

CAPÍTULO 9

Material particulado, ¿un vehículo transmisor para el SARS-CoV-2?

Cómo citar:

Marrugo-Negrete J., Paternina-Uribe R., Rosso-Pinto M., Negrete I., Mendoza M., et al. Material particulado, ¿un vehículo transmisor para el SARS-CoV-2?. En: Máttar S., Gastelbondo-Pastrana B., editores. Lecciones aprendidas del COVID-19: Una mirada interdisciplinaria. Sincelejo (Colombia): Editorial CECAR, 2023. p. 194-205. DOI: <https://doi.org/10.21892/9786287515376.9>

Material particulado, ¿un vehículo transmisor para el SARS-CoV-2?

José Marrugo-Negrete; Roberth Paternina-Uribe; Mauricio Rosso-Pinto; Ivonne Negrete; María Mendoza; Clelia Calao-Ramos; Luz López; Nazly Cepeda-Ortega, María Arriola-Salgado; Salim Mattar

La contaminación atmosférica se define como la presencia de sustancias en el aire provenientes de procesos naturales (por ejemplo, la erupción de volcanes) o antropogénicos (quema de combustibles fósiles), en concentraciones que puedan generar un riesgo para la salud y el bienestar de las personas, los animales y el medio ambiente (1). La estrecha relación existente entre la contaminación atmosférica y las afectaciones a la salud humana ha sido documentada en varios estudios científicos (2,3).

Contaminación del aire y salud ambiental

Actualmente, la mala calidad del aire es uno de los mayores problemas de salud ambiental en el mundo; esta, como su nombre lo indica, contribuye a preservar tanto la salud humana como la del medio ambiente, y afecta tanto a países desarrollados como en vías de desarrollo (4). El continuo crecimiento urbano e industrial, ha provocado una constante exposición humana a los contaminantes en el aire, principalmente en ciudades capitales o metrópolis, donde el tránsito de vehículos, el consumo y la producción de energía y todos los procesos asociados a la industria (operación de plantas, chimeneas, gestión de residuos, entre otros) son más intensos (5). La presencia en niveles nocivos de sustancias químicas en la atmósfera constituye un riesgo ambiental, especialmente en niños pequeños y ancianos, aumentando la tasa de morbilidad y mortalidad en poblaciones que padecen patologías respiratorias y/o cardiovasculares. Está demostrado que los residentes de zonas urbanas contaminadas presentan 1,7 veces más enfermedades respiratorias comparado con aquellos que viven en zonas rurales, lo que nos indica que a mayor expansión y desarrollo urbano, mayor impacto a la salud de la población (4).

Ahora bien, la adecuada planeación urbana y el diseño basado en el paisaje son alternativas eficaces para lograr cambios en las estadísticas frente a los elevados índices de contaminación atmosférica en ciudades. Sin embargo, su aplicación aún corresponde a casos aislados que no representan la realidad de todos los países del mundo (6).

Material particulado (PM)

Entre los diferentes contaminantes atmosféricos, uno de los más perjudiciales para las personas y el ambiente es el material particulado (PM, por sus siglas en inglés), el cual es una mezcla de sustancias suspendidas en el aire que pueden ser sólidas, líquidas, orgánicas e inorgánicas. Algunas partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín o el humo, son lo suficientemente grandes u oscuras como para verse a simple vista.

El material particulado, se clasifica de acuerdo a su tamaño en: Partículas Suspendidas Totales (PST), que incluyen tanto a la fracción inhalable como a las mayores de 10 micras (μm), que no se sedimentan en periodos cortos, sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad; material particulado menor a 10 μm (PM10), denominadas partículas inhalables porque ingresan a las fosas nasales, faringe y/o laringe causando irritación, y al mismo tiempo, se asocian a procesos de combustión no controlados o a la desintegración mecánica de la materia y la resuspensión de partículas en el ambiente; y, partículas menores o iguales a 2,5 μm (PM_{2,5}), conocidas como partículas aerodinámicas finas, las cuales tienen la capacidad de penetrar en el sistema respiratorio depositándose en los alvéolos pulmonares, e incluso pueden llegar al torrente sanguíneo. Además, estas partículas de menor tamaño están compuestas por elementos que son más tóxicos, como metales pesados y compuestos orgánicos (7).

