











Factores ambientales en la transmisión del SARS-CoV-2/COVID 19: panorama mundial y colombiano

Environmental factors in the transmission of SARS-CoV-2/COVID 19: World and Colombian outlook

Karina Pastor-Sierra¹ ; Ana Peñata-Taborda¹ ; Andrés Coneo-Pretelt¹ ; Luisa Jiménez-Vidal¹ 
Gean Arteaga-Arroyo¹ ; Dina Ricardo-Caldera¹ ; Claudia Galeano-Páez¹ 
Pedro Espitia-Pérez¹ ; Shirley Salcedo-Arteaga¹ ; Lyda Espitia-Pérez¹ 

Forma de citar: Pastor-Sierra K, Peñata-Taborda A, Coneo-Pretelt A, Jiménez-Vidal L, Arteaga-Arroyo G, Ricardo-Caldera D, et al. Factores ambientales en la transmisión del SARS-CoV-2/COVID 19: panorama Mundial y colombiano. Salud UIS. 2021; e21037. doi: <https://doi.org/10.18273/salduis.53.e:21037> 

Resumen

Introducción: diversas investigaciones han intentado establecer el impacto de algunos parámetros meteorológicos y de calidad del medio ambiente en la transmisión del SARS-CoV-2, tomando en consideración las características geográficas de cada país y con el fin de mitigar el avance de la enfermedad mediante el control de esos factores. **Objetivo:** analizar la evidencia existente sobre la posible relación entre factores ambientales y la morbilidad y mortalidad por SARS-CoV-2/COVID-19 en el panorama mundial y colombiano. **Metodología:** se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica en las bases de datos electrónicas. Además, se analizó el impacto de algunas variables ambientales y la gravedad de los casos de COVID-19 durante el período del 8 de abril al 29 de julio de 2020 en la ciudad Bogotá. **Resultados:** el análisis correlacional entre la ocupación de camas UCIs en Bogotá con los factores ambientales como temperatura, las concentraciones de PM_{2,5}, O₃, NO, NO₂ y CO mostraron una relación inversamente significativa. Entre tanto, se presentó una correlación positiva entre los niveles de óxidos de nitrógeno (NO/NO₂) y el monóxido de carbono (CO). Algunos de estos resultados posiblemente están relacionados con los efectos de la cuarentena impuesta por el gobierno local. **Conclusión:** a nivel mundial existe suficiente evidencia para relacionar algunas condiciones y parámetros ambientales con un aumento en la morbilidad y mortalidad por COVID-19. Las evidencias a nivel nacional aún son escasas.

Palabras clave: SARS-CoV-2/COVID-19; Ambiente; Factores Meteorológicos; Morbilidad; Mortalidad.

Abstract

Introduction: several investigations have attempted to establish the impact of some meteorological and environmental parameters on the transmission of SARS-CoV-2, considering each country's geographical characteristics and seeking to mitigate the disease's advancement by controlling these factors. **Objective:** Analyze the evidence on the possible relationship between environmental factors, morbidity, and mortality due to SARS-CoV-2/COVID-19, both globally

1. Universidad del Sinú - Elías Bechara Zainúm, Montería, Córdoba-Colombia.

Correspondencia: Lyda Espitia Pérez. Dirección: Campus Elías Bechara Zainúm, Cra. 1w No. 38-153, Barrio Juan XXIII, Montería – Córdoba. Teléfono: (+4) 7840340 ext. 1221. Correo electrónico: lydaespitia@unisinu.edu.co

Recibido: 09/08/2020

Aprobado: 28/09/2021

Publicado online: 26/11/2021

and within Colombia. **Methodology:** A comprehensive review of the scientific literature was carried out in the electronic databases. Additionally, the impact of some environmental variables and the severity of COVID-19 cases were analyzed during the period from April 8 to July 29, 2020, for the city of Bogotá. **Results:** The correlational analysis between the ICU admission rates in Bogotá and the environmental factors like temperature, $PM_{2.5}$, O_3 , NO , NO_2 y CO levels, and ozone concentration showed an inversely significant relationship. Meanwhile, there was a positive correlation between the levels of nitrogen oxides (NO/NO_2) and carbon monoxide (CO). Some of these results could be related to the effects of the quarantine imposed by local governments. **Conclusion:** Globally, there is enough evidence to link environmental conditions and parameters with increased morbidity and mortality for COVID-19. Evidence at the national level is still scarce.

Keywords: SARS-CoV-2/COVID-19; Environment; Meteorological Factors; Morbidity, Mortality.

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) junto a su comité de Emergencia Global emitieron en diciembre de 2019 una alerta mundial sobre la aparición de un nuevo coronavirus (SARS-CoV-2), un virus de ARN de sentido positivo monocatenario que causa infección e insuficiencia respiratoria¹, y que ha llevado a la muerte de más de 700 000 personas en todo el planeta; el epicentro de la enfermedad se registró en Wuhan, provincia de Hubei, China, en diciembre de 2019², y a partir de ahí el virus se ha esparcido por todos los países a una velocidad abrumadora, dando paso a diversas investigaciones relacionadas con su naturaleza infecciosa y con los factores que potencian o disminuyen su transmisión. Por eso, diversas investigaciones han intentado establecer el impacto de algunos parámetros meteorológicos y de calidad del medio ambiente en la transmisión del SARS-CoV-2, tomando en consideración las características geográficas de cada país²⁻⁶ y con el fin de mitigar el avance de la enfermedad mediante el control de esos factores.

Sin embargo, los resultados no han sido concluyentes y en ocasiones han resultado contradictorios. Investigaciones recientes plantean que el aumento de 1 °C en la temperatura y de 1% en la humedad relativa disminuyen la prevalencia de la enfermedad, entre tanto la mortalidad por COVID-19 empeora a temperaturas entre 4 °C – 12 °C y a humedades relativas entre 60% y 80%^{5,7,8}. Mientras, otros estudios plantean que no existe relación entre la propagación del virus del SARS-CoV-2, la temperatura, la humedad y/o ambos^{9,10}.

Otros resultados apuntan a que la calidad de aire es una de las principales variables relacionadas con el registro de casos de COVID-19, ya que el aire contaminado aumenta la susceptibilidad de contraer enfermedades respiratorias^{11,12}. Adicionalmente, variables climáticas como el ozono y la radiación solar, han sido asociadas

probablemente con la reducción del ciclo de vida y/o supervivencia del SARS-CoV-2 a gran altitud. Estos hallazgos suponen que cuando la elevación es mayor, la radiación solar es más intensa y se da una producción mayor de ozono al igual que una fotoquímica acelerada que afectan el desarrollo del virus¹³.

