $p < 0.001$ ) mostraron correlaciones negativas significativas, mientras que la humedad relativa (Rho = -0.035,  $p = 0.235$ ) no tuvo una correlación significativa.

En Cali, la temperatura diaria (Rho = 0.095,  $p = 0.001$ ) mostraron correlación significativa y las precipitaciones (Rho = -0.619,  $p < 0.001$ ) mostraron correlaciones negativas significativas, mientras que la

humedad relativa ( $Rho = -0.044$ ,  $p = 0.132$ ) no presentó una correlación significativa.

En Cúcuta, la temperatura diaria mostró una correlación significativa ( $Rho = 0.204$ ,  $p < 0.001$ ), mientras que la humedad relativa ( $Rho = -0.161$ ,  $p < 0.001$ ) mostró una correlación negativa significativa. En Barranquilla, la temperatura diaria ( $Rho = 0.158$ ,  $p < 0.001$ ) presentó correlación posi-

tiva significativa, la humedad relativa ( $Rho = 0.019$ ,  $p = 0.526$ ) no presentó correlaciones significativas, mientras que las precipitaciones ( $Rho = -0.194$ ,  $p < 0.001$ ) tuvieron una correlación negativa significativa.

### Análisis Multivariado

Los resultados de los análisis estadísticos multivariados se resumen en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados del análisis multivariado utilizando Modelos Lineales Generalizados (MLG) entre las variables climatológicas y de calidad del aire con las muertes diarias por COVID-19

Ciudad	Parámetro	B	Error estándar	95% de intervalo de confianza de Wald		Contraste de hipótesis	
				Inferior	Superior	Chi-cuadrado de Wald	Sig.
Bogotá	T° Max diaria	0.015	0.0031	0.009	0.021	23.751	<.001
	Humedad relativa	0.019	0.0006	0.018	0.02	1086.439	<.001
	Precipitaciones diarias	-0.004	0.0005	-0.005	-0.003	67.176	<.001
	PM 2.5 (mcg/m3)	-0.036	0.0019	-0.04	-0.032	359.523	<.001
	PM 10(mcg/m3)	-0.018	0.0011	-0.02	-0.015	239.193	<.001
Medellín	T° Max diaria	-0.073	0.0041	-0.081	-0.065	310.585	<.001
	Humedad relativa	0.023	0.001	0.021	0.025	525.34	<.001
	Precipitaciones diarias	-0.171	0.0027	-0.176	-0.166	3966.871	<.001
	PM 2.5 (mcg/m3)	-0.074	0.0016	-0.077	-0.071	2033.367	<.001
	PM 10(mcg/m3)	0.002	0.0007	0	0.003	6.476	0.011
Cartagena	T° Max diaria	0.205	0.0171	0.172	0.239	144.539	<.001
	Humedad relativa	0.093	0.0053	0.082	0.103	306.173	<.001
	Precipitaciones diarias	-0.01	0.0034	-0.017	-0.003	8.822	0.003
Bucaramanga	T° Max diaria	0.321	0.0198	0.283	0.36	263.255	<.001
	Humedad relativa	0.014	0.0036	0.007	0.021	15.147	<.001
	Precipitaciones diarias	0.012	0.0018	0.009	0.016	46.079	<.001
Cali	T° Max diaria	0	0.0141	-0.027	0.028	0.001	0.972
	Humedad relativa	0	0.0028	-0.006	0.005	0.01	0.92
	Precipitaciones diarias	-0.237	0.0075	-0.252	-0.223	993.659	<.001

Ciudad	Parámetro	B	Error estándar	95% de intervalo de confianza de Wald		Contraste de hipótesis	
				Inferior	Superior	Chi-cuadrado de Wald	Sig.
Cúcuta	T° Max diaria	0.104	0.0161	0.072	0.135	41.424	<.001
	Humedad relativa	-0.001	0.0028	-0.006	0.004	0.139	0.709
	Precipitaciones diarias	0	0	0	0	0	0
Barranquilla	T° Max diaria	0.211	0.014	0.184	0.239	227.508	<.001
	Humedad relativa	-0.006	0.0013	-0.009	-0.003	20.853	<.001
	Precipitaciones diarias	-0.182	0.0172	-0.216	-0.149	112.571	<.001

En Bogotá, la temperatura máxima diaria ( $B = 0.015$ ,  $p < 0.001$ ) y la humedad relativa ( $B = 0.019$ ,  $p < 0.001$ ) mostraron efectos significativos sobre las muertes diarias por COVID-19. Las precipitaciones diarias ( $B = -0.004$ ,  $p < 0.001$ ), PM2.5 ( $B = -0.036$ ,  $p < 0.001$ ) y PM10 ( $B = -0.018$ ,  $p < 0.001$ ) también presentaron efectos negativos significativos.