Desde finales del siglo XX, algunas investigaciones han encontrado que las altas concentraciones de material particulado en la atmosfera están relacionadas con afectaciones a la salud humana, como enfermedades cardiorrespiratorias, infecciones agudas del tracto respiratorio bajo, elevación de la proteína C reactiva y alteraciones del sistema de coagulación, y, a nivel

ambiental, con el deterioro de materiales (4,8). Un estudio realizado en Medellín, Colombia entre los años 2008 y 2009, presentó un modelo estadístico entre la contaminación por material particulado ($PM_{2,5}$ y PM_{10}) y las consultas externas por enfermedades respiratorias como bronquitis, asma, rinitis e infecciones; los resultados indicaron una correlación positiva entre estos factores, concluyendo que los contaminantes atmosféricos representan un problema de salud pública para la ciudad (9). El material particulado se puede encontrar tanto en ambientes interiores (humo de tabaco, impresoras láser, estufas, materiales de construcción, entre otros) como exteriores (combustibles fósiles provenientes en su mayoría de los vehículos y la industria), normalmente las fuentes móviles o fijas de material particulado en exteriores, generan mayores concentraciones del contaminante. No obstante, cuando se presentan altos valores en ambientes interiores, las consecuencias a la salud pueden ser más graves, toda vez que la exposición se intensifica debido a la baja circulación de aire y ventilación (10).

Enfermedad por coronavirus 2019: COVID-19

Desde diciembre de 2019, el mundo se está enfrentando a una patología que afecta significativamente la salud respiratoria, especialmente a personas con comorbilidades asociadas y problemas cardiovasculares, se trata de la enfermedad por coronavirus 2019 denominada COVID-19, la cual se manifiesta como una infección del tracto respiratorio. Esta enfermedad es generada por el virus SARS-CoV-2 (Síndrome Respiratorio Agudo Severo proveniente del coronavirus tipo 2) perteneciente a la familia *Coronaviridae*, que hasta la fecha ha generado millones de contagios y muertes a nivel mundial, razón por la cual la Organización Mundial de la Salud (OMS) la declaró como pandemia (11). El primer caso se presentó en Wuhan, China a finales del 2019, sin embargo, su fuente aún es desconocida, estudios lo relacionan con animales salvajes como los murciélagos, y reservorios como el pangolín, las serpientes y los visones (11). Su principal fuente de contagio es a través del contacto directo con personas infectadas y por medio de gotitas respiratorias (también catalogadas como material particulado líquido); está comprobado que los agentes biológicos como los virus pueden afectar e infectar las vías

respiratorias altas y bajas a través de reacciones inmunológicas, y del mismo modo, contaminar el aire intramural dispersándose por la ventilación y mediante la dilución acuosa de moléculas mayores, generando bioaerosoles (11,12). Al evidenciar que el material particulado incide y agrava las enfermedades respiratorias al igual que el SARS-CoV-2, y que este se propaga por gotas provenientes de las secreciones de personas contagiadas, surge el interrogante de si el nuevo coronavirus puede encontrarse resuspendido en el aire por periodos largos de tiempo, siendo posible su transmisión por este medio al utilizar el material particulado como un vehículo para propagarse.