Elementos menos obvios relacionados con la disposición de aguas residuales y la eliminación del hábitat de la vida silvestre, también han sido relacionados como potenciales moduladores de los orígenes y la transmisión de SARS-CoV-2. Esto específicamente en especies como los murciélagos, que cumplen el papel de huéspedes intermedios no confirmados en el salto del eslabón animal al ser humano¹⁴ y más recientemente por la identificación de muestras del material genético (ARN) del virus en estudios de aguas residuales provenientes de fuentes domiciliarias, hospitalarias, y centros de aislamiento. Estos factores se consideran rutas alternativas potenciales para la transmisión del virus, más en aquellos países donde las políticas sanitarias son débiles¹⁵.

En Colombia son escasos los estudios enfocados en la búsqueda de las posibles relaciones entre las variables climáticas y de calidad del medio ambiente, y los casos confirmados de COVID-19. Desde la perspectiva de salud pública, esta información busca llenar el vacío en el conocimiento sobre el tema, además se estima la realidad actual del comportamiento del virus SARS-CoV-2 a nivel nacional e internacional, esto genera una invitación a la realización de futuras investigaciones que permitan ampliar horizontes académicos.

En este artículo de revisión y análisis, se discutirá el papel de factores y condiciones ambientales como temperatura, humedad, las concentraciones de $PM_{2.5}$, NO , NO_2 , CO y O_3 , radiación solar, velocidad del viento, disposición de aguas residuales y eliminación del hábitat de animales silvestres en la transmisión

de SARS-CoV-2/COVID 19. También se analizará el comportamiento y la posible correlación entre algunas de estas condiciones ambientales y la gravedad de los síntomas del COVID-19 mediante el estudio de los datos de la ocupación de las unidades de cuidados intensivos de pacientes en la ciudad de Bogotá, epicentro de la pandemia en Colombia. De esta forma, el artículo, genera a través del estudio de fuentes primarias y secundarias, un análisis consolidado de las problemáticas ambientales y su influencia en la morbilidad y mortalidad por SARS-CoV-2/COVID-19 en el panorama mundial y colombiano.

Metodología

Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica en las bases de datos electrónicas: PubMed, Web of Science, Scopus, Google Scholar, Science Direct y SCIELO. La estrategia de búsqueda se adelantó por vocabulario controlado usando términos MeSH de Pubmed y lenguaje libre, teniendo en cuenta sinónimos, abreviaturas, variaciones ortográficas y plurales.

Esta búsqueda respondió a dos preguntas pico enfocadas en: *¿Qué condiciones ambientales han sido relacionadas con un aumento en la morbilidad y mortalidad por COVID-19? ¿En el contexto colombiano, qué condiciones ambientales particulares pueden estar modulando la morbilidad y mortalidad por COVID-19?*

Criterios de inclusión: estudios observacionales, analíticos o descriptivos; publicados entre diciembre del año 2019 y noviembre de 2020; poblaciones donde se registran casos de morbilidad o mortalidad por COVID-19; cualquier condición ambiental que haya sido asociada con un aumento o disminución de la morbilidad o mortalidad por COVID-19.

Criterio de exclusión: artículos en idiomas diferentes al español, inglés y portugués.

Los descriptores de la búsqueda en las bases de datos PUBMED, Web of Science, Scopus, Science Direct, LILACS Y SCIELO, Google Scholar, fueron:

Temperatura y Humedad: (Temperature* OR Humidity*) AND (COVID-19* OR SARS-CoV-2); (temperature*) AND (COVID-19* OR SARS-CoV-2); (Humidity*) AND (COVID-19* OR SARS-CoV-2); (temperatura*) AND (COVID-19* OR SARS-CoV-2) AND (Humedad*); (COVID-19* OR SARS-CoV-2).

Calidad del Aire: (“Particulate matter” OR dust) AND (“air pollution” OR smog) AND (COVID OR COVID-19 OR “SARS-CoV-2”); (“SARS-CoV-2”) AND (PM_{2,5}) AND (PM₁₀); (“Material particulado”) AND (“polución «O smog) AND (COVID O COVID-19 O “SARS-CoV-2”) AND («SARS-CoV-2») AND (PM_{2,5}) AND (PM₁₀).

Velocidad del Viento: (SARS-CoV-2 OR COVID-19) AND (“wind speed” OR airstream*) AND (spread*) AND (pandemic); (SARS-CoV-2 OR COVID-19) AND (“velocidad del viento”) AND (propagación*) AND (pandemia).

Capa de Ozono y Radiación: (“Ozone layer”) AND (COVID19 OR CORONAVIRUS OR SARS-COV-2) ((Radiation OR “UV radiation”) AND NOT (radiotherapy OR cancer OR Radiology)) AND (Covid-19 OR SARS-COV-2 OR CORONAVIRUS); (“Capa de ozono”) Y (COVID19 O CORONAVIRUS O SARS-COV-2); (Radiación O “radiación UV”) Y NO (radioterapia O cáncer O Radiología) Y (Covid-19 O SARS-COV-2 O CORONAVIRUS).

Aguas Residuales: (WASTEWATER-COVID-19) (SEWAGE-COVID-19); (sewage OR dust) AND (covid-19 OR smog) AND (wastewater OR COVID-19).

Eliminación de habitat: (SARS-CoV-2 OR COVID-19 OR Outbreak OR Pandemic OR Coronavirus) AND (Ecosystems OR Habitat OR environment OR Biodiversity OR Bats) AND (Fragmentation OR Degradation OR “Loss habitat”) AND (zoonoses OR Wildlife OR “Infection Risk” OR “Disease Transmission”).

El tamizado de referencias basada en título, resumen y texto completo fue efectuado por cada revisor de forma independiente. La selección de estudios se realizó verificando los criterios de elegibilidad en el texto completo de las referencias preseleccionadas. La extracción de datos fue realizada por cada experto de manera individual. Con los datos de cada revisor se elaboró una tabla maestra en Excel con las características de las publicaciones y documentos encontrados. Las características que fueron registradas en el [Anexo 1](#) de análisis de los artículos durante el proceso de extracción de datos fueron: área de estudio; tipo de estudio, condiciones y covariables, resultados principales, sesgos, y bibliografía. Los sesgos de cada artículo fueron identificados y definidos por los mismos investigadores.