En Medellín, la temperatura máxima diaria ( $B = -0.073$ ,  $p < 0.001$ ) y la humedad relativa ( $B = 0.023$ ,  $p < 0.001$ ) mostraron efectos significativos, con la temperatura teniendo un efecto negativo. Las precipitaciones diarias ( $B = -0.171$ ,  $p < 0.001$ ) y PM2.5 ( $B = -0.074$ ,  $p < 0.001$ ) tuvieron efectos negativos, mientras que PM10 ( $B = 0.002$ ,  $p = 0.011$ ) mostró un efecto positivo.

En Cartagena, la temperatura máxima diaria ( $B = 0.205$ ,  $p < 0.001$ ) y la humedad relativa ( $B = 0.093$ ,  $p < 0.001$ ) tuvieron efectos positivos significativos. Las precipitaciones

diarias ( $B = -0.01$ ,  $p = 0.003$ ) mostraron un efecto negativo significativo.

En Bucaramanga, la temperatura máxima diaria ( $B = 0.321$ ,  $p < 0.001$ ) mostró un efecto positivo significativo, mientras que la humedad relativa ( $B = 0.014$ ,  $p < 0.001$ ) y las precipitaciones diarias ( $B = 0.012$ ,  $p < 0.001$ ) también presentaron efectos positivos significativos.

En Cali, la temperatura máxima diaria ( $B = 0.0$ ,  $p = 0.972$ ) la humedad relativa ( $B = 0.0$ ,  $p = 0.92$ ) no mostraron efectos significativos, mientras que las precipitaciones diarias ( $B = -0.237$ ,  $p < 0.001$ ) mostraron un efecto negativo significativo.

En Cúcuta, la temperatura máxima diaria ( $B = 0.104$ ,  $p < 0.001$ ) mostró efectos positivos significativos y la humedad relativa ( $B = -0.001$ ,  $p = 0.709$ ) no mostró efectos significativos. En Barranquilla, la temperatura máxima diaria ( $B = 0.211$ ,  $p < 0.001$ )

mostró un efecto positivo significativo, mientras que la humedad relativa ( $B = -0.006$ ,  $p < 0.001$ ) y las precipitaciones diarias ( $B = -0.182$ ,  $p < 0.001$ ) tuvieron efectos negativos significativos.

## Discusión

El análisis de datos de muertes por COVID-19 en siete ciudades colombianas reveló varias correlaciones significativas entre las variables climatológicas y de calidad del aire, y las tasas de mortalidad diaria. Estos hallazgos destacan la influencia multifacética de los factores ambientales en la dinámica de la pandemia.

En Bogotá, se observó que la humedad relativa y las precipitaciones diarias estaban inversamente correlacionadas con las muertes diarias por COVID-19. Esto sugiere que condiciones más húmedas y mayores precipitaciones podrían haber contribuido a reducir la mortalidad. La evidencia sugiere que la alta humedad puede disminuir la viabilidad del SARS-CoV-2 en aerosoles, reduciendo la transmisión del virus en el aire (13). Además, estudios previos han indicado que las precipitaciones pueden influir en la dispersión de partículas contaminantes, lo cual puede mejorar la calidad del aire y reducir la susceptibilidad a infecciones respiratorias (14). La correlación negativa con PM2.5 y PM10 también respalda la idea de que una mejor calidad del aire podría es-

tar asociada con una menor mortalidad por COVID-19, lo que coincide con estudios globales que han demostrado una relación entre la exposición a contaminantes del aire y resultados adversos en salud (15).