Transmisión aérea del virus SARS-CoV-2 y su relación con el material particulado

Con el paso de los años las investigaciones asociadas a la transmisión aérea del virus han aumentado, especialmente en hospitales, donde el riesgo de contagio es mayor (13), aunque algunos descartan esta vía como impulso de la pandemia debido a la obtención de muestras de aire negativas (14), existen otros que han podido encontrar muestras de COVID-19 positivas en las salidas de aires acondicionados, lo que corrobora que pequeñas gotas pueden trasladarse por el ambiente y alojarse en diferentes equipos (15). Otros hallazgos revelan que el virus puede estar presente en los aerosoles generados por personas infectadas (Figura 1), lo que los convertiría en una fuente de transmisión aérea de la enfermedad (16), se estima que hablar un (1) minuto en voz alta produce 1.000 núcleos de gotitas que contienen virones, los cuales permanecen en el aire por aproximadamente ocho (8) minutos de acuerdo a la carga viral promedio, esto indica que las gotas resuspendidas y de tamaños inferiores a 10 micras, pueden ser inhaladas, y, de acuerdo a la hipótesis de acción independiente (IAH, por siglas en inglés) generar un nuevo contagio (17).

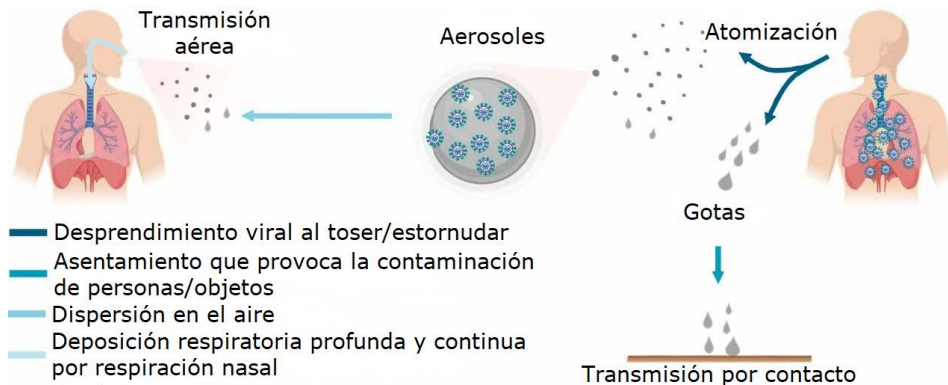


Figura 1. Transmisión Aérea del COVID-19. Modificado de Zhang et al., 2020 (16).

Un estudio observó que en entornos cerrados, el SARS se propaga un 29% por contacto cercano entre individuos (gotas) y un 21% por aerosoles (larga distancia), en este último, el SARS-CoV-2 tiene una vida media entre 1,1 a 1,2 horas (18). El comportamiento aerodinámico del virus ha hecho posible encontrarlo en partículas con tamaños entre 0,25 y 2,5 μm , este hallazgo describe a los aerosoles como vía de transmisión a través de su resuspensión de la superficie del piso y en la ropa protectora del personal médico (19), otro muestreo ambiental realizado en habitaciones de hospitales de pacientes infectados, obtuvo dos de tres muestras de aire positivas para SARS-CoV-2 en partículas con tamaños $>4 \mu\text{m}$ y entre 1-4 μm de diámetro, las concentraciones del virus oscilaron entre $1,84 \times 10^3$ y $3,38 \times 10^3$ copias de ARN por m^3 de aire muestreado (20).

Si consideramos que el nuevo coronavirus se puede propagar por el aire, es importante pensar si los contaminantes atmosféricos (especialmente las partículas) están relacionados con la cantidad de casos y muertes causados por el COVID-19 hasta la fecha, ya que se ha comprobado que la contaminación del aire tanto a largo como a corto plazo, puede agravar las infecciones virales y enfermedades respiratorias como asma y EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica) (21,22). Numerosos estudios alrededor del mundo (Italia, China, EE.UU., entre otros) han examinado si las concentraciones de material particulado (PM_{2,5} y PM₁₀) influyen en la

propagación y letalidad del virus del SARS-CoV-2, muchos concluyen una correlación positiva y significativa entre estas variables (23,24) we found more viral infections in those prefectures (U.S. county equivalent, como es el caso de las regiones más contaminadas de Italia (Piamonte, Lombardía, Véneto y Emilia-Romaña) donde también se registraron los mayores números de casos, muertes, pacientes hospitalizados e ingresos a Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) debido al brote de COVID-19 (25). No obstante, cabe señalar que una correlación positiva entre datos epidemiológicos no implica causalidad directa (26).