Para este artículo en particular, se realizó un análisis de la relación entre la gravedad de los casos de COVID-19, medida por la ocupación de las unidades de cuidados intensivos (UCI) COVID-19 adultos y los factores ambientales: temperatura y las concentraciones de PM_{2,5}, NO, NO₂, CO y O₃. Este análisis fue efectuado durante el período del 8 de abril al 29 de julio de 2020 para la ciudad Bogotá, considerando la completitud de las mediciones y datos reportados en los sistemas públicos, por lo que evaluó una exposición a corto plazo. Bogotá D.C. es el epicentro de la pandemia a nivel nacional y una zona de alta contaminación ambiental proveniente de su gran número de actividades industriales y transporte. Los datos de la ocupación de las unidades de cuidados intensivo (UCIS) fueron obtenidos del Observatorio de Salud de Bogotá y los datos ambientales y meteorológicos fueron tomados a diario (24 h) de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB).

El análisis de datos y los gráficos se realizaron con el software GraphPad Prism versión 7.01 (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, EE. UU.), así mismo, mediante la prueba de Spearman se estableció el análisis de correlación entre las variables.

Resultados y discusión

La estrategia de búsqueda en las bases de datos electrónicas identificó 2597 publicaciones, luego de eliminar duplicados se redujeron a 764. En la primera ronda de evaluaciones independientes, se aplicaron los criterios de elegibilidad a los títulos y resúmenes permitiendo la exclusión de 503 publicaciones, esto permitió que 261 publicaciones continuaran en el proceso de evaluación. En la segunda ronda se revisó el cumplimiento de los criterios de selección a los textos completos, excluyendo 144 documentos y analizando 117 publicaciones. Dentro de la revisión de los textos completos 19 documentos fueron identificados como pertinentes para la revisión y fueron adicionados a la base de datos inicial, finalizando con un total de 131 textos para la creación del análisis y del artículo como se evidencia en la **Figura 1**. De este grupo de artículos analizados, el 58,62% correspondió a estudios de tipo pre-print sin evaluación de pares y el 41,38% a estudios peer-reviewed.

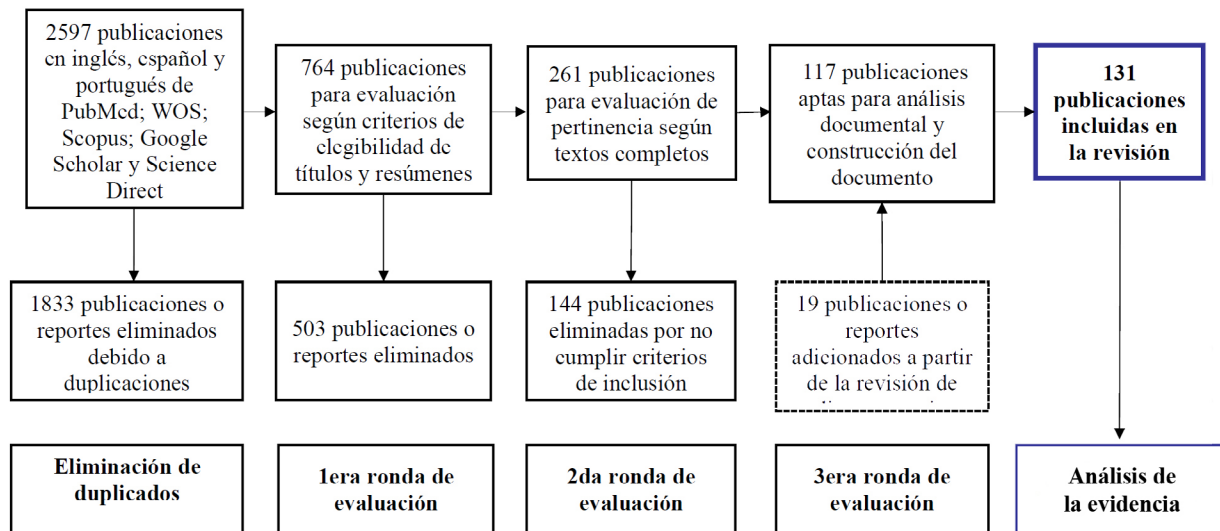


Figura 1. Flujograma del proceso de identificación, selección y eliminación de artículos con base en una revisión bibliográfica, se elaboró un análisis sobre los principales factores ambientales asociados a un aumento de la morbilidad y mortalidad por COVID-19/SARS-CoV-2, exponiendo además la contextualización de cada factor en el caso colombiano, analizando el posible impacto en el progreso de los contagios y del panorama epidemiológico.

El **Anexo 1** del material suplemental presenta las características de los estudios incluidos, además, de un resumen de las informaciones registradas para cada artículo o reporte. De igual manera las **Figuras 2, 3 y 4**, muestran de forma detallada la relación entre los

factores ambientales temperatura, las concentraciones de PM_{2,5}, NO, NO₂, CO y O₃ y las ocupaciones en UCIs de adultos por COVID-19 registradas en la ciudad de Bogotá.

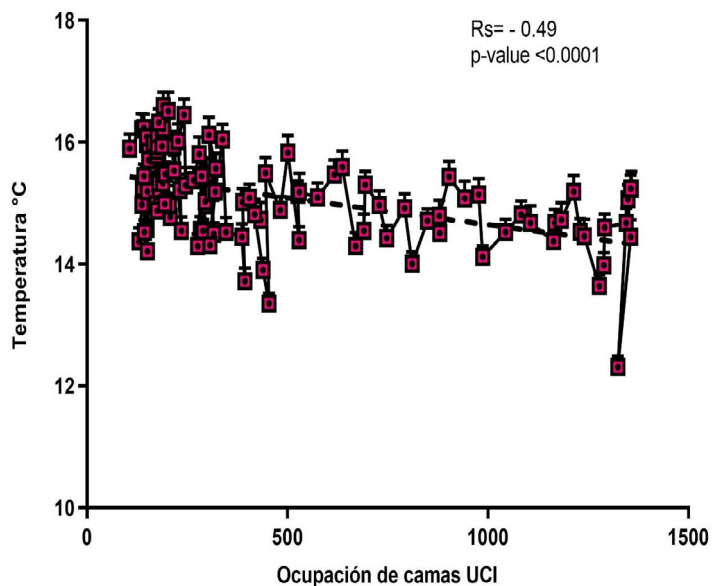


Figura 2. Correlación de Spearman para las variables de ocupación de camas UCI y temperatura.