En Medellín, los resultados sugieren que temperaturas más altas y precipitaciones pueden tener un efecto protector, disminuyendo las tasas de mortalidad diaria por COVID-19. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones que muestran que las altas temperaturas pueden inactivar el virus en superficies y aerosoles (16). Sin embargo, la relación positiva observada entre la humedad relativa y la mortalidad en esta ciudad requiere una interpretación cuidadosa, ya que estudios en otras regiones también han reportado variaciones similares, indicando que la combinación específica de temperatura y humedad podría ser crucial para entender la transmisión del virus (17).

En Cartagena, las correlaciones positivas entre la temperatura diaria, la humedad relativa y las precipitaciones con las muertes diarias por COVID-19 sugieren que, en climas tropicales, estas condiciones pueden favorecer la propagación del virus. Este patrón ha sido observado en otros estudios realizados en regiones tropicales, donde el calor y la humedad parecen aumentar la transmisión viral, posiblemente debido a la mayor estabilidad del virus en condiciones de alta humedad y la

tendencia de las personas a permanecer en interiores con ventilación limitada (18).

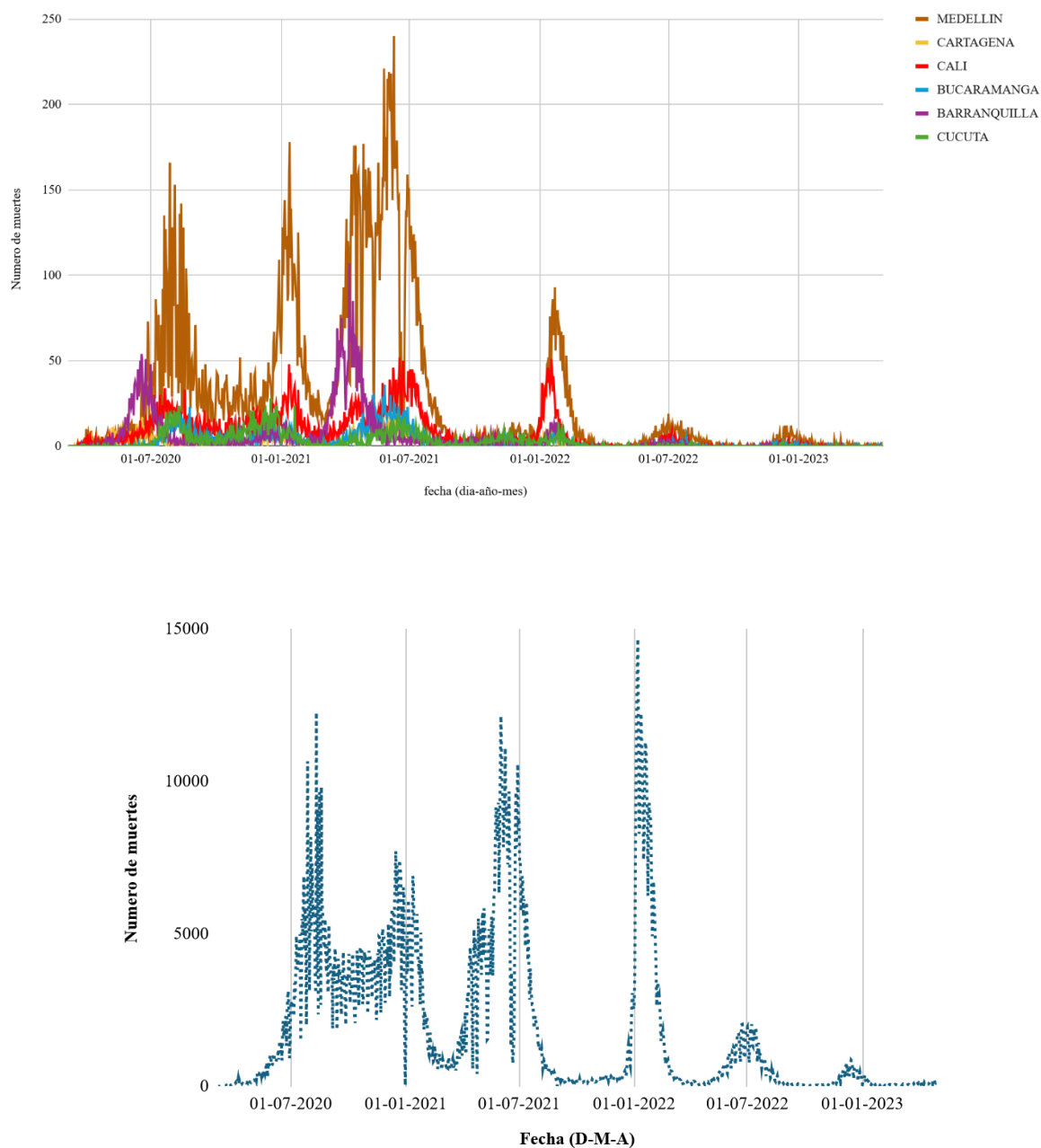
Los resultados de Bucaramanga muestran una correlación positiva con la temperatura y una negativa con las precipitaciones. Esto sugiere que, en esta ciudad, las altas temperaturas pueden haber facilitado la propagación del virus, mientras que las precipitaciones pudieron haber actuado como un factor protector, posiblemente al mejorar la calidad del aire. Este hallazgo es coherente con estudios que indican que las precipitaciones pueden ayudar a limpiar la atmósfera de contaminantes (19).