Otra investigación llevada a cabo en 49 ciudades de China, además de obtener resultados positivos con respecto a la tasa de mortalidad (CFR, por siglas en inglés) de la enfermedad, encontraron una relación positiva con la exposición de PM a largo plazo, lo que puede aumentar la vulnerabilidad de los habitantes al virus (27). En Estados Unidos hallaron que un aumento de solo $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el promedio de $\text{PM}_{2,5}$ a largo plazo, se asocia con un aumento estadísticamente significativo del 8% en la tasa de muerte por COVID-19 (28), la exposición crónica a ciertos contaminantes del aire, puede conducir a formas más graves y letales de esta enfermedad, y a su vez, complica la recuperación de los pacientes que la padecen (29), adicionalmente, una atmósfera abundante en contaminantes atmosféricos junto con condiciones climáticas específicas, puede contribuir a que las partículas virales permanezcan mayor tiempo en el aire, tanto en exteriores como en interiores (18). Es decir, la disminución de $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10} puede reducir los casos y letalidad de COVID-19, así como disminuir las morbilidades asociadas a este último (30).

Pocos estudios se han enfocado en determinar la presencia del virus en material particulado y si existe la posibilidad de encontrarlo activo en las partículas suspendidas en el aire, artículos publicados han demostrado que el SARS-CoV-2 estuvo presente en algunas muestras de aire recolectadas en diferentes salas de hospitales (31), especialmente en las habitaciones de pacientes infectados, la mayoría de muestreadores utilizados (ciclónico de pared húmeda, ciclónico de bioaerosol) junto con filtros de politetrafluoroetileno (PTFE) y gelatina, mostraron ser eficaces para capturar el virus, a pesar de

ello, por el lugar escogido para la toma de muestra fue difícil determinar si se transmite por el aire o por las gotas respiratorias (32). Entre las investigaciones más destacadas referentes al material particulado como medio de transporte para el SARS-CoV-2 y su transmisión aérea, se encuentra un análisis realizado en una zona industrial en Bérgamo, Italia, donde de 34 muestras de aire, 20 resultaron positivas usando genes marcadores moleculares (E, N y RdRP) para determinar la presencia del ARN del virus, esta investigación es una base para demostrar que se puede establecer la presencia del SARS-CoV-2 en material particulado en el aire exterior. Además, esta información podría ser usada como indicador de recurrencia epidémica (cuando puede volver a ocurrir, o con qué frecuencia aparecería una enfermedad de este tipo) (33).

Asimismo, sobresale un estudio hecho en dos hospitales ubicados en Hermosillo, Sonora, México, donde mediante una bomba de vacío utilizando filtros de membrana de ésteres de celulosa mixtos con tamaño de poro de 0,22 μm , se recolectaron muestras de aire en áreas de urgencias y salas para pacientes con COVID-19, de las cuales, tres (3) resultaron positivas, estos resultados indican que se puede detectar la presencia del SARS-CoV-2 en material particulado en zonas cercanas a pacientes contagiados (distancia entre 0,5-2 m) utilizando una metodología sencilla y de bajo costo (34). La información disponible sobre la propagación del SARS-CoV-2 apoya la hipótesis de un modelo de gotitas en el aire de persona a persona a una distancia superior a dos (2) metros, por lo que los posibles fenómenos de coalescencia que se producen entre los núcleos de las gotas y el material particulado se consideran plausibles, especialmente en condiciones ambientales favorables (baja temperatura y humedad relativa elevada) que fortalezcan la estabilidad de los núcleos, este modelo de transmisión viral puede ser descrito como un “evento de supererogación”, ya que una persona tiene la capacidad de contagiar a muchas otras, por ejemplo, en una reunión, donde se podrían generar varios casos positivos de una enfermedad (35).

