



Perspectiva del COVID-19 sobre la contaminación del aire

COVID-19 perspective on air pollution

Teresa Lanchipa-Ale¹ , Khiara Moreno-Salazar¹ , Bret Luque-Zúñiga¹ 

¹ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.

Autor de correspondencia: tlanchipaa@unjbg.edu.pe

Resumen: La pandemia COVID-19 genera preocupación en todo el mundo, desde que el 30 de enero se declaró como emergencia de salud mundial (WHO), lo cual trajo consigo el cambio en el estilo de vida de la población, cierre de sistemas de transporte, paralización de actividades económicas, reduciendo las emisiones de contaminantes al ambiente, causando la mejora de la calidad del aire en muchas ciudades a nivel mundial. Hasta el momento, se han publicado varios estudios de revisión enfocados en los impactos ambientales por COVID-19, sin embargo, ninguno se enfoca específicamente en la contaminación del aire. Por lo cual, el objetivo principal fue presentar una revisión basada en un análisis integral de los estudios publicados abordando implicancias teóricas usadas dentro de los estudios. Se analizaron 68 estudios, los cuales se publicaron en 17 revistas hasta agosto del 2020. Además, se abordan posibles futuras investigaciones en relación al tema. Finalmente se exponen las conclusiones de la presente revisión.

Palabras clave: COVID-19, contaminación del aire, contaminación ambiental, revisión de literatura.

Abstract: The COVID-19 pandemic is causing concern around the world, since it was declared a global health emergency (WHO) on January 30, which brought about a change in the population's lifestyle, closure of transportation systems, paralysis of economic activities, reducing emissions of pollutants to the environment, causing the improvement of air quality in many cities worldwide. So far, several review studies focused on the environmental impacts of COVID-19 have been published, however, none specifically focus on air pollution. Therefore, the main objective was to present a review based



on a comprehensive analysis of the published studies addressing theoretical implications used within the studies. 68 studies were analyzed, which were published in 17 journals until August 2020. In addition, possible future research in relation to the subject is addressed. Finally, the conclusions of this review are presented.

Keywords: COVID-19, air pollution, environmental pollution, literature review.

1. INTRODUCCIÓN

En el mes de diciembre del 2019, se reportaron casos de neumonía en Wuhan (China), los cuales se acrecentaron considerablemente, logrando expandirse rápidamente por diversos países del mundo con una alta tasa de mortalidad, y convirtiéndose en una pandemia altamente peligrosa⁽¹⁾. Desde el 31 de diciembre del 2019 la Organización Mundial de la Salud (OMS) denominó a esta enfermedad infecciosa como SARS-CoV-2, conocido popularmente como COVID-19⁽²⁾. Los síntomas de esta enfermedad, dependen de la persona infectada, pudiendo presentarse de forma leve, grave o en algunos casos llegar hasta la muerte, pero principalmente las manifestaciones del COVID-19 son: cansancio, fiebre, dolor muscular, dolor de cabeza, tos continua y dificultad para respirar⁽³⁾, afectando de manera adversa a la población de adultos mayores, con antecedentes de tabaquismo, enfermedades cardiacas, hipertensión o enfermedades pulmonares crónicas⁽⁴⁾. En todos los países, se considera al COVID-19 como una enfermedad de categoría B, pero por sus consecuencias se aplican medidas para enfermedades de categoría A, y por ende se han establecido políticas para mitigar sus efectos ante la emergencia de salud pública, dando respuesta de Nivel I, la cual ordena el distanciamiento social y el cierre de diversos establecimientos, industrias, entidades académicas y gubernamentales, entre otros⁽⁵⁾. En pocos meses, el mundo ha sufrido un cambio drástico. Por consecuencia, esta enfermedad, es considerada el problema más grande que enfrenta en la actualidad el mundo entero, por ser la pandemia más grande y crucial del siglo⁽⁶⁾.

El COVID-19, ha generado muchos desafíos por afrontar porque se extendió de forma rápida, traducándose en un cambio global tanto en términos ambientales, sociales y económicos⁽⁶⁾. En especial, provocó un cambio en los hábitos conductuales, debido al impedimento del desplazamiento poblacional, así como el cierre de fronteras. De esta manera, se disminuyó la movilización de vehículos motorizados, aviones y operación de diversas industrias⁽⁷⁾. A través de este cambio se produce un respiro a la madre naturaleza, que a través de los años ha sufrido perturbaciones de origen

antrópico alterando los diversos ecosistemas mundiales, que resulta en términos de beneficio ambiental, reduciendo la contaminación del aire, suelo y agua.

La contaminación del aire, se considera como un factor de riesgo, por ser un agente que coopera con la infección respiratoria COVID-19^(4,8), debido al traslado de microorganismos que arremeten sobre el sistema inmune de la persona, convirtiéndose más débil al ataque de diversos patógenos⁽⁹⁾, además existen reportes que el COVID-19 puede mantenerse en aerosoles por varias horas⁽⁸⁾. Diversos investigadores, han encontrado la relación entre PM_{2.5}, PM₁₀, CO, NO₂ y O₃ y el incremento de COVID-19, a corto plazo en la atmósfera, con el objetivo de obtener indicios sobre el control de emisiones y sus efectos en la salud de la población. Es así que se encontró, que los efectos del PM_{2.5} y PM₁₀ repercuten sobre la gravedad del COVID-19, ocasionando la muerte de los pacientes, si estos continuaron ante la exposición de la contaminación atmosférica y que los efectos de esta enfermedad se presentarán a largo plazo⁽¹⁰⁾. Por lo cual, se podría especular que se observa una correlación en lugar de una causalidad⁽¹¹⁾.

Por otro lado, el cierre provocado por la pandemia, permitió evaluar de forma adecuada la intervención de las diversas industrias sobre la contaminación atmosférica⁽¹²⁾. Según investigaciones, se reportó que se generaron cambios positivos en la calidad del aire relacionado con las medidas de confinamiento e inmovilización. Pero a la vez, algunos autores indican que esta relación no se encuentra sustentada, porque existen diversos factores a considerar al momento de evaluar estas relaciones, como es el caso de la generación de PM_{2.5} y CO, que no solo se debe a fuentes antropogénicas sino también naturales⁽⁹⁾. Así mismo, no está establecida la cantidad que se reduce debido al cierre de las industrias, sino que también podría originarse a la meteorología y transporte, así como las cantidades de contaminación previamente existentes en las zonas de estudio⁽¹²⁾. En líneas generales, es importante considerar que las medidas provocadas por la cuarentena debido al COVID-19, vienen afectando y disminuyendo la contaminación atmosférica, aunque es claro que esta limpieza de los diversos contaminantes del aire requieren un tiempo para que se produzca, y llegue a niveles aceptables para la población y el medio ambiente.