En Cali, la temperatura diaria mostró una correlación positiva significativa, mientras que las precipitaciones tuvieron una correlación negativa. La ausencia de una correlación significativa con la humedad relativa puede indicar que otros factores climáticos tienen un mayor impacto en esta ciudad. La relación entre altas temperaturas y mayor mortalidad podría estar relacionada con la capacidad del virus para mantenerse viable en condiciones cálidas, aunque la literatura muestra resultados mixtos sobre este aspecto (20).

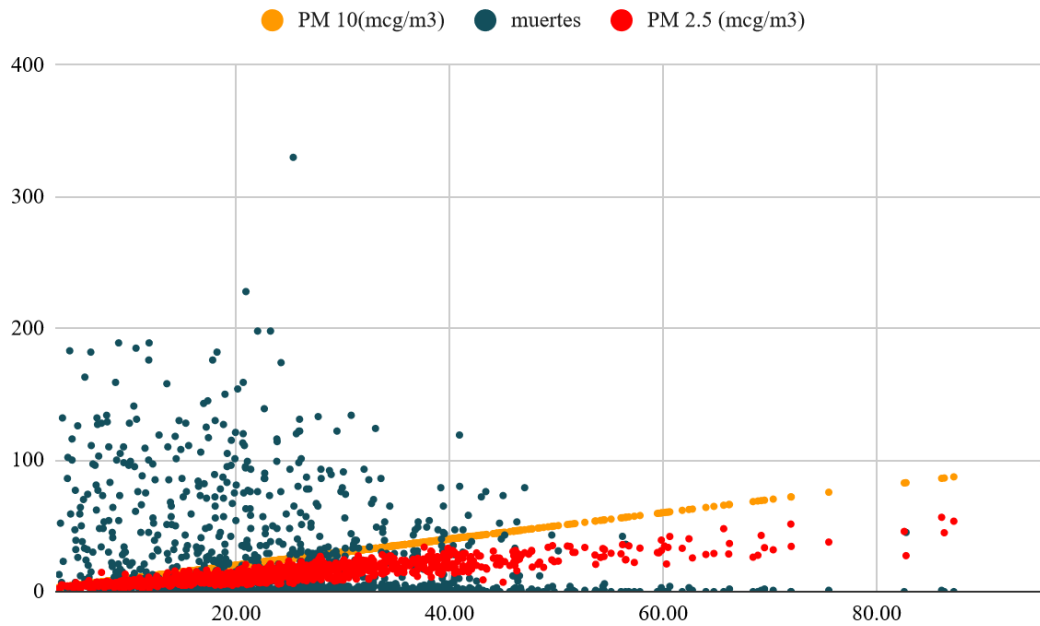
Cúcuta y Barranquilla presentaron correlaciones complejas, con la temperatura mostrando efectos positivos significativos sobre la mortalidad en ambas ciudades, mientras que la humedad relativa y las precipitaciones tuvieron efectos variables. En

Barranquilla, la falta de una correlación significativa con la humedad relativa sugiere que otros factores, como la densidad de población y las prácticas de distanciamiento social, podrían desempeñar un papel más importante en la dinámica de la mortalidad por COVID-19(21).