En Colombia, hasta la fecha, no hay investigaciones que comprueben o descarten la presencia del virus en partículas, solo se han publicado pocos estudios que hacen referencia a esta temática, uno de ellos establece la

correlación entre la exposición crónica a $PM_{2,5}$ con las muertes por COVID-19, aspectos sociodemográficos y contextos de salud en Colombia por medio de un estudio ecológico; los resultados de este análisis, contrario a los hallazgos mencionados de otros países, indican que la relación entre la exposición a este contaminante a largo plazo y la tasa de mortalidad (municipal) no fue significativa, los valores obtenidos del modelo de obstáculos indicaron que las tasas de letalidad por exposición prolongada a $PM_{2,5}$ son irrelevantes, además, estas se encuentran asociadas a los aspectos sociodemográficos (número de habitantes, grupos por edad y área) y las circunstancias de salud (disponibilidad de camas hospitalarias); un mayor porcentaje de población urbana y un mayor número de camas en hospitales se correlacionaron inversamente con el número de muertes (36).

Otra publicación, analizó las variaciones presentadas en la calidad del aire de las ciudades de Bogotá y Medellín durante el cierre estricto y el cierre flexible, los resultados para ambas indicaron una disminución en las concentraciones de $PM_{2,5}$ (entre 34% y 62%) y PM_{10} (entre 39% y 63%) en ambos periodos, cabe destacar que estos valores fueron influenciados por el transporte de contaminantes atmosféricos a larga distancia provenientes de la quema de biomasa y el suceso de intrusión de polvo en el Sahara (37), estas nubes de polvo formadas por material particulado de distintos compuestos minerales provienen de África, y se desplazan sobre el Atlántico en forma de tormentas dependiendo de la época del año, el mayor transporte sobre el mar Caribe se origina en el verano, las toneladas de polvo producidas incorporan a la atmosfera una gran cantidad de bio-partículas como virus, bacterias y hongos, lo que provoca que este evento contribuya en la dispersión biogeográfica de patógenos, es posible, incluso, que los microorganismos transportados en las partículas de polvo se encuentren vinculados con algunos brotes epidémicos en el Caribe (38).

Importancia de la calidad del aire frente a la propagación del COVID-19

Es importante identificar las fuentes de material particulado tanto en exteriores como en interiores, con el fin de controlar el nivel de exposición a las partículas (especialmente las de tamaño menor a $2,5 \mu m$) las cuales

pueden ingresar fácilmente por el sistema respiratorio, agravándolo. Como se mencionó anteriormente, las fuentes principales de este contaminante son los vehículos y la industria, sin embargo, existen muchas otras fuentes en espacios cerrados, que a pesar de ser objetos asociados a actividades comunes, cuentan con la capacidad de emitir partículas finas, factor desconocido por muchos, como es el caso de las impresoras láser, una vez que estas partículas son liberadas al aire, pueden permanecer por periodos prolongados y acumularse hasta alcanzar niveles significativos, a este factor de riesgo no se le está dando la debida importancia en la transmisión aérea del SARS-CoV-2 (39), por esta razón, mejorar los sistemas de ventilación es clave para limitar la transmisión del COVID-19 (40).

En cuanto a exteriores, lo más recomendable para disminuir los contaminantes presentes en el aire es llevar un control de la cantidad de concentraciones emitidas por las diferentes fuentes (fijas y móviles), esto se lleva a cabo a través de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) estipulados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual, en sus manuales de diseño y operación indica las pautas, pasos e instrumentos para su formulación y puesta en marcha, cabe aclarar, que esto dependerá de la problemática ambiental presentada y el tamaño de la población del lugar. No obstante, existe una contradicción frente a este aspecto, toda vez que el protocolo establece que municipios con población menor a los 300.000 habitantes no requieren de un SVCA, salvo existan condiciones especiales como la presencia de industrias en la región. Pero, frente a la coyuntura generada por la actual pandemia, el monitoreo de la calidad del aire y su relación con los agentes biológicos se hace fundamental en las cabeceras urbanas de todos los municipios, principalmente en la zona central, donde el comercio causa la aglomeración de personas constantemente. Otro aspecto normativo que requiere urgentemente un avance a nivel nacional, es la calidad del aire interior, hasta la fecha no existen normas en el país que regulen la contaminación atmosférica en lugares cerrados, siendo estos los más peligrosos para la propagación del COVID-19.