Por lo tanto, la contaminación del aire no solo tiene efectos sobre la actual pandemia, sino también sobre otras nuevas que podrían llegar a presentarse, siendo importante remediar este tipo de contaminación, mitigar los daños causados a los ecosistemas originados por las diversas industrias y las emisiones vehiculares, a través del uso de nuevas fuentes de energía y la restricción del uso de vehículos⁽⁸⁾, producidas en menor cantidad por las emisiones portuarias y obras de construcción⁽¹²⁾. Pero el reducir o proponer

políticas para resolver este problema ambiental, es difícil y complejo⁽¹²⁾. Debido a esto, es la importancia de indagar y relacionar mediante un análisis crítico y reflexivo sobre los impactos producidos en la contaminación atmosférica durante la pandemia. El presente estudio tiene como objetivo presentar una revisión de las últimas investigaciones que abarcan el impacto del COVID-19 sobre la contaminación del aire a nivel mundial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio es una revisión sistemática, de tipo descriptivo apoyado en bases y aportes teóricos, el cual se desarrolló mediante una búsqueda y análisis de diferentes trabajos publicados⁽¹³⁾ durante el año 2020, dentro del contexto mundial. La unidad de estudio se estructura a partir de publicaciones o documentos realizados por comunidades científicas, utilizando la revisión bibliográfica; mediante la selección y búsqueda automatizada en bases de datos tales como: Medline, Scielo, Web of Science, ISI Web of Knowledge, Science Direct de la plataforma Elsevier, base de datos LILACS (Literatura Latinoamericana y del Caribe en Ciencias de la Salud). Para localizar la producción científica, la estrategia de búsqueda fue: TEMA: (contaminación aire COVID-19/ *air pollution COVID-19*) AND year_cluster: ("2020"). La base de datos estuvo conformada por 297 artículos científicos sobre el tema de estudio, a partir del cual se realizó una matriz con datos de los artículos (título, autores, año de publicación, revista, país, centro de investigación, tipo de publicación). Seguidamente, se procedió a la normalización de los datos, eliminando los duplicados existentes y aquellos que no guardaban relación con las palabras de búsqueda. Con los trabajos seleccionados se procedió a la lectura de cada uno, mediante análisis y síntesis de la información, profundizando en los conocimientos del tema en estudio, considerando las implicancias de la pandemia respecto a la contaminación del aire.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La relación entre COVID-19 y contaminación del aire es un tema emergente, debido a la situación indistinta que afecta a los países, por lo cual el análisis de calidad del aire es substancial. Se trabajó con 68 publicaciones. En la tabla 1 se presenta una relación de los diferentes estudios, indicando el tipo y revista de publicación.

Tabla 1: Tipos de publicación revisados y revistas de publicación.

Autor	Tipo de publicación	Revista de publicación
Abdullah <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Adams (2020).	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Arias y Mejía (2020)	Artículo de investigación	<i>Urban Climate</i>
Arora <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Bao & Zhang (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Bashir <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Environmental Research</i>
Berman & Ebisu (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Bolaño-Ortiz (2020)	Artículo de investigación	<i>Environmental Research</i>
Bontempi (2020)	Artículo de investigación	<i>Environmental Research</i>
Brandt <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Journal of Allergy and Clinical Immunology</i>
Briz-Redón <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Journal of Environmental Sciences</i>
Chakraborty & Maity (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Chauhan & Singh (2020)	Artículo de investigación	<i>Environmental Research</i>
Chen <i>et al.</i> (2020a)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Chen <i>et al.</i> (2020b)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Cole <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Social Science Research</i>
Collivignarelli <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Conticini <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Environmental Pollution</i>

Dantas <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of the Total Environment</i>
Dutheil <i>et al.</i> (2020)	Discusión	<i>Environmental Pollution</i>
Espejo <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Ficetola & Rubolini (2020)	Capítulo de libro	<i>Climate affects global patterns of COVID-19 early outbreak dynamics</i>
He <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Nature Medicine</i>
Hendryx & Luo (2020)	Artículo de investigación	<i>Environmental Pollution</i>
Ju <i>et al.</i> (2021)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Kerimray <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Krecl <i>et al.</i> (2020)	Correspondencia	<i>Environmental Pollution</i>
Kumar (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Li <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>International Journal of Infectious Diseases</i>
Lin <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>
Liu <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Mahato <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Mandal & Pal, S. (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Mehmood <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Nakada & Urban (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Ogen (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>

Ordóñez <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Otmani <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Pacheco <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Urban Climate</i>
Pani <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Pansini & Fornacca (2020)	Artículo de investigación	<i>MedRxiv</i>
Patel <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Pei <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Prata <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Riccò <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Rodríguez-Urrego <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Environmental Pollution</i>
Saadat <i>et al.</i> (2020)	Artículo de revisión	<i>Science of The Total Environment</i>
Setti <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Environmental Research</i>
Shakil <i>et al.</i> (2020)	Artículo de revisión	<i>Science of The Total Environment</i>
Sharma <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Sicard <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Siciliano <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Stratoulis & Nuthammachot (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>

Suhaimi <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Aerosol and Air Quality Research</i>
Tobías <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Tosepu <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Wang <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Resources, Conservation and Recycling</i>
Wang & Su (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Wu <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>MedRxiv</i>
Xu <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Yao <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Zalakeviciute <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Aerosol and Air Quality Research</i>
Zambrano-Monserrate & Ruano (2020)	Artículo de investigación	<i>Air Quality, Atmosphere & Health</i>
Zambrano-Monserrate <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Zhang <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Zhu <i>et al.</i> (2020)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Zoran <i>et al.</i> (2020a)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>
Zoran <i>et al.</i> (2020b)	Artículo de investigación	<i>Science of The Total Environment</i>

Cambios en las ciudades

A lo largo del periodo restrictivo, muchos medios de comunicación informaron que los niveles de contaminación de aire, disminuyeron en las principales ciudades del mundo provocados por los diferentes bloqueos de

carreteras, disminución de transporte, limitaciones en vuelos, paralización de actividades industriales, cierre de negocios no esenciales, lo que trajo consigo una reducción en las concentraciones de contaminantes atmosféricos tales como NO₂, PM_{2.5} y PM₁₀, sin embargo existe un aumento en las emisiones de material particulado de las actividades desarrolladas en el hogar, debido al confinamiento estricto que incrementa el uso del sistema de calefacción, quema de biomasa, etc.⁽¹⁴⁾.

En China, Francia, Alemania, España e Italia, se verificó la reducción de las concentraciones de PM_{2.5} y NO₂⁽¹⁵⁾. Es así que en la ciudad de Salé (Marruecos), la reducción de NO₂ fue del 96%, a la vez estudiaron el impacto del COVID-19 en las concentraciones de PM₁₀ y SO₂, encontrando que los valores disminuyeron en 75% y 49% respectivamente⁽¹⁶⁾. De igual manera, en la India, evaluaron las concentraciones de contaminantes atmosféricos (PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO₂), debido a que la contaminación del aire es una preocupación en naciones en desarrollo como ésta, donde sus ciudades se encuentran dentro de las más contaminadas del mundo, entre sus resultados se encontró una disminución de 43%, 31%, 10% y 18% respectivamente en la mayoría de las regiones⁽¹⁷⁾, en el caso de las concentraciones de O₃ se incrementó en un 17%, y en el SO₂ no hubo cambios significativos. Mientras que en Delhi, capital de la India,⁽¹⁸⁾ reportaron reducciones de 60% para PM₁₀, 39% para PM_{2.5}, 53% para NO₂ y 30% para CO en comparación al año 2019. Y en la zona de la cuenca del río Dwarka en Jharkhand y Bengala Occidental, las concentraciones de PM₁₀ antes del confinamiento se encontraban entre 189 y 278 µg m⁻³, disminuyendo entre 50 y 60 µg m⁻³ luego de 18 días de cuarentena domiciliaria⁽¹⁹⁾.