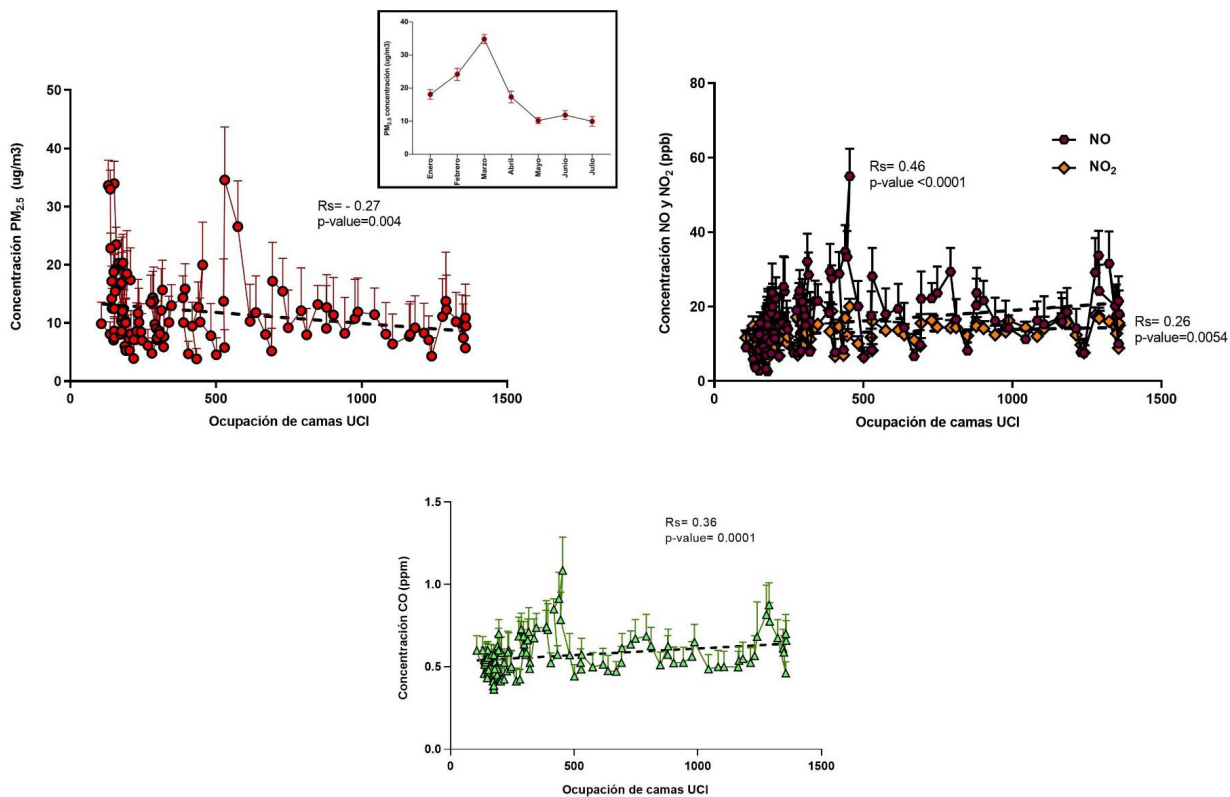


Figura 3. Correlación de Spearman para las variables de ocupación de camas UCI y concentración de $PM_{2.5}$, NO, NO_2 y CO.

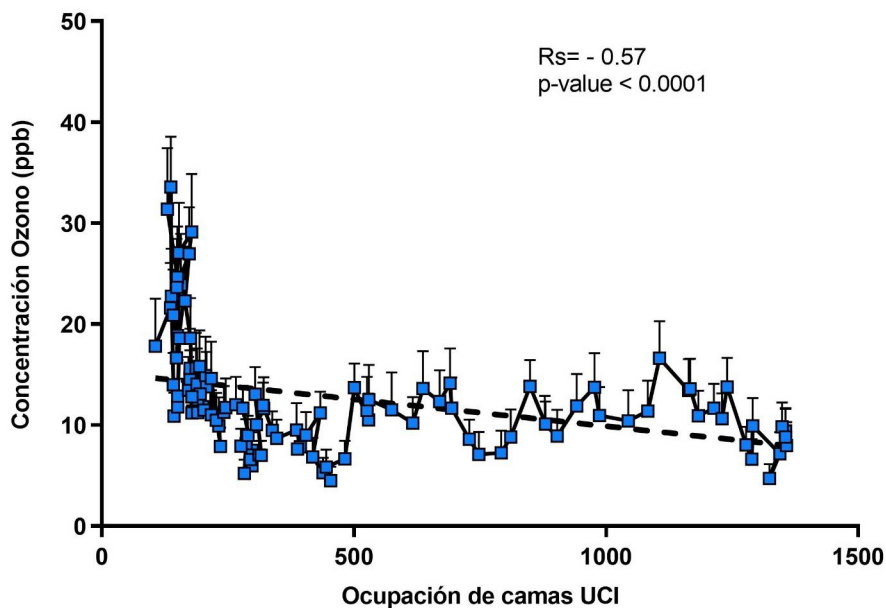


Figura 4. Correlación de Spearman para las variables de ocupación de camas UCI y concentración de ozono.

Temperatura, humedad y su relación con COVID-19/SARS-CoV-2

El análisis de estas variables se centró en la relación de la temperatura y humedad, con la incidencia, prevalencia, ocupación de camas UCI y letalidad por COVID-19, variables que han tenido un crecimiento notable en los últimos meses. La información obtenida muestra la relación entre el aumento y la disminución de los grados en la temperatura y la humedad en distintos países del mundo y su relación con el virus SARS-CoV-2.

La mayoría de los artículos revisados en países como Estados Unidos, China, Italia, España, Irán, malasia, Brasil y otros concuerdan que las bajas temperaturas y la baja humedad favorecen la prevalencia de COVID-19, la supervivencia del virus y la transmisión entre humanos^{4,5,8,16-24,25-27}. Entre tanto, en Noruega se reportó que las temperaturas máximas y normales estuvieron asociadas positivamente con casos y muertes por COVID-19, mientras que la precipitación presentó una relación negativa con la enfermedad²⁸. Sin embargo, varios autores establecen que estas variables no tienen relación con los casos confirmados por COVID-19 y sugieren realizar más estudios para establecer la relación causa-efecto^{2,6,29-33,34,35}.

Otros estudios realizados en Estados Unidos y México^{2,36} respaldan la hipótesis en donde las condiciones tropicales inciden en la dispersión de las gotas generadas por tos y estornudos a diferente temperatura y humedad. Se plantea que, en altas

temperaturas y condiciones de alta humedad, se genera una rápida dispersión de las gotas, mientras que, en condiciones de baja temperatura y humedad, las gotas tienden a permanecer suspendidas en el aire. Esta información es consistente con otros estudios⁸.