Al observar cómo en diferentes países se están realizando estudios de la relación entre el material particulado y el SARS-CoV-2, podemos inferir que la transmisión aérea del virus necesita mayor relevancia, ya que las medidas de prevención están enfocadas principalmente en evitar el contacto entre personas y con superficies infectadas, pero, que acciones se deben ejecutar en este caso cuando numerosas investigaciones comprueban que el virus también puede estar presente en el aire, ¿el uso de la mascarilla es suficiente para protegernos? o se necesitan procedimientos de prevención adicionales, las medidas de higiene y sanidad necesitan poner atención a este medio con el objetivo de controlar la propagación del COVID-19 en espacios cerrados y abiertos.

Adicionalmente, se necesitan aún más investigaciones acerca de la presencia del SARS-CoV-2 en material particulado, especialmente en áreas con condiciones geográficas, climáticas y de contaminación atmosférica parecidas a las de Colombia, con el fin de comparar resultados e implementar soluciones eficaces. Para las investigaciones futuras, es recomendable experimentar con las diferentes variables implicadas en el muestreo de aire, tales como muestreadores, filtros (material, tamaño de poro y diámetro), caudal, áreas donde se realiza la prueba, ubicación de las bombas o equipos de muestreo (altura y distancia de los pacientes infectados o de las fuentes contaminantes) y solución para el transporte y custodia de la muestra, esto permitirá encontrar la metodología óptima para la detección del virus en el aire tanto para ambientes interiores como exteriores, donde los estudios hasta la fecha son escasos.

Fortalezas, debilidades y oportunidades con respecto al estudio de la transmisión del SARS-CoV-2 y su relación con el material particulado

Para finalizar, es importante destacar las fortalezas, debilidades y oportunidades que esta temática de investigación nos brinda, lo primero es que ya existen las bases para experimentar diferentes escenarios, además, se tiene un número aceptable de estudios de referencia que confirman la relación entre el material particulado y el SARS-CoV-2, con los que se pueden hacer comparaciones que permitan probar las metodologías existentes y en el futuro mejorarlas.

Lo segundo, como se ha mencionado, son los pocos estudios enfocados a esta temática, al mismo tiempo, la cantidad de muestras positivas son reducidas (la mayoría son negativas) y por lo general, fueron detectadas en salas con pacientes infectados estando ubicados bastante cerca de los muestreadores, lo que las hace poco representativas a un nivel más general, y plantea la duda de si se está captando el virus de las partículas presentes en el aire o se encuentran simplemente en las gotículas generadas por las personas al toser, hablar o estornudar, de esto también se requiere profundización, es decir, que papel cumplen estos mecanismos en la emisión de aerosoles y que tanto influyen en la transmisión aérea del COVID-19.

Y lo tercero, es la cantidad de pruebas nuevas que se pueden realizar, modificar y optimizar basados en la literatura existente y teniendo en cuenta nuevos factores como la cantidad de pacientes en la zona, si llevan mascarilla, condiciones climáticas como la temperatura y la humedad relativa, entre otros. Esta temática aún es reciente y tiene muchos puntos hacia los que puede enfocarse, todavía quedan un sin número de preguntas por resolver, no obstante, es necesario destacar que el desarrollo rápido de la ciencia a través de propuestas con procedimientos innovadores, nos ha permitido tener un mayor control de la pandemia, al detectar el virus con mayor agilidad, definir mecanismos de prevención y autocuidado, y establecer protocolos de bioseguridad que salvaguarden la vida y permitan la reactivación paulatina de los diferentes sectores económicos de nuestra sociedad.