En Italia, en la Región de Emilia Romagna, los valores de PM₁₀ disminuyeron en 41%⁽¹¹⁾; en las zonas de Shanghai, Hangzhou, Nanjing y Hefei (China) las concentraciones de PM_{2.5} se reducen entre 25.4% y 48.1% durante el período de respuesta de Nivel I⁽²⁰⁾. En Milán, se presenta una reducción significativa de la concentración de contaminantes (PM₁₀, PM_{2.5}, carbono negro, benceno, CO y NO_x), principalmente debido al tráfico vehicular y en la ciudad de Milán el SO₂ permaneció sin cambios en las áreas adyacentes, pero se presentó un aumento significativo del O₃⁽²¹⁾. Mientras en Barcelona (España), la contaminación del aire urbano disminuyó, con diferencias significativas en las reducciones de las concentraciones de NO₂ y carbono negro, se redujeron a la mitad durante el bloqueo en 45% y 51% respectivamente, algo semejante ocurre con el PM₁₀ que disminuyó en un nivel más bajo entre 28% y 31% y las concentraciones de O₃ aumentaron de 33% a 57%⁽¹²⁾. En el Sur de Europa, específicamente en Niza, Roma, Valencia y Turín el O₃ cercano a la superficie aumentó en 24%, 14%, 27% y 2.4% respectivamente, mientras que en Wuhan (China) se incrementó en 36%, dicha variación se debe a la disminución de la concentración de NO_x, lo cual

conduce a una menor titulación de O₃ por NO⁽¹⁴⁾. A la vez, en la misma zona de Wuhan, los niveles de NO₂ disminuyeron en un 50%⁽²²⁾, así mismo en China central se redujo en un 30%⁽¹⁾, 51.7% en Zhejiang, 44.7% en Jiangsu, 42.8% en Anhui y 29.5% en Shanghai⁽²⁰⁾, en todos los casos la disminución surgió como consecuencia de la limitación en el uso de vehículos y la inactividad de empresas productivas provocadas por la cuarentena.

Bao & Zhang⁽²³⁾ revelan en su análisis que las restricciones de viaje redujeron en forma significativa la contaminación por emisiones en el aire en China, para lo cual recopilaban datos diarios de 24 horas del índice de calidad del aire (AQI), PM₁₀, SO₂, NO₂, PM_{2.5} y datos de CO para 44 ciudades; donde el AQI disminuyó en un 7.8%, y los contaminantes del aire como SO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂ y CO disminuyeron en un 6.76%, 5.93%, 13.66%, 24.67%, y 4.58%, respectivamente. Asimismo, Wang et al.⁽²⁴⁾ investigaron la relación de movilidad humana entre restricciones de viaje y contaminación del aire, hallando que la reducción de 69.85% en la movilidad humana, estaba fuertemente asociada con la disminución de la contaminación del aire. Igualmente, en el Norte de China, decrecieron todos los contaminantes (NO₂, PM_{2.5}, CO y SO₂) a excepción del ozono atribuido a una menor captación de HO₂ debido a una menor carga de partículas finas.

En Asia Central, Kerimray et al.⁽²⁵⁾, realizaron estudios en la zona de Almaty (Kazajistán) encontrando reducciones de 21% para PM_{2.5}, 49% para CO y 35% para NO₂, comparando con emisiones de los años 2018 y 2019, mientras que los niveles de ozono se incrementaron en 15%. De la misma manera, en la Región Delta del río Yangtzé (China) evidenciaron reducciones entre 16% y 26% para SO₂, 29% y 47% para NO_x, 27% y 46% para PM_{2.5} y entre 37% y 57% para compuestos orgánicos volátiles (VOCs)⁽²⁰⁾. Asimismo, en Asia Oriental, específicamente en Korea, los niveles de los contaminantes como PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, y CO, también se redujeron durante la etapa de confinamiento⁽²⁶⁾.

En América del Norte, en Ontario (Canadá) se evidenció reducciones moderadas de la concentración de O₃, y una fuerte reducción de NO₂ y NO_x⁽⁴²⁾ y en Estados Unidos, los niveles de NO₂ disminuyeron en 25.5% con una disminución absoluta de 4.8 ppb⁽²⁷⁾. Por otro lado, en América del Sur, especialmente en Brasil, la reducción se presentó en los niveles de CO y NO₂ con un aumento del O₃. Encontrando que en Río de Janeiro, las partículas y el ozono son los contaminantes de mayor preocupación⁽²⁸⁾; por el contrario en Sao Paulo, se reportó mejoras significativas en la calidad del aire⁽²⁹⁾. En la ciudad de Quito (Ecuador) los niveles de NO₂ y PM_{2.5} decrecieron, y las concentraciones de ozono se incrementaron considerablemente⁽³⁰⁾. Asimismo, Pacheco et al.⁽³¹⁾, observaron una reducción de NO₂, disminuyendo en 23.4% en Guayaquil y 22.4% en Quito, pero en el trabajo de Zalakeviciute

et al.⁽³²⁾ se evidencia reducciones de 68% para NO₂. A la vez, se realizaron estudios en las emisiones de SO₂, CO y PM_{2.5}, reportando reducciones de 48%, 38% y 29% respectivamente⁽³²⁾.

De forma general, se realizó un análisis global del comportamiento de las PM_{2.5} en 50 capitales de las ciudades más contaminadas del mundo, encontrando un 12% de disminución de PM_{2.5} en estas ciudades⁽³³⁾. Otro análisis se realizó para las ciudades de Nueva York, Los Ángeles, Zaragoza, Roma, Dubai, Delhi, Mumbai, Pekín y Shangai, las cuales indicaron una disminución en la concentración de PM_{2.5} debido al bloqueo⁽³⁴⁾.

Saadat et al.⁽³⁵⁾ explican que las emisiones de carbono y contaminantes atmosféricos recobrarán sus niveles iniciales. Información importante a considerar por los investigadores especializados en la contaminación atmosférica, porque muchos países han reactivado sus actividades, e incluso las han incrementado para recuperar la productividad que se encontraba paralizada, lo que se traduce en mayor producción industrial generando mayores cantidades de residuos producidos, así como diversos contaminantes que afectan al aire, por ende urge realizar un análisis postpandemia y verificar los impactos de los contaminantes.

Efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud

Existen varios estudios que resaltan la correlación entre el aumento de concentración de ciertos contaminantes con la mortalidad por COVID-19, donde los infectados son propensos a enfermedades respiratorias crónicas^(9, 36, 37). Específicamente en relación a las altas concentraciones de NO₂^(10, 31, 38), como lo demostró Arias & Lara⁽³⁹⁾, mediante una evaluación en Lima (Perú) donde las zonas industriales con más de 26 g/m³ de NO₂ pueden aumentar las infecciones por COVID-19. Asimismo, Wu et al.⁽⁴⁰⁾ encontraron en Estados Unidos que al incrementar 1 ug/m³ de PM_{2.5} aumenta la tasa de mortalidad por COVID-19 en un 8%, al mismo tiempo⁽⁴¹⁾ corroboran el incremento de 13% a 21.4% en mortalidad.

Al respirar el NO₂, gas dañino para la salud, afecta el sistema respiratorio a nivel tisular al encontrarse en altas concentraciones en el aire⁽²²⁾. A corto plazo, la exposición a este gas puede causar síntomas respiratorios como tos o dificultad para respirar, agravando las enfermedades respiratorias y por ende la salud del paciente que está infectado por SARS-CoV-19. Este NO₂ proviene principalmente de la combustión de petróleo, carbón, gas natural, otros combustibles y el escape de vehículos urbanos^(22,42). Aproximadamente, se emite 53 millones de toneladas de óxidos de nitrógeno por año⁽²²⁾.

Así como se ha demostrado que existieron reducciones del NO₂ y otras emisiones de contaminantes durante el período de bloqueo de actividades,

también se presentó en Milán, aumentos sustanciales del O₃ a nivel del suelo, aumentando así la oxidación atmosférica y la formación de aerosoles secundarios, con el consiguiente impacto negativo en la salud respiratoria, aumento de casos y número de muertes. Por lo cual, el O₃ es considerado una incubadora para el COVID-19. Además, este estudio encontró que los valores de las concentraciones promedio diarias de ozono a nivel del suelo se correlacionaron positivamente con todos los casos de COVID-19⁽⁴³⁾.

Varias investigaciones epidemiológicas y experimentales sugirieron una fuerte correlación entre la exposición a O₃, NO₂ u otros productos relacionados con el tráfico de combustión y una mayor susceptibilidad y morbilidad por infección respiratoria⁽⁴⁴⁾.

Bontempi⁽⁴⁵⁾ en su investigación no encontró analogía evidente entre incidencia de casos de COVID-19 y contaminación del aire, sin embargo Zhang et al.⁽⁸⁾, Zhu et al.⁽⁹⁾ hallaron que si existía relación entre estos dos factores. Así las variables AQI (Índice de calidad de aire), PM₁₀, PM_{2.5}, CO, O₃, NO₂, y la temperatura tienen una asociación positiva con la incidencia de casos de COVID-19^(9, 20, 46), pero también encontró una asociación negativa entre el dióxido de azufre (SO₂) y la transmisión del COVID-19⁽⁹⁾. No obstante, un estudio en Italia evidenció ARN viral del SARS-CoV-2 presente en material particulado⁽⁴⁷⁾, por lo cual son necesarias más investigaciones sobre este tema.

En relación al SARS, hace unos años atrás se evaluó la exposición a contaminantes, como las partículas PM₁₀, las cuales podían influir en el pronóstico del SARS y conducir a un mayor riesgo de muerte, al comprometer el sistema respiratorio⁽⁴⁸⁾. El efecto producido por la exposición a las PM₁₀ fue ampliamente estudiado, demostrando que cada 10 ug/m³ de elevación en PM₁₀ representan un 6% de aumento al riesgo de mortalidad cardiopulmonar⁽⁴⁹⁾. Asimismo, la exposición a largo plazo a PM_{2.5} desarrolla un estímulo inflamatorio crónico, especialmente en niños y poblaciones poco saludables⁽³⁶⁾, mientras que una exposición a corto plazo de PM_{2.5} aumenta la susceptibilidad a infecciones⁽⁵⁰⁾, mediante un debilitamiento del sistema inmune.

Yao et al.⁽¹⁰⁾ evaluaron las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ en forma diaria, con la mortalidad por COVID-19, resultando que a mayores concentraciones de estos contaminantes, existe mayor tasa de mortalidad, lo que concuerda con lo publicado por Mehmood et al.⁽⁵¹⁾ donde aparentemente la exposición de las poblaciones a PM_{2.5} contribuyen a corto y largo plazo a una mayor incidencia de letalidad. En cambio, la exposición a corto plazo a una concentración elevada de SO₂, se relaciona con una clara disminución de infección a COVID-19⁽⁹⁾. Por otra parte, Pansini & Fornaca⁽³⁷⁾ concluyen que

no hay evidencia suficiente para considerar a los contaminantes (PM y NO₂) como vectores para COVID-19.

Son muchas las investigaciones relacionadas a la incidencia de casos y mortalidad con contaminación del aire, donde claramente se muestra que las ciudades más contaminadas con gases atmosféricos son las más vulnerables a un aumento progresivo de casos y tasa de mortalidad por COVID-19, provocando deficiencias a nivel respiratorio, por lo cual es fundamental realizar investigaciones más precisas sobre efectos de estos contaminantes, considerando otras variables epidemiológicas en función del tiempo, ubicación geográfica y características de los individuos.

Impacto de la meteorología

Los factores meteorológicos, especialmente la velocidad del viento y las precipitaciones, tienen un impacto importante en la atmósfera⁽⁵²⁾, así como la humedad, visibilidad y temperatura del aire tienen impacto sobre la transmisión de los virus⁽⁵⁰⁾ y sobre las concentraciones de los gases contaminantes. Algunos estudios encontraron una asociación significativa entre factores meteorológicos y COVID-19. De esta manera, se tiene estudios donde evalúan el impacto de la meteorología sobre los casos de COVID-19, donde Bashir et al.⁽⁵³⁾ afirmaron que las condiciones meteorológicas aumentaron significativamente la propagación de las infecciones por COVID-19 en la ciudad de Nueva York, Prata et al.⁽⁵⁴⁾, Suhaimi et al.⁽⁵⁵⁾ concluyeron que no existe relación entre temperatura y casos confirmados de COVID-19. Otros estudios demuestran lo contrario, indicando que la temperatura del aire contribuye a la transmisión del virus⁽⁵⁰⁾ y junto a la humedad cumplen un rol importante en la tasa de mortalidad de COVID-19⁽⁴⁾. Por otra parte, en Singapur, Pani et al.⁽⁵⁶⁾ revelaron que variables como temperatura, punto de rocío, vapor de agua, humedad absoluta y relativa, mostraron una asociación significativa positiva con la transmisión del SARS-CoV-2, mientras la velocidad del viento y el coeficiente de ventilación mostraron asociaciones negativas. Del mismo modo, encontraron en la India una asociación positiva de la temperatura con los casos diarios por coronavirus, mientras que la humedad relativa y absoluta mostraron una asociación mixta⁽⁵⁷⁾. En diferentes provincias chinas, Lin et al.⁽⁵⁸⁾ consideran que las altas temperaturas, el incremento de presión de aire y una ventilación eficiente reducen la transmisibilidad del COVID-19. Ficetola & Rubolini⁽⁵⁹⁾ demostraron que la propagación de SARS-CoV-2, alcanza una mayor tasa de crecimiento en regiones templadas del hemisferio norte con una temperatura media de 5 °C y una humedad específica de 4-6 g/m³, disminuyendo en regiones cálidas y frías.