En Wuhan China, provincia donde se dio el origen de los brotes por SARS-CoV-2, fue la primera zona donde se estableció la posible relación entre factores climáticos y la morbimortalidad por COVID-19. Pese a encontrar una relación inversamente proporcional entre estas variables, es decir, a mayor temperatura y humedad se registraron menores casos por COVID-19, se sugiere incursionar en futuras investigaciones para la ampliación de las posibles relaciones de estas variables con el virus^{11,37}. Sin embargo, existen otras condiciones que podrían estar asociadas con la incidencia y mortalidad del virus, como es el caso de las intervenciones y políticas gubernamentales encargadas de velar por la salud de las poblaciones⁸. Esta dinámica entre la temperatura, humedad y COVID-19 se evidenció también en los resultados planteados por Shahzad, et al. en China⁵. Los resultados obtenidos en las provincias Guangdong, Henan, Jiangxi, Shandong y Jiangsu presentaron una correlación negativa entre la temperatura y COVID-19³⁸, mientras las provincias Hubei, Zhenjiang, Hunan, Anhui y Heilongjiang mostraron relación positiva entre estas variables³⁴. Entre tanto Europa, Asia y Sur América, reportaron el comportamiento inverso del virus SARS-CoV-2 con la temperatura y la humedad³⁹⁻⁴².

En Singapur e India la temperatura es considerada como un factor primordial en la salud pública ya que contribuye en el control epidemiológico^{43,44}, además se identificó un umbral de 3 °C en 122 ciudades, esta información permitió establecer la relación de la temperatura y la disminución de la enfermedad (incluyendo Wuhan) en China, dato meteorológico que fortalece la hipótesis de relación inversa entre la temperatura y COVID-19⁴⁵.

El análisis de la relación entre la variable temperatura y la ocupación de camas UCIs adulto en Bogotá, Colombia mostró también una relación inversa como se observa en la **Figura 2**, resultados que concuerdan con diversas investigaciones a nivel mundial^{25,46,47}, y que además se suma al efecto de la calidad del aire, y rangos de temperatura de 10-20 °C, que contribuyen con el aumento de la prevalencia e incidencia de los casos confirmados de COVID-19⁴⁸. Es importante resaltar que Bogotá reporta los mayores casos de COVID-19 en el país, lo que probablemente esté asociado con las bajas temperaturas y condiciones de humedad que se registran en la ciudad, además de la alta contaminación ambiental de origen industrial y móvil. Resultados similares fueron descritos por Ma, et al.⁹ y Scafetta⁷. Otras consideraciones a tener en cuenta es la problemática socio-cultural que actualmente vive Colombia por la crisis sanitaria.

Autores como Liu, et al.¹², asocian una mayor infectividad en invierno o a bajas temperaturas del virus SARS-CoV-2, generando un posible impacto positivo en la propagación del virus. Del mismo modo, en países como Perú, Brasil, Ecuador y Chile en Sur América, Zhu, et al.⁴⁹, establecieron rangos de humedad absoluta que van de 5,5 a 22,4 g/m³, temperatura de 6,0 a 41,6 °C, velocidad media del viento de 0,2 a 16,9 km/h, visibilidad de 1,9 a 8,7 m, rangos bases para estimar la relación de las variables meteorológicas con el comportamiento del virus SARS-CoV-2, concluyendo que la humedad absoluta está altamente correlacionada de forma negativa con la propagación del virus SARS-CoV. Así mismo, autores como Goswami, et al., Wang, et al., y Eslami H, et al.^{31,50,51}, registran en sus estudios, que aumentos de temperatura de 1 °C⁵²⁻⁵⁴ y de humedad relativa en 1 %⁵⁵⁻⁵⁷, disminuyen la propagación del virus SARS-CoV-2⁵⁸⁻⁶⁰. Los resultados presentados en esta revisión proporcionan una mirada mucho más profunda del comportamiento de los factores ambientales, el funcionamiento del sistema de salud y el cumplimiento de las políticas públicas enmarcadas en la emergencia sanitaria que vive actualmente el mundo y por su puesto Colombia.

Calidad del aire y morbi-mortalidad por COVID-19/SARS-CoV-2

El síndrome respiratorio agudo severo conocido como enfermedad COVID-19 (debido al virus SARS-CoV-2) se propaga a través de gotitas respiratorias y contactos cercanos con pacientes infectados⁶¹. Sin embargo, este modelo de transmisión único no parece explicar adecuadamente la propagación observada en regiones en las que el número de personas infectadas y la gravedad del COVID-19 fueron especialmente relevantes, esto es norte de Italia, Estados Unidos, China, Inglaterra y algunos de países del medio oriente; lo anterior ha promovido otras hipótesis sobre las vías de contagio de la enfermedad y la presencia de otros factores moduladores de su dispersión.

Teniendo en cuenta que estos países comparten la característica de poseer altos índices de contaminación ambiental, las primeras hipótesis surgieron alrededor de la posible relación entre los altos índices de contaminación, la baja calidad del aire y la propagación y gravedad del contagio.

A partir de estas observaciones se han generado muchos interrogantes, los cuales dirigen la revisión de esta sección con el fin de estimar: *¿La baja calidad del aire está relacionada con la rápida diseminación del SARS-Cov-2 y sus elevadas tasas de mortalidad en ciertos países y regiones del mundo? ¿Este fenómeno podría también explicar las altas tasas de casos complicados de COVID-19 en algunas áreas de Colombia?*

Para responder estas preguntas, debemos revisar rápidamente las bases que soportan la posible relación entre calidad del aire y COVID-19:

1. La exposición a altos niveles de material particulado (PM por sus siglas en Inglés), debilitan el sistema inmune de los individuos y contribuye a un aumento en la prevalencia de enfermedades autoinmunes, alergias, infecciones e incluso cáncer⁶².
2. Los altos niveles de PM sobre las células causan la expresión del sistema renina-angiotensina (RAS), que consiste en dos ejes que participan en las respuestas inflamatorias; el eje ACE/AngII/AT1R involucrado en la liberación de citoquinas proinflamatorias (como IL-6 y TNF-alfa); el eje ACE-2/Ang1-7/Mas que culmina con la activación de Mas que reprime STAT3 y ERK al ejercer un efecto antiinflamatorio⁶³. De esta forma, el eje de la ACE-2, protege contra lesiones inducidas por el RAS, lo que la convierte en una proteína

crucial para la protección del pulmón contra los poluentes ambientales⁶⁴. Esta condición hace que ACE-2, tienda a sobre expresarse a nivel alveolar ante la exposición crónica a PM⁶³. Al ser la proteína de acceso a la célula del SARS-CoV-2, la sobreexpresión de ACE-2 en estos pacientes crónicamente expuestos, facilitaría la penetración del virus a la célula. La posterior depleción de la ACE-2, eliminaría su efecto protector, creando un efecto dominó que finalmente contribuiría a formas más severas de la enfermedad⁶⁵.