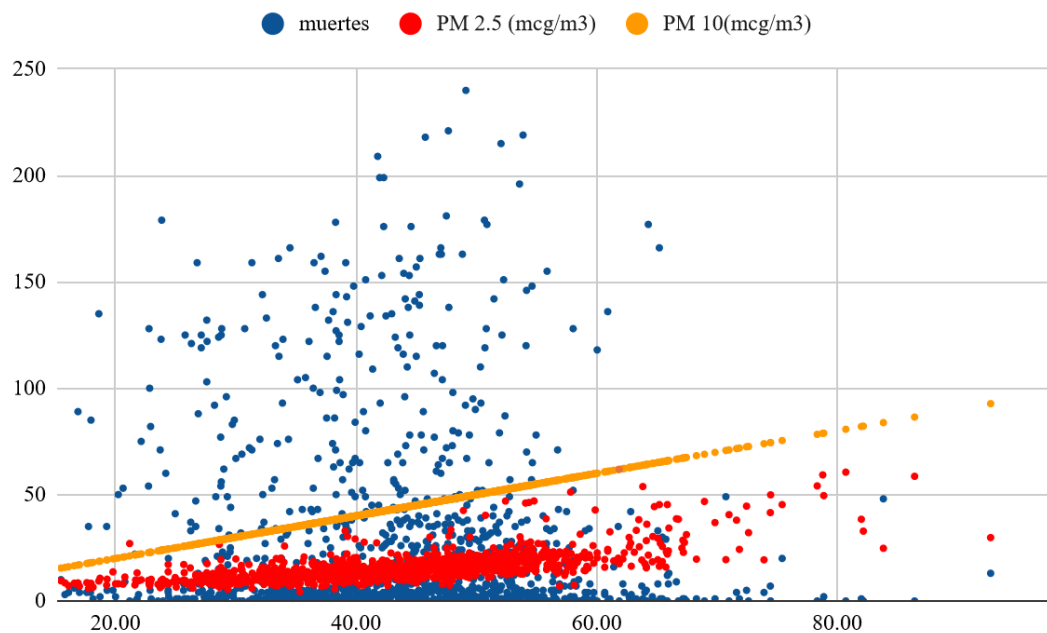
Para ilustrar mejor estos hallazgos, se realizaron gráficos que relacionan las concentraciones de material particulado (PM2.5 y PM10) con las muertes diarias por COVID-19 en Bogotá y Medellín. La Figura 2 muestra esta relación en Bogotá, mientras que la Figura 3 presenta los datos correspondientes para Medellín.



**Figura 1.** Comparación de los casos de muertes diarias por COVID-19 en las siete ciudades colombianas estudiadas. (Arriba): Comparación de los casos de muertes diarias por COVID-19 en seis ciudades colombianas (Medellín, Cartagena, Cali, Bucaramanga, Barranquilla, Cúcuta) desde marzo de 2020 hasta abril de 2023. (Abajo): Número de muertes diarias por COVID-19 en Bogotá durante el mismo periodo.



**Figura 2.** Relación entre las concentraciones de material particulado (PM2.5 y PM10) y las muertes diarias por COVID-19 en Bogotá.



**Figura 3.** Relación entre las concentraciones de material particulado (PM2.5 y PM10) y las muertes diarias por COVID-19 en Medellín. Los análisis multivariados confirmaron la importancia de las variables climatológicas y de calidad del aire en la mortalidad diaria por COVID-19. En general, las temperaturas extremas, tanto altas como bajas, junto con las variaciones en la humedad relativa y las precipitaciones, muestran que las condiciones climáticas pueden influir significativamente en la mortalidad por COVID-19. La influencia negativa de los niveles de PM2.5 y PM10 en las tasas de mortalidad también destaca la necesidad de abordar la contaminación del aire como un factor crítico en la gestión de las pandemias (22).



Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que han demostrado que la contaminación del aire puede exacerbar enfermedades respiratorias, aumentando la mortalidad durante pandemias respiratorias (23). Además, se ha encontrado que la exposición a contaminantes del aire como PM2.5 y PM10 está asociada con una mayor susceptibilidad a infecciones virales debido a la inflamación crónica y el estrés oxidativo que estos contaminantes causan en el sistema respiratorio (24).