Adicionalmente, a raíz de las investigaciones presentadas, surge la necesidad de evaluar los contaminantes atmosféricos considerando los factores meteorológicos⁽⁶⁰⁾. En particular, Tosepu et al.⁽⁶¹⁾ analizaron que el nivel medio diario de las concentraciones de O₃ fue positivo correlacionado con la temperatura promedio diaria, corroborado por Dantas et al.⁽²⁸⁾, quienes consideran que las altas temperaturas y los índices de radiación solar favorecen la formación de ozono. Tosepu et al.⁽⁶¹⁾ consideraron una correlación negativa con la humedad relativa promedio diaria. De acuerdo a lo presentado, la producción de ozono es baja en presencia de alta humedad y baja temperatura^(9,46). Zoran et al.⁽⁴³⁾ explican que varios estudios confirman que los niveles bajos de humedad podrían ser un factor de riesgo importante para las enfermedades de infección respiratoria, pudiendo causar un gran aumento en las tasas de mortalidad. Una posible explicación podría estar disponible para COVID-19, ya que respirar aire seco podría inducir daño epitelial del tracto respiratorio o reducción del aclaramiento mucociliar y una mayor susceptibilidad a la infección por virus respiratorios.

De igual modo, Ordóñez et al.⁽⁶²⁾ explican claramente que el O₃ disminuyó en la Península Ibérica, incrementándose en el resto de Europa, atribuido esto a la meteorología y ubicación geográfica. El aumento de ozono se asoció con las altas temperaturas en las Islas Británicas, Francia, Alemania y Benelux, baja humedad específica en Europa Oriental e incremento de la radiación solar en el norte de Italia y Austria. A comparación de Iberia donde la reducción de ozono se asoció a una baja radiación solar, alta humedad específica y reducción del viento.

Incluso Berman & Ebisu⁽²⁷⁾ señalan que el clima puede afectar las concentraciones de contaminantes a corto plazo, incluida la formación secundaria de PM_{2.5} o mayores emisiones de quema de combustible debido al clima frío, coincidiendo con lo planteado por Sharma et al.⁽¹⁷⁾. Sin embargo, no se puede concluir que las variaciones estén asociadas completamente con las medidas adoptadas durante la cuarentena.

Cabe destacar que hasta el momento es todavía insuficiente las investigaciones para examinar si existe una relación de causa-efecto con la asociación del COVID-19 con parámetros meteorológicos^(20, 63). A partir de lo presentado, el impacto de las condiciones meteorológicas no puede descuidarse y debe analizarse en el futuro⁽²⁸⁾, siendo fundamental comprender el papel de la meteorología y química para diseñar estrategias necesarias para el control de emisiones por gases atmosféricos⁽²⁴⁾. Los gobiernos deben contemplar indicadores climáticos para la lucha contra la pandemia⁽¹³⁾ y establecer monitoreos permanentes de la calidad del aire⁽⁶⁴⁾ y que tanto la población, como los encargados en plantear políticas de salud comprendan la asociación del clima con los casos por COVID-19.

Es primordial que se cumplan las medidas de protección que se tiene desde hace unos meses, porque en muchos países se han dejado de lado las medidas totales de confinamiento, siendo recomendable el uso de mascarillas, protectores faciales, sobretudo en regiones que tienen altos índices de contaminación por gases atmosféricos, alta densidad poblacional, al ser los factores meteorológicos claves para la transmisión y mortalidad por COVID-19.

La tabla 2, muestra los centros de investigación y adscripción del investigador principal donde han estudiado las implicancias del COVID-19 con la contaminación del aire. La procedencia institucional de los autores muestra que existe un predominio de trabajos en centros de investigación de China, India, Italia y Estados Unidos, mientras que en América Latina destaca las investigaciones realizadas en Brasil, siendo este país emergente en investigación.

Tabla 2: Centros de investigación donde se estudia el impacto del COVID-19 en el medio ambiente (2020)

País	Centro de investigación	Adscripción	Investigador principal
Canadá	Department of Geography and Environmental Programs	University of Toronto Mississauga	Adams, Matthew D.
	Business School	Central South University	Bashir, Muhammad Farhan
Estados Unidos	Division of Environmental Health Sciences	University of Minnesota	Berman, Jesse D.
	Asthma Research Division	University of Cincinnati	Brandt, Eric B.
	Department of Environmental and Occupational Health	Indiana University	Hendryx, Michael
	NSF Spatiotemporal Innovation Center	George Mason Univ.	Liu, Qian
		Harvard University	Wu, Xiao

Argentina	Regional Faculty of Mendoza	National Technological University	Bolaño-Ortiz, Tomás R.
		Federal University of Rio de Janeiro	Dantas, Guilherme
	Graduate Program in Environmental Engineering	Federal University of Technology	Krecl, Patricia
Brasil	University of Campinas - Faculty of Civil Engineering	Cidade Universitária	Nakada, Liane Yuri Kondo
	Regional Development Institute	Federal University of Tocantins	Prata, David N.
	Institute of Chemistry	Federal University of Rio de Janeiro	Siciliano, Bruno
	Faculty of Agricultural Engineering	Technical University of Manabi	of Pacheco, Henry
	Biodiversity Environment and Health Group	University of the Americas	Zalakeviciute, Rasa
Ecuador		Holy Spirit University	Zambrano-Monserrate, Manuel A.
		Holy Spirit University	Zambrano-Monserrate, Manuel A.
Perú		National University of San Agustín	Arias Velasquez, Ricardo Manuel
Morocco	Science Faculty	Ibn Tofail University	Otmani, Anas
China	Faculty of Public Administration	Zhongnan University of Economics and Law	of and Bao, Rui

Shanghai Key Laboratory for Air Particle Pollution and Prevention	Fudan University	Chen, Hui
Atmospheric Environment Research Center	Chinese Academy of Sciences	Chen, Yang
Guangzhou Eighth People's Hospital	Guangzhou Medical University	He, Xi
Department of Respiratory Medicine and Intensive Care	General Hospital of the North Theater Command	Li, He
Department of Epidemiology and Health Statistics	Fujian Medical University	Lin, Shaowei
Research Center for Air Pollution and Health and the Key Laboratory for Environmental Remediation and Ecosystem Health of the Ministry of Education	Zhejiang University	Mehmood, Khalid
Department of Economy and Finance	Yunnan University of Economics and Finance	Pansini, Ricardo
School of Information Engineering and Remote Perception	Wuhan University	Pei, Zhipeng
Department of Environmental Sciences and Engineering	Fudan University	Wang, Pengfei
School of Economics and Management	China Petroleum University	Wang, Qiang
School of Environmental Sciences and Engineering	Shanghai Jiao Tong University	Xu, Hao
School of Public Health	Fudan University	Yao, Ye