Referencias

1. De Nevers N. Air pollution control engineering. Waveland press; 2010.
2. Gurjar BR, Molina LT, Ojha CSP. Air pollution: health and environmental impacts. CRC press; 2010.
3. Rajak R, Chattopadhyay A. Short and Long Term Exposure to Ambient Air Pollution and Impact on Health in India: A Systematic Review. *Int J Environ Health Res.* 2020;30(6):593-617.
4. Amable-Álvarez I, Méndez-Martínez J, Bello-Rodríguez BM, Benítez-Fuentes B, Escobar-Blanco LM, Zamora-Monzón R. Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *Rev Médica Electrónica.* 2017;39(5):1160-70.

5. Strosnider H, Kennedy C, Monti M, Yip F. Rural and Urban Differences in Air Quality, 2008-2012, and Community Drinking Water Quality, 2010-2015—United States. *Morb Mortal Wkly Rep Surveill Summ Wash DC* 2002. 2017;66(13):1-10.
6. Toy S, Demircan N. Possible ways of mitigating the effects of climate change using efficient urban planning and landscape design principles in Turkey. *Fresenius Environ Bull*. 2019;710-7.
7. Canales-Rodríguez MÁ, Quintero-Núñez M, Castro-Romero TG, García-Cuento RO. Las Partículas respirables PM10 y su composición química en la zona urbana y rural de Mexicali, Baja California en México. *Inf Tecnológica*. 2014;25(6):13-22.
8. Ostro B. Fine particulate air pollution and mortality in two Southern California counties. *Environ Res*. 1995;70(2):98-104.
9. Gaviria CF, Benavides C, Arroyave C. Contaminación por material particulado (pm2,5 y pm10) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). *Fac Nac Salud Pública El Escen Para Salud Pública Desde Cienc*. 2011;29(3):13.
10. Piscitelli P, Miani A, Setti L, De Gennaro G, Rodo X, Artinano B, et al. The role of outdoor and indoor air quality in the spread of SARS-CoV-2: Overview and recommendations by the research group on COVID-19 and particulate matter (RESCOP commission). *Environ Res*. 2022;211:113038.
11. olano-Mora A, Solano-Castillo A, Gamboa-Ellis C. SARS-CoV-2: la nueva pandemia. *Rev Medica Sinerg*. 2020;5(7):e538.
12. Oyarzún G M. Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Rev Chil Enfermedades Respir*. 2010;26(1):16-25.
13. Grimalt JO, Vilchez H, Fraile-Ribot PA, Marco E, Campins A, Orfila J, et al. Spread of SARS-CoV-2 in hospital areas. *Environ Res*. 2022;204:112074.
14. aridi S, Niazi S, Sadeghi K, Naddafi K, Yavarian J, Shamsipour M, et al. A field indoor air measurement of SARS-CoV-2 in the patient rooms of the largest hospital in Iran. *Sci Total Environ*. 2020;725:138401.
15. Ong SWX, Tan YK, Chia PY, Lee TH, Ng OT, Wong MSY, et al. Air, Surface Environmental, and Personal Protective Equipment Contamination by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) From a Symptomatic Patient. *JAMA*. 2020;323(16):1610.
16. Zhang R, Li Y, Zhang AL, Wang Y, Molina MJ. Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. *Proc Natl Acad Sci*. 2020;117(26):14857-63.
17. Stadnytskyi V, Bax CE, Bax A, Anfinrud P. The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *Proc Natl Acad Sci*. 2020;117(22):11875-7.