La variabilidad en los resultados entre las ciudades colombianas subraya la necesidad de estrategias de salud pública adaptadas a contextos locales específicos. Por ejemplo, en áreas donde la calidad del aire es un problema significativo, las políticas deben enfocarse en reducir las emisiones contaminantes para disminuir la carga de enfermedades respiratorias. En contraste, en regiones donde las condiciones climáticas facilitan la propagación del virus, podrían ser necesarias medidas adicionales de distanciamiento social y control de infecciones durante periodos de alta transmisión (25).

### ***Limitaciones del Estudio***

Este estudio presenta varias limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados. Aunque se analizaron datos de siete ciudades colombianas, la disponibilidad y calidad de los datos variaron entre las ciudades, lo cual podría haber

influido en la precisión de los análisis y en la comparabilidad de los resultados. El uso de datos agregados a nivel de ciudad no permite explorar variaciones intraurbanas, lo que podría ser relevante dado que factores como la densidad poblacional y las condiciones socioeconómicas pueden variar significativamente dentro de una misma ciudad y afectar la mortalidad por COVID-19. Además, aunque se utilizaron modelos estadísticos robustos, las correlaciones observadas no implican causalidad y podrían estar influenciadas por variables confusoras no incluidas en el análisis, como las intervenciones de salud pública y la capacidad hospitalaria. La temporalidad de los datos también es una limitación, ya que los cambios en las políticas gubernamentales y el comportamiento social durante el período de estudio podrían haber afectado los resultados. En el apartado de precipitaciones en Cúcuta, no se pudieron realizar los cálculos en los análisis multivariados, ni bivariado debido a la falta de variaciones en los datos, ya que todos los valores fueron 0. Por lo tanto, se omitieron estos cálculos con esa variable en particular. Finalmente, la generalización de estos hallazgos a otras regiones o países debe hacerse con cautela, ya que las condiciones climatológicas y de calidad del aire pueden variar significativamente. Es esencial que futuros estudios aborden estas limitaciones para proporcionar una comprensión más completa y precisa de los factores que influyen en la mortalidad por COVID-19.

## Conclusiones

En conclusión, este estudio proporciona evidencia robusta de que las condiciones ambientales juegan un papel crucial en la dinámica de la mortalidad por COVID-19. La integración de datos climatológicos y de calidad del aire en las estrategias de gestión de pandemias puede mejorar significativamente la capacidad de respuesta a futuras crisis sanitarias. Los responsables de políticas deben considerar estos factores para desarrollar intervenciones más efectivas y adaptadas a las necesidades locales (26). Este enfoque no solo ayudará a mitigar el impacto de pandemias futuras, sino que también mejorará la salud pública en general al abordar problemas crónicos de contaminación y condiciones climáticas adversas (27).

## Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Nacional de Salud de Colombia y al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales por proporcionar los datos necesarios para este estudio. Su apoyo fue invaluable.

## Conflictos de intereses y financiación

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses relacionados con este estudio. Todos los datos y resultados presentados en esta investigación son originales y no han sido influenciados por intereses financieros, comerciales o personales. Este estudio ha sido llevado a cabo de manera independiente y con total integridad científica.

## Referencias

1. Dominici F, Peng RD, Bell ML, Pham L, McDermott A, Zeger SL, et al. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA*. 2006;295(10):1127-34.
2. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*. 2017;389(10082):1907-18.
3. Wu X, Nethery RC, Sabath BM, Braun D, Dominici F. Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study. *medRxiv*. 2020.
4. Conticini E, Frediani B, Caro D. Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy? *Environ Pollut*. 2020;261:114465.
5. Ogen Y. Assessing nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality. *Sci Total Environ*. 2020;726:138605.
6. Zhu Y, Xie J, Huang F, Cao L. Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *Sci Total Environ*. 2020;727:138704.
7. Travaglio M, Yu Y, Popovic R, Leal NS, Martins LM. Links between air pollution and COVID-19 in England. *Environ Pollut*. 2021;268:115859.
8. Pozzer A, Dominici F, Haines A, Witt C, Münzel T, Lelieveld J. Regional and global contributions of air pollution to risk of death from COVID-19. *Cardiovasc Res*. 2020;116(14):2247-53.
9. Ma Y, Zhao Y, Liu J, He X, Wang B, Fu S, et al. Effects of temperature variation and humidity on the death of COVID-19 in Wuhan, China. *Sci Total Environ*. 2020;724:138226.
10. Moriyama M, Hugentobler WJ, Iwasaki A. Seasonality of respiratory viral infections. *Annu Rev Virol*. 2020;7:83-101.
11. Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, Reese AL, et al. Increasing temperature and relative humidity accelerates inactivation of SARS-CoV-2 on surfaces. *mSphere*. 2020;5(4).