	School of Public Administration	Nanjing Audit University	Zhang, Zhenbo
	School of Management	China University of Science and Technology	Zhu, Yongjian
	Chemistry Department	Kharagpur College	Chakraborty, Indranil
	Department of Environmental Sciences	Sharda University	Chauhan, Akshansa
	Department of Earth and Planetary Sciences	Veer Bahadur Singh Purvanchal University	Kumar, Sarvan
India	Geography Department	Gour Banga University	Mahato, Susanta
	Geography Department	Gour Banga University	Mandal, Indrajit
		Gujarat Forensic Sciences University	Saadat, Saeida
	Civil Engineering Department	Indian Institute of Technology Delhi	Sharma, Shubham
Indonesia	Department of Environmental Health	Halu Oleo University	Tosepu, Ramadhan
Kazajistán	Center of Physical Chemical Methods of Research and Analysis	Al-Farabi Kazakh National University	Kerimray, Aiyngul
Korea	Department of Health Sciences and Technology	Gachon University	Ju Min Jae
	Research Group on Air Quality and Environment	Universiti Malaysia Terengganu	Abdullah, Samsuri
Malasia	Taylor's Business School	Taylor's University	Shakil, Mohammad Hassan

	Department of Environmental and Occupational Health	Universiti Putra Malaysia	Putra	Suhaimi, Nur Faseeha
Singapur	Department of Atmospheric Sciences	Central National University		Pani, Shantanu Kumar
Tailandia	Department of Science and Technology Development Management	Ton Duc Thang University		Stratoulas, Dimitris
Alemania	Remote Sensing and Cartography Department	Martin-Luther Halle-Wittenberg University		Ogen, Yaron
	Analytical Chemistry Department	Faculty of Chemistry, University of Valencia	of	Briz-Redón, Álvaro
España	Dept. of Earth Physics and Astrophysics	Complutense University of Madrid	of	Ordóñez, Carlos
	University of La Laguna	University of La Laguna	of	Rodríguez-Urrego, Daniella
		IDAEA-CSIC		Tobías, Aurelio
Francia		ARGANS		Sicard, Pierre
	INSTM and Chemistry for Technologies	University of Brescia	of	Bontempi, Elza
	Department of Civil Engineering and Architecture	University of Pavia	of	Collivignarelli, Maria Cristina
Italia	Rheumatology Unit	University of Siena	of	Conticini, Edoardo
	Clermont-Ferrand University Hospital	Université Clermont Auvergne		Dutheil, Frédéric
	Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali	Università degli Studi di Milano	degli	Ficetola, Gentile Francesco

	AUSL - IRCCS di Reggio Emilia	Servizio di Prevenzione e Sicurezza negli ambienti di Lavoro (SPSAL)	Riccò, Matteo
	Industrial Chemistry Department	University of Bologna	Setti, Leonardo
	IT department	National R&D Institute for Optoelectronics	Zoran, María A.
	IT department	National R&D Institute for Optoelectronics	Zoran, María A.
Reino Unido	Chemistry Department	University of Energy and Petroleum Studies	Arorra, Shefali
	Department of Economics	University of Birmingham	Cole, Matthew
Nueva Zelanda	School of Environment	Auckland University	Patel, Hamesh

*Se menciona el primer centro de investigación del investigador principal.

**Mención del primer autor de los estudios revisados.

Investigaciones futuras

Las futuras investigaciones deben analizar la relación entre los cambios en la contaminación del aire y los efectos sobre la salud, comparar los cambios producidos en la calidad del aire con el desplazamiento de las personas y transporte de mercancías, cambios geográficos^(42, 65). De la misma manera, incluir estudios sobre condiciones climáticas, meteorológicas^(7, 28, 53), asociadas a cambios estacionales⁽¹⁸⁾, densidad del tráfico, actividades industriales y quema de biomasa⁽⁷⁾. Por otro lado, la mayoría de las investigaciones se centran en áreas metropolitanas, por tanto, es de importancia evaluar la contaminación del aire en ciudades pequeñas, realizando comparaciones en relación al tamaño de áreas urbanas⁽⁶⁶⁾; a la vez, explicar la baja reducción de PM₁₀ en comparación con NO₂ y el carbono negro⁽¹²⁾, así como monitoreo y especiación de los hidrocarburos no metánicos (HCNM) debido a que los niveles de ozono se relacionan con el

aumento entre los HCNM /NO_x⁽⁶⁷⁾. De igual manera, se requiere futuras investigaciones para entender mejor las fuentes de emisión y química atmosférica⁽⁶⁸⁾, por lo tanto estudios en laboratorio son imprescindibles, donde se exploren los mecanismos subyacentes de la exposición a concentraciones de contaminantes como PM_{2.5}, PM₁₀, CO, NO₂ y O₃, los cuales se asocian a un mayor riesgo de infección por el COVID-19^(9, 51). Finalmente, se debe incluir una evaluación del impacto de la contaminación del aire en relación a aspectos epidemiológicos y mortalidad por COVID-19 en base a densidad poblacional, segregación racial y nivel socioeconómico^(69, 70).

4. CONCLUSIONES

La propagación de la pandemia COVID-19 es un problema global manteniéndose presente en el tiempo, con consecuencias como paralización de actividades y tráfico vehicular, como resultado alivió la contaminación del aire, por tal motivo dicha disminución puede haber reducido el número de enfermedades no transmisibles enfermedades y muertes acorde a las investigaciones revisadas. Estos impactos sobre el aire fueron temporales debido a que paulatinamente se restablecen las actividades industriales y el transporte, regresando a las condiciones iniciales previas a la pandemia.

Es importante analizar el rol que cumple la meteorología, debido a que está relacionado con la propagación con respecto a la transmisión y mortalidad del COVID-19, en los cuales variables como: temperatura, humedad relativa y absoluta, aumentan la transmisión de la enfermedad. Sin embargo, algunos estudios no respaldan lo propuesto por otros investigadores donde afirman lo contrario. Por consiguiente, es necesario ampliar las investigaciones, debido a que los resultados no son suficientes, y solo se dedican a estudiar los indicadores climáticos y sus consecuencias en las transmisiones de COVID-19. Siendo importante enfatizar con la evaluación conjunta de las múltiples variables climáticas y su relación con la calidad de aire, y a la vez realizar evaluaciones estacionales considerando un mayor tiempo de investigación, para obtener resultados más certeros.