3. El PM puede actuar como un “vehículo” que facilita la dispersión del SARS-CoV-2. Esta última hipótesis es actualmente objeto de un intenso debate, tomando en cuenta las evidencias más recientes en donde se considera la posible permanencia del virus en la atmósfera y el descubrimiento de RNA viral en muestras de PM₁₀ al Norte de Italia⁶⁶. Según los autores de este estudio, en condiciones de estabilidad atmosférica y altas concentraciones de PM, el SARS-CoV-2 podría agruparse alrededor del PM₁₀ al aire libre y reducir su coeficiente de difusión, y mejorar la persistencia del virus en la atmósfera.

Uno de los primeros informes en apuntar a la posible relación entre calidad del aire y COVID-19 surge precisamente en Italia. La SIMA/ISEM (Italian/International Society of Environmental Medicine) publicó un documento el 16 de marzo donde se describía un posible vínculo entre las altas tasas de mortalidad observadas en el norte de Italia debido a COVID-19 y las concentraciones de PM^{67,68}. En este reporte, la SIMA demostró una correlación significativa entre la distribución geográfica de los puntos con excesos diarios de niveles de PM₁₀ en 110 provincias italianas y la propagación de la infección COVID-19 antes del cierre decidido por el Gobierno⁶⁹. Estas primeras observaciones apoyaron las hipótesis de que las concentraciones de PM en ciertas áreas del Norte de Italia actuarían como indicadores de severidad de las infecciones por SARS-CoV-2, particularmente en zonas ampliamente contaminadas y con permanentes elevaciones de los valores diarios recomendados⁷⁰⁻⁷². Al respecto, Setti, et al.⁷³ encontraron que en regiones específicas del norte de Italia donde los niveles de concentración de PM₁₀ fueron superiores al valor límite diario, el avance del COVID-19 experimentó un “empujón” sobre la población expuesta, fenómeno no observado en otras regiones italianas que no superaron los niveles máximos de PM₁₀ durante el mismo período.

La hipótesis es que las gotas de aerosol emitidas al estornudar, toser o simplemente hablar, se estabilizan en el aire a través de su fusión con el PM, lo que se potenciaría en condiciones de altas concentraciones de material suspendido, y así favorecer la sobrevivencia del virus durante varias horas en la atmósfera^{74,75}. La asociación con el PM también favorecería la protección de los patógenos absorbidos en su superficie, y les permite estar menos expuestos tanto a radiación como a gases tóxicos atmosféricos⁷⁶.

Por su tamaño y características de deposición en los pulmones, es fácil suponer que formas más finas de PM, como el PM_{2,5} puedan tener un mayor impacto sobre la capacidad de penetración de partículas virales del SARS-CoV-2 localizadas en su superficie. Uno de los estudios más robustos en ese respecto, fue realizado por Wu, et al.⁷⁷, con datos históricos de calidad del aire en 3000 condados en los Estados Unidos. Los resultados mostraron que la exposición a largo plazo a elevadas concentraciones de PM_{2,5} se asocia con tasas de mortalidad por COVID-19 más altas, aún después del ajuste para una amplia gama de factores socioeconómicos, demográficos, climáticos, conductuales, epidemiológicos y factores de confusión relacionados con la atención médica. Aunque esta tendencia se presentó en varios estudios^{63,78,79}, otros autores, por el contrario, describen una relación inversa, con una disminución del 33,11% (IC 95% 31,04-35,22) en los nuevos casos diarios de COVID-19 con un aumento de una unidad en el promedio de PM_{2,5} (µg/m³)⁸⁰.

Para el caso de Colombia, Rodríguez-Villamizar, et al.⁸¹ no encontraron una relación significativa entre la exposición a largo plazo a PM_{2,5} (2014-2018) y las tasas de mortalidad por COVID-19, las variables demográficas como edad, hipertensión e índice de pobreza son los factores más importantes en la determinación de las tasas de mortalidad en el país.

Al igual que en los datos de Adhikari, et al.⁸⁰, la información analizada en este artículo apunta a una posible relación inversa entre los niveles de PM_{2,5} y los niveles de ocupación de UCI especialmente marcada por un aumento de los casos y una disminución en los niveles de PM_{2,5}, como se observa en la **Figura 3** (anidada a PM_{2,5}). Esta última situación probablemente puede estar relacionada con los efectos de la cuarentena estricta por localidades impuesta por el gobierno local para frenar el avance de los contagios. Para los niveles de PM₁₀ no se encontró ninguna correlación.

Dentro de los contaminantes atmosféricos secundarios, los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) presentaron una correlación positiva con la ocupación en UCIs. Ambos compuestos han sido particularmente estudiados por su posible correlación con el riesgo de muerte por COVID-19^{25,82,83} y a un aumento de la susceptibilidad a desarrollar cuadros severos⁸⁴.

El SO₂ es un gas traza ambiental producido por fuentes tanto naturales como antropogénicas y que surge en gran medida de fuentes de combustión urbana como el tráfico. En este caso, pese a los cierres de ciertas actividades es posible que los resultados se ajusten a la persistencia de estos gases de efecto invernadero en la atmósfera⁸⁵, el SO₂ no presentó una influencia significativa en el análisis inicial realizado. Contrario a lo ocurrido con el SO₂, el monóxido de carbono (CO) presentó una correlación positiva significativa con la ocupación de UCIs para COVID-19. El CO se emite desde prácticamente todas las fuentes de combustión incompleta, incluidos motores de combustión interna, incendios, aparatos de gas y petróleo mal ajustados, calentadores de agua, hornos, y al fumar tabaco⁸⁶, por lo que es posible que los bloqueos no tengan un claro impacto sobre su disminución.