18. Comunian S, Dongo D, Milani C, Palestini P. Air Pollution and COVID-19: The Role of Particulate Matter in the Spread and Increase of COVID-19's Morbidity and Mortality. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(12):4487.
19. Liu Y, Ning Z, Chen Y, Guo M, Liu Y, Gali NK, et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature*. 2020;582(7813):557-60.
20. Chia PY, Coleman KK, Tan YK, Ong SWX, Gum M, Lau SK, et al. Detection of air and surface contamination by SARS-CoV-2 in hospital rooms of infected patients. *Nat Commun*. 2020;11(1):2800.
21. Domingo JL, Rovira J. Effects of air pollutants on the transmission and severity of respiratory viral infections. *Environ Res*. 2020;187:109650.
22. 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;731:139211.
23. Pansini R, Fornacca D. COVID-19 Higher Mortality in Chinese Regions With Chronic Exposure to Lower Air Quality. *Front Public Health* [Internet]. 2021 [citado 14 de octubre de 2022];8. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2020.597753>
24. Hernandez-Carballo I, Bakola M, Stuckler D. The impact of air pollution on COVID-19 incidence, severity, and mortality: A systematic review of studies in Europe and North America. *Environ Res*. 2022;215:114155.
25. Frontera A, Cianfanelli L, Vlachos K, Landoni G, Cremona G. Severe air pollution links to higher mortality in COVID-19 patients: The “double-hit” hypothesis. *J Infect*. 2020;81(2):255-9.
26. Bossak BH, Andritsch S. COVID-19 and Air Pollution: A Spatial Analysis of Particulate Matter Concentration and Pandemic-Associated Mortality in the US. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(1):592.
27. 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;741:140396.
28. Wu X, Nethery RC, Sabath MB, Braun D, Dominici F. Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis. *Sci Adv*. 2020;6(45):eabd4049.
29. Domingo JL, Marquès M, Rovira J. Influence of airborne transmission of SARS-CoV-2 on COVID-19 pandemic. A review. *Environ Res*. 2020;188:109861.
30. Sharma AK, Balyan P. Air pollution and COVID-19: Is the connect worth its weight? *Indian J Public Health*. 2020;64(Supplement):S132-4.

31. Kenarkoochi A, Noorimotlagh Z, Falahi S, Amarloei A, Mirzaee SA, Pakzad I, et al. Hospital indoor air quality monitoring for the detection of SARS-CoV-2 (COVID-19) virus. *Sci Total Environ.* 2020;748:141324.
32. Rahmani AR, Leili M, Azarian G, Poormohammadi A. Sampling and detection of corona viruses in air: A mini review. *Sci Total Environ.* 2020;740:140207.
33. 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;188:109754.
34. López JH, Romo ÁS, Molina DC, Hernández GÁ, Cureño ÁBG, Acosta MA, et al. Detection of Sars-Cov-2 in the air of two hospitals in Hermosillo, Sonora, México, utilizing a low-cost environmental monitoring system. *Int J Infect Dis.* 2021;102:478-82.
35. Setti L, Passarini F, De Gennaro G, Barbieri P, Perrone MG, Borelli M, et al. Airborne Transmission Route of COVID-19: Why 2 Meters/6 Feet of Inter-Personal Distance Could Not Be Enough. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(8):2932.
36. Rodríguez-Villamizar LA, Belalcázar-Ceron LC, Fernández-Niño JA, Marín-Pineda DM, Rojas-Sánchez OA, Acuña-Merchán LA, et al. Air pollution, sociodemographic and health conditions effects on COVID-19 mortality in Colombia: An ecological study. *Sci Total Environ.* 2020;144020.
37. Mendez-Espinosa JF, Rojas NY, Vargas J, Pachón JE, Belalcazar LC, Ramírez O. Air quality variations in Northern South America during the COVID-19 lockdown. *Sci Total Environ.* 2020;749:141621.
38. Mojena-López DE, Ortega-González TA, Casilles-Vega LEF, Leyva-Santos LJ. Nubes de polvo del Sahara. Su presencia en Cuba. *Rev Cuba Meteorol.* 2015;21(1):120-34.
39. He S, Han J. Electrostatic fine particles emitted from laser printers as potential vectors for airborne transmission of COVID-19. *Environ Chem Lett.* 2020;1-8.
40. Morawska L, Tang JW, Bahnfleth W, Bluysen PM, Boerstra A, Buonanno G, et al. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? *Environ Int.* 2020;142:105832.