Las medidas adoptadas sobre las reducciones en las emisiones de los gases del efecto invernadero tendrán resultados a nivel global. Por lo tanto, los gobiernos, organismos nacionales e internacionales deben proponer políticas para mitigar los efectos de la contaminación atmosférica provocada por el parque automotor, porque en sus planes no se han considerado factores como la organización y la fortaleza de los sistemas de atención temprana para remediar los efectos de los agentes contaminantes, y por el contrario deberían brindar estrategias para obtener información fehaciente que sea

considerada como una línea base para resolver problemas futuros de este tipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Dutheil F, Baker JS, Navel V. COVID-19 as a factor influencing air pollution? *Environ Pollut.* 2020;263. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114466
2. Arora S, Bhaukhandi KD, Mishra PK. Coronavirus lockdown helped the environment to bounce back. *Sci Total Environ.* 2020;742. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140573
3. Hendryx M, Luo J. COVID-19 prevalence and fatality rates in association with air pollution emission concentrations and emission sources. *Environ Pollut.* 2020;265. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115126
4. Zoran MA, Savastru RS, Savastru DM, Tautan MN. Assessing the relationship between ground levels of ozone (O₃) and nitrogen dioxide (NO₂) with coronavirus (COVID-19) in Milan, Italy. *Sci Total Environ.* 2020;740. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140005
5. Chen Y, Zhang S, Peng C, Shi G, Tian M, Huang R-J, et al. Impact of the COVID-19 pandemic and control measures on air quality and aerosol light absorption in Southwestern China. *Sci Total Environ.* 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141419
6. Chakraborty I, Maity P. COVID-19 outbreak: Migration, effects on society, global environment and prevention. *Sci Total Environ.* 2020;728. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138882
7. Abdullah S, Mansor AA, Napi NNLM, Mansor WNW, Ahmed AN, Ismail M, et al. Air quality status during 2020 Malaysia Movement Control Order (MCO) due to 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) pandemic. *Sci Total Environ.* 2020;729. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139022
8. Zhang Z, Xue T, Jin X. Effects of meteorological conditions and air pollution on COVID-19 transmission: Evidence from 219 Chinese cities. *Sci Total Environ.* 2020;741. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140244
9. 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. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138704

10. Yao Y, Pan J, Wang W, Liu Z, Kan H, Qiu Y, et al. Association of particulate matter pollution and case fatality rate of COVID-19 in 49 Chinese cities. *Sci Total Environ.* 2020;741. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140396
11. Riccò M, Ranzieri S, Balzarini F, Bragazzi NL, Corradi M. SARS-CoV-2 infection and air pollutants: Correlation or causation? *Sci Total Environ.* 2020;734. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139489
12. Tobías A, Carnerero C, Reche C, Massagué J, Via M, Minguillón MC, et al. Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. *Sci Total Environ.* 2020;726. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138540
13. Shakil MH, Munim ZH, Tasnia M, Sarowar S. COVID-19 and the environment: A critical review and research agenda. *Sci Total Environ.* 2020;745. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141022
14. Sicard P, De Marco A, Agathokleous E, Feng Z, Xu X, Paoletti E, et al. Amplified ozone pollution in cities during the COVID-19 lockdown. *Sci Total Environ.* 2020;735. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139542
15. Zambrano-Monserrate MA, Ruano MA, Sanchez-Alcalde L. Indirect effects of COVID-19 on the environment. *Sci Total Environ.* 2020;728. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138813
16. Otmani A, Benchrif A, Tahri M, Bounakhla M, Chakir EM, El Bouch M, et al. Impact of Covid-19 lockdown on PM10, SO2 and NO2 concentrations in Salé City (Morocco). *Sci Total Environ.* 2020;735. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139541
17. Sharma S, Zhang M, Anshika, Gao J, Zhang H, Kota SH. Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India. *Sci Total Environ.* 2020;728. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138878
18. Mahato S, Pal S, Ghosh KG. Effect of lockdown amid COVID-19 pandemic on air quality of the megacity Delhi, India. *Sci Total Environ.* 2020;730. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139086
19. Mandal I, Pal S. COVID-19 pandemic persuaded lockdown effects on environment over stone quarrying and crushing areas. *Sci Total Environ.* 2020;732. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139281
20. Li H, Xu X-L, Dai D-W, Huang Z-Y, Ma Z, Guan Y-J. Air pollution and temperature are associated with increased COVID-19 incidence: A time series study. *Int J Infect Dis.* 2020;97:278-82. doi: 10.1016/j.ijid.2020.05.076

21. Collivignarelli MC, Abbà A, Bertanza G, Pedrazzani R, Ricciardi P, Carnevale Miino M. Lockdown for CoViD-2019 in Milan: What are the effects on air quality? *Sci Total Environ.* 2020;732. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139280
22. Wang Q, Su M. A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on environment – A case study of China. *Sci Total Environ.* 2020;728. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138915
23. Bao R, Zhang A. Does lockdown reduce air pollution? Evidence from 44 cities in northern China. *Sci Total Environ.* 2020;731. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139052
24. Wang P, Chen K, Zhu S, Wang P, Zhang H. Severe air pollution events not avoided by reduced anthropogenic activities during COVID-19 outbreak. *Resour Conserv Recycl.* 2020;158. doi: 10.1016/j.resconrec.2020.104814
25. Kerimray A, Baimatova N, Ibragimova OP, Bukenov B, Kenessov B, Plotitsyn P, et al. Assessing air quality changes in large cities during COVID-19 lockdowns: The impacts of traffic-free urban conditions in Almaty, Kazakhstan. *Sci Total Environ.* 2020;730. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139179
26. Ju MJ, Oh J, Choi Y-H. Changes in air pollution levels after COVID-19 outbreak in Korea. *Sci Total Environ.* 2021;750. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141521
27. Berman JD, Ebisu K. Changes in U.S. air pollution during the COVID-19 pandemic. *Sci Total Environ.* 2020;739. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139864
28. Dantas G, Siciliano B, França BB, Silva CM da, Arbilla G. The impact of COVID-19 partial lockdown on the air quality of the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Sci Total Environ.* 2020;729. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139085
29. Nakada LYK, Urban RC. COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil. *Sci Total Environ.* 2020;730. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139087
30. Zambrano-Monserrate MA, Ruano MA. Has air quality improved in Ecuador during the COVID-19 pandemic? A parametric analysis. *Air Qual Atmosphere Health.* 2020;13(8):929-38. doi: 10.1007/s11869-020-00866-y

31. Pacheco H, Díaz-López S, Jarre E, Pacheco H, Méndez W, Zamora-Ledezma E. NO₂ levels after the COVID-19 lockdown in Ecuador: A trade-off between environment and human health. *Urban Clim.* 2020;34. doi: 10.1016/j.uclim.2020.100674
32. Zalakeviciute R, Vasquez R, Bayas D, Buenano A, Mejia D, Zegarra R, et al. Drastic Improvements in Air Quality in Ecuador during the COVID-19 Outbreak. *Aerosol Air Qual Res.* 2020;20(8):1783-92. doi: 10.4209/aaqr.2020.05.0254
33. Rodríguez-Urrego D, Rodríguez-Urrego L. Air quality during the COVID-19: PM_{2.5} analysis in the 50 most polluted capital cities in the world. *Environ Pollut.* 2020;266. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115042
34. Chauhan A, Singh RP. Decline in PM_{2.5} concentrations over major cities around the world associated with COVID-19. *Environ Res.* 2020;187. doi: 10.1016/j.envres.2020.109634
35. Saadat S, Rawtani D, Hussain CM. Environmental perspective of COVID-19. *Sci Total Environ.* 2020;728. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138870
36. 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 Barking Essex* 1987. 2020;261. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114465
37. Pansini R, Fornacca D. COVID-19 higher morbidity and mortality in Chinese regions with lower air quality. *medRxiv.* 2020. doi: 10.1101/2020.05.28.20115832
38. Ogen Y. Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality. *Sci Total Environ.* 2020;726. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138605
39. Arias RM, Mejía JV. Gaussian approach for probability and correlation between the number of COVID-19 cases and the air pollution in Lima. *Urban Clim.* 2020;33. doi: 10.1016/j.uclim.2020.100664
40. Wu X, Nethery R, Sabath B, Braun D, Dominici F. Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study. 2020; Disponible en: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.05.20054502v2>
41. Cole M, Ozgen C, Strobl E. Air Pollution Exposure and COVID-19. Rochester, NY: Social Science Research Network; 2020. Report No.: ID 3628242. Disponible en: <https://papers.ssrn.com/abstract=3628242>