En resumen, la gravedad de los casos de COVID-19 en Bogotá podría estar correlacionada a corto plazo con los niveles de contaminantes ambientales como NO, NO₂ y CO. La reducción de los niveles de PM_{2.5} producto de los cierres de localidades y las bajas actividades de circulación, producen una correlación negativa pero significativa con la ocupación de las UCIs. El impacto de los bloqueos sobre las mediciones y las conclusiones al respecto de la relación entre estas variables, deben ser analizados más profundamente para obtener informaciones más robustas. Sin un análisis más profundo estos resultados muestran más una tendencia que una causalidad o resultados concluyentes.

Ozono, radiación solar y su relación con COVID-19/SARS-CoV-2

El efecto de la radiación solar ultravioleta sobre la tasa de morbi-mortalidad por COVID-19 es un tema en discusión, aunque para algunos autores la capacidad de propagación de COVID-19 no se asocia significativamente con factores como la radiación solar ultravioleta³⁵; sustentado en el hecho de que la radiación ultravioleta se clasifica en tres subtipos por longitudes de onda: ultravioleta A (320-400 nm), ultravioleta B (280-320 nm) y ultravioleta C (200-280 nm), la UVC es la que mejores propiedades virucidas posee; sin embargo, UVA es el principal componente

de la luz solar que llega al suelo, y solo una pequeña porción de UVB (con pequeño efecto germicida) llega a la superficie de la tierra, por lo que la radiación solar no sería una alternativa⁸⁷.

Pese a dicho argumento, modelos matemáticos del comportamiento del virus suspendido en la atmósfera han indicado que el componente disperso de la luz solar aún puede tener aproximadamente el 50% de la eficacia virucida ejercida por la radiación solar directa. Esto que sustenta la idea de que a una mayor radiación UV solar se podría reducir la capacidad de “supervivencia” del virus^{27,45,88,89}, principalmente en ambientes a gran altitud donde el aumento de la elevación conduce a una radiación solar más intensa. Como señalan los autores, esto puede afectar tanto al virus directamente, como al producir una fotoquímica acelerada y una mayor producción de ozono a partir de elementos precursores⁹⁰. Esto se observó para las ciudades en las latitudes del norte, donde los contagios por COVID-19 se expandieron rápidamente durante el invierno de 2019-2020, mientras que en latitudes más al sur, que reciben alta radiación solar durante el mismo período, la inactivación viral fue relativamente más alta⁹¹; de hecho, en algunas ciudades chinas se observó que una radiación solar UV por debajo de 1,5 MJ/m² por día, favorece el aumento del número de casos de COVID-19⁹².

El efecto observado se puede explicar si consideramos que las radiaciones UV A (UVA) y B (UVB) producen alteraciones en los enlaces moleculares del ácido desoxirribonucleico (ADN) y ácido ribonucleico (ARN) que actúa como un desinfectante natural, por lo que, aunque la UVA y la UVB no pueden lograr la desinfección completa, podrían acortar la vida media de cualquier virus⁹³. De hecho, al analizar otros parámetros meteorológicos, como la relación de insolación y la nebulosidad, que están relacionados con la radiación solar, los resultados sugieren que la transmisión y el contagio por SARS-CoV-2 parecen haberse mejorado en radiación solar directa media a baja y cielos cubiertos⁹⁴. Adicionalmente, la radiación UV modula la inmunidad del huésped contra las infecciones virales, activando directamente la respuesta inmune innata y controlando la producción de vitamina D, que genera efectos inmunes positivos⁹⁵. En el mismo sentido, autores como Grant, et al.⁸⁸ han establecido que particularmente la estacionalidad de muchas infecciones virales como la infección por virus respiratorio sincitial (VSR) se asocia con concentraciones bajas de UVB debido al invierno en climas templados y la temporada de lluvias en climas tropicales. Estas bajas concentraciones de UVB también podrían verse correlacionadas con

otros factores ambientales como elevados niveles de ozono (O_3) atmosféricos, considerando que el ozono es el principal absorbente de la UVB en la luz solar, absorbiendo aproximadamente el 90% de la misma.

Así, el análisis del efecto de la radiación UV en la propagación de COVID-19 se asocia con el papel del O_3 , otro agente desinfectante natural inversamente relacionado con la transmisión ultravioleta, por lo que, en conjunto, estos factores pueden reducir drásticamente la capacidad de “supervivencia” del virus y, por lo tanto, su virulencia, haciéndolo menos capaz de producir efectos adversos graves en la infección aguda por el virus SARS-CoV-2⁹⁶.

Estudios individuales respecto a la concentración de ozono en relación con los casos de COVID-19, encontraron que los valores de las concentraciones promedio diarias de ozono a nivel del suelo se correlacionan positivamente con todos los casos de COVID-19^{72,89,97}; lo anterior dado su papel en la inducción de inflamación del sistema respiratorio y sistémico, tanto *in vitro* como *in vivo*⁹⁸. Al respecto, un estudio realizado con datos de 34 países mediante el estadístico de correlación de rango de Kendall reveló que por cada aumento de la unidad Dobson en la concentración de ozono, el número de casos por COVID-19 se eleva en aproximadamente más de 706 casos⁹⁶. Otros estudios incluso hablan de tasas de 4,76% de incremento en los recuentos diarios de casos confirmados⁹⁹.

En contraposición estudios proponen que el ozono puede actuar para contrarrestar/esterilizar la carga viral⁷⁸, al asociar cierto umbral de concentración de ozono (1 hora) con la reducción de la transmisión de COVID-19, por su actividad viricida y posible impacto en defensa del anfitrión. Específicamente, la exposición al ozono ambiental puede desencadenar reacciones alérgicas leves a los humanos, lo que podría mejorar la inmunidad innata pulmonar. La interleucina (IL) -33 inducida por la exposición al ozono, es capaz de activar las reacciones internas de células T, Th1 y CD8, lo que impulsa la inmunidad protectora contra infecciones virales; por ello el IL-33 se utiliza, así como adyuvante en las vacunas contra la gripe para estimular las inmuno-reacciones específicas de antígeno en entornos preclínicos¹⁰⁰.

En el caso colombiano, se espera que la radiación solar y el ozono en conjunto puedan contribuir a disminuir la progresión del virus. De hecho, al igual que en los datos de Fronza, et al.⁷⁸, en el análisis

realizado para la ciudad de Bogotá estos apuntan a una posible relación inversa entre la concentración de ozono (24 horas) y los niveles de ocupación de UCI, dado por el aumento de la ocupación de las UCIs y la disminución de las concentraciones de ozono como se observa en la **Figura 4**. Se necesitan más estudios para explorar la relación dosis-respuesta entre el ozono y la transmisibilidad y complicación por COVID-19 e inferir (si la hubiera) la dosis umbral de concentración de ozono, sin embargo, de acuerdo con lo encontrado en la literatura reciente, y lo observado para la ciudad de Bogotá durante la emergencia sanitaria, la persistencia viral estimada sugiere un papel ambiental para la concentración de ozono en el comportamiento de la pandemia por COVID-19⁸⁰.