12. Kampf G, Todt D, Pfaender S, Steinmann E. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *J Hosp Infect.* 2020;104(3):246-51.
13. Auler AC, Cássaro FAM, da Silva VO, Pires LF. Evidence that high temperatures and intermediate relative humidity might favor the spread of COVID-19 in tropical climate: A case study for the most affected Brazilian cities. *Science of The Total Environment.* 2020; 729:139090.
14. Sarkodie SA, Owusu PA. Impact of meteorological factors on COVID-19 pandemic: Evidence from top 20 countries with confirmed cases. *Environmental Research.* 2020; 191:110101.
15. Fattorini D, Regoli F. Role of the chronic air pollution levels in the Covid-19 outbreak risk in Italy. *Environmental Pollution.* 2020; 264:114732.
16. Coşkun H, Yıldırım N, Gündüz S. The spread of COVID-19 virus through population density and wind in Turkey cities. *Science of The Total Environment.* 2021; 751:141663.
17. Adhikari A, Yin J. Short-Term Effects of Ambient Ozone, PM2.5, and Meteorological Factors on COVID-19 Confirmed Cases and Deaths in Queens, New York. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020; 17(11):4047.
18. Rosario DK, Mutz YS, Bernardes PC, Conte-Junior CA. Relationship between COVID-19 and weather: Case study in a tropical country. *International Journal of Hygiene and Environmental Health.* 2020; 229:113587.
19. Liu C, Chen R, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Guo Y, Tong S, et al. Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. *New England Journal of Medicine.* 2019; 381:705-15.
20. Carleton T, Cornetet J, Huybers P, Meng KC, Proctor J. Global evidence for ultraviolet radiation decreasing COVID-19 growth rates. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2021; 118(1).
21. Bashir MF, Ma B, Bilal, Komal B, Bashir MA, Tan D, et al. Correlation between climate indicators and COVID-19 pandemic in New York, USA. *Science of The Total Environment.* 2020; 728:138835.
22. Zoran MA, Savastru RS, Savastru DM, Tautan MN. Assessing the relationship between surface levels of PM2.5 and PM10 particulate matter impact on COVID-19 in Milan, Italy. *Science of The Total Environment.* 2020; 738:139825.
23. Cole MA, Ozgen C, Strobl E. Air Pollution Exposure and COVID-19 in Dutch Municipalities. *Environmental and Resource Economics.* 2020; 76: 581-610.
24. Marlier ME, Bonilla ME, Mickley LJ, Leibensperger EM, Travis K, Duffey K, et al. Impact of air quality on COVID-19 cases and deaths. *Environmental Research Letters.* 2020; 15(9):094042.
25. Venter ZS, Aunan K, Chowdhury S, Lelieveld J. COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2020; 117(32):18984-90.
26. Bauwens M, Compennolle S, Stavrakou T, Müller JF, van Gent J, Eskes H, et al. Impact of Coronavirus Outbreak on NO2 Pollution Assessed Using TROPOMI and OMI Observations. *Geophysical Research Letters.* 2020; 47(11).
27. Silva DR, Maccari JG, Pasqualoto AC, Souza LT, Bittencourt M, Oliveira V, et al. Impact of air pollution on asthma in COVID-19 pandemic. *Revista da Associação Médica Brasileira.* 2021; 67(Suppl 1):41-45.

© 2024 – Eric Comincini Cantillo, Karen Viviana Bohorquez Sanchez, Deissy Viviana Rojas Guidaia.



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution (CC BY). Se permite el uso, distribución o reproducción en otros foros, siempre que se acredite al autor original y al propietario del copyright y se cite la publicación original en esta revista, de acuerdo con la práctica académica aceptada. No se permite ningún uso, distribución o reproducción que no cumpla con estos términos.