42. Adams MD. Air pollution in Ontario, Canada during the COVID-19 State of Emergency. *Sci Total Environ.* 2020;742. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140516
43. 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. *Sci Total Environ.* 2020;738. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139825
44. He X, Lau EHY, Wu P, Deng X, Wang J, Hao X, et al. Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nat Med.* 2020;26(5):672-5. doi: 10.1038/s41591-020-0869-5
45. Bontempi E. Commercial exchanges instead of air pollution as possible origin of COVID-19 initial diffusion phase in Italy: More efforts are necessary to address interdisciplinary research. *Environ Res.* 2020;188. doi: 10.1016/j.envres.2020.109775
46. Xu H, Yan C, Fu Q, Xiao K, Yu Y, Han D, et al. Possible environmental effects on the spread of COVID-19 in China. *Sci Total Environ.* 2020;731. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139211
47. Setti L, Passarini F, De Gennaro G, Barbieri P, Perrone MG, Borelli M, et al. SARS-Cov-2RNA found on particulate matter of Bergamo in Northern Italy: First evidence. *Environ Res.* 2020;188. doi: 10.1016/j.envres.2020.109754
48. Cui Y, Zhang Z-F, Froines J, Zhao J, Wang H, Yu S-Z, et al. Air pollution and case fatality of SARS in the People's Republic of China: an ecologic study. *Environ Health.* 2003;2(1):15. doi: 10.1186/1476-069X-2-15
49. Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA.* 2002;287(9):1132-41. doi: 10.1001/jama.287.9.1132
50. Chen H, Huo J, Fu Q, Duan Y, Xiao H, Chen J. Impact of quarantine measures on chemical compositions of PM2.5 during the COVID-19 epidemic in Shanghai, China. *Sci Total Environ.* 2020;743. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140758
51. Mehmood K, Saifullah, Iqbal M, Abrar MM. Can exposure to PM2.5 particles increase the incidence of coronavirus disease 2019 (COVID-19)? *Sci Total Environ.* 2020;741. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140441

52. Pei Z, Han G, Ma X, Su H, Gong W. Response of major air pollutants to COVID-19 lockdowns in China. *Sci Total Environ.* 2020;743. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140879
53. Bashir MF, Ma BJ, Bilal, Komal B, Bashir MA, Farooq TH, et al. Correlation between environmental pollution indicators and COVID-19 pandemic: A brief study in Californian context. *Environ Res.* 2020;187. doi: 10.1016/j.envres.2020.109652
54. Prata DN, Rodrigues W, Bermejo PH. Temperature significantly changes COVID-19 transmission in (sub)tropical cities of Brazil. *Sci Total Environ.* 2020;729. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138862
55. Suhaimi NF, Jalaludin J, Latif MT. Demystifying a Possible Relationship between COVID-19, Air Quality and Meteorological Factors: Evidence from Kuala Lumpur, Malaysia. *Aerosol Air Qual Res.* 2020;20(7):1520-9. doi: 10.4209/aaqr.2020.05.0218
56. Pani SK, Lin N-H, RavindraBabu S. Association of COVID-19 pandemic with meteorological parameters over Singapore. *Sci Total Environ.* 2020;740. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140112
57. Kumar S. Effect of meteorological parameters on spread of COVID-19 in India and air quality during lockdown. *Sci Total Environ.* 2020;745. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141021
58. Lin S, Wei D, Sun Y, Chen K, Yang L, Liu B, et al. Region-specific air pollutants and meteorological parameters influence COVID-19: A study from mainland China. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2020;204. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111035
59. Ficetola G, Rubolini D. Climate affects global patterns of COVID-19 early outbreak dynamics. 2020. doi: 10.1101/2020.03.23.20040501
60. Briz-Redón Á, Belenguer-Sapiña C, Serrano-Aroca Á. Changes in air pollution during COVID-19 lockdown in Spain: a multi-city study. *J Environ Sci.* 2020. doi: 10.1016/j.jes.2020.07.029
61. Tosepu R, Gunawan J, Effendy DS, Ahmad LOAI, Lestari H, Bahar H, et al. Correlation between weather and Covid-19 pandemic in Jakarta, Indonesia. *Sci Total Environ.* 2020;725. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138436
62. Ordóñez C, Garrido-Perez JM, García-Herrera R. Early spring near-surface ozone in Europe during the COVID-19 shutdown: Meteorological

- effects outweigh emission changes. *Sci Total Environ.* 2020;747. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141322
63. Espejo W, Celis JE, Chiang G, Bahamonde P. Environment and COVID-19: Pollutants, impacts, dissemination, management and recommendations for facing future epidemic threats. *Sci Total Environ.* 2020;747. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141314
 64. Krecl P, Targino AC, Oukawa GY, Cassino Junior RP. Drop in urban air pollution from COVID-19 pandemic: Policy implications for the megacity of São Paulo. *Environ Pollut.* 2020;265. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114883
 65. Liu Q, Harris JT, Chiu LS, Sun D, Houser PR, Yu M, et al. Spatiotemporal impacts of COVID-19 on air pollution in California, USA. *Sci Total Environ.* 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141592
 66. Stratoulis D, Nuthammachot N. Air quality development during the COVID-19 pandemic over a medium-sized urban area in Thailand. *Sci Total Environ.* 2020;746. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141320
 67. Siciliano B, Dantas G, da Silva CM, Arbilla G. Increased ozone levels during the COVID-19 lockdown: Analysis for the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Sci Total Environ.* 2020;737. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139765
 68. Patel H, Talbot N, Salmond J, Dirks K, Xie S, Davy P. Implications for air quality management of changes in air quality during lockdown in Auckland (New Zealand) in response to the 2020 SARS-CoV-2 epidemic. *Sci Total Environ.* 2020;746. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141129
 69. Bolaño-Ortiz TR, Camargo-Cacedo Y, Puliafito SE, Ruggeri MF, Bolaño-Díaz S, Pascual-Flores R, et al. Spread of SARS-CoV-2 through Latin America and the Caribbean region: a look from its economic conditions, climate and air pollution indicators. *Environ Res.* 2020. doi: 10.1016/j.envres.2020.109938
 70. Brandt EB, Beck AF, Mersha TB. Air pollution, racial disparities, and COVID-19 mortality. *J Allergy Clin Immunol.* 2020;146(1):61-3. doi: 10.1016/j.jaci.2020.04.035