Velocidad del viento y COVID-19/SARS-CoV-2

Con anterioridad se ha informado sobre la velocidad del viento como un factor crucial en la transmisión de enfermedades respiratorias, debido a la capacidad de modular la dinámica de la infección de diversos patógenos^{16,41,44,49,60,101,102}. Es así como esta variable climática se constituye en uno de los factores relevantes en la propagación, supervivencia y transmisión de agentes biológicos como los SARS-CoV^{28,103}, y a su vez considera las diferentes condiciones del aire y humedad con las cuales el efecto del viento podría jugar roles sinérgicos o antagónicos en el aumento de la infección.

En este apartado se analizaron estudios enfocados en la dinámica de la velocidad del viento y el número de contagios por SARS-CoV-2, registrados en Italia, Irán, Singapur y Turquía. En Italia se analizaron 55 ciudades con la mayor morbilidad y mortalidad hasta mayo de 2020, encontraron que el aspecto meteorológico más relevante fue la velocidad media del viento, además mostraron una correlación inversa y un efecto modulador de la infección por COVID-19; entre tanto, las velocidades del viento altas (>9 km/h) reflejaron un menor número de casos y muertes por COVID-19, mientras las velocidades del viento bajas (<9 km/h) registraron mayores casos y muertes por COVID-19¹⁰⁴. Con base en lo anterior, varios estudios concuerdan con que una mayor velocidad del viento disminuye el riesgo de infección por SARS-CoV-2^{16,41,44,49,60,89,102,105,106}. En ese sentido, estudios en América Latina y el Caribe sugieren que una mayor velocidad del viento limpia el aire de contaminantes asociados con las posibles dinámicas de transmisión de la infectividad viral, lo que demuestra que existe una correlación negativa entre la velocidad del viento y los casos de COVID-19. Sin

embargo, en varios países se obtuvieron resultados que ofrecen un mejor panorama sobre la existencia de un efecto sinérgico entre las variables^{98,107}.

En Colombia no se han reportado estudios relacionados de esta variable y su relación con el virus SARS-CoV-2, en consecuencia, se requieren investigaciones que asocien la velocidad del viento con la propagación de SARS-CoV-2 y el comportamiento de COVID-19 en el país.

Aguas residuales y COVID-19/SARS-CoV-2

La pandemia por COVID-19 ha sido una de las crisis sanitarias mayormente documentada a raíz del monitoreo de los factores meteorológicos, ambientales y epidemiológicos. Estudios clínicos han informado que los síntomas de los pacientes con COVID-19 incluyen principalmente tos, fiebre, dificultad para respirar y diarrea¹⁰⁸. Diversas investigaciones han detectado el ácido ribonucleico (ARN) del SARS-CoV-2 en las heces fecales de pacientes sintomáticos y asintomáticos^{109,122}. Aunque las rutas principales de la transmisión del SARS-CoV-2 involucran gotas respiratorias y contacto directo, la infección a través de la materia fecal representa un riesgo para salud^{108,121}. La presencia del virus SARS-CoV-2 en el tracto gastrointestinal plantea serias preocupaciones sobre la infección por COVID-19¹¹⁰. Sin embargo, se conocen pocas investigaciones donde se realice un abordaje de las aguas residuales como un factor potencial asociado a la propagación y transmisión de este virus.

Al inicio de la pandemia, el estudio de Chen, et al.¹⁵ reportó que más del 60% de los pacientes con COVID-19 en el Hospital Zhongnan de la Universidad de Wuhan, dieron positivo para el ARN del SARS-CoV-2 en muestras de heces fecales; sin embargo, la eliminación del virus mediante las heces fue de 7-10 días, después de la conversión negativa del ARN viral en el tracto respiratorio, es decir, se obtuvieron resultados positivos en muestras de heces, aun cuando se presentaban resultados negativos en muestras de hisopos faríngeos. Posteriormente, en los Países Bajos se informó que la eliminación del virus SARS-CoV-2 en las heces fecales de los casos con síntomas leves o severos se da mayormente en las semanas tres y cuatro, que en la semana dos de la infección¹¹¹. Consecuentemente estos estudios generaron una preocupación mayor relacionada con una posible ruta de transmisión fecal-oral, en la que la disposición de aguas residuales

proveniente de centros hospitalarios y domiciliarios con pacientes con COVID-19 representa también una fuente de transmisión.

Los estudios analizados en esta revisión indican que los primeros reportes SARS-CoV-2 en aguas residuales sin tratar, fueron realizados en Italia y España, con un 50% y 80% respectivamente, mostrando resultados positivos^{113,104}. Así mismo, en Australia, el 22% de las muestras de aguas residuales analizadas en eventos de muestreo separados fueron positivas para SARS-CoV-2, este estudio encontró una prevalencia de infección del 0,096%⁹. Simultáneamente, las aguas residuales humanas recolectadas en el aeropuerto de Amsterdam Schiphol, resultaron positivas para el ARN del virus SARS-CoV-2¹¹⁴, igualmente investigaciones realizadas en varias plantas de tratamiento de agua residuales en los países bajos reportaron la presencia del virus¹¹².

En países densamente poblados como la India, donde más del 60% de las aguas residuales actualmente no se tratan, incluso en áreas urbanas, las posibilidades de contaminación de los cuerpos de agua se consideran rutas alternativas para la transmisión de SARS-CoV-2¹³. Por su parte en este mismo país durante el período de bloqueo/cuarentena la presencia de las partículas fueron más bajas que las del período previo al bloqueo en un 15,9% en promedio (-10,3% -36,4%)¹¹⁵. Sin embargo, la falta de un protocolo optimizado y estandarizado sobre la detección y cuantificación en muestras de aguas residuales, son algunas de las limitantes para la evaluación cuantitativa del riesgo microbiano de las vías de exposición al SARS-CoV-2^{104,116}.

Pese a las limitaciones, la implementación de protocolos sujetos a la Epidemiología Basada en Residuos (WBE) se ha utilizado con éxito para rastrear y proporcionar advertencias tempranas de brotes de virus patógenos como Hepatitis A, Poliovirus y Norovirus, con anterioridad^{117,118}, esta propuesta adquiere importancia en torno a la actual pandemia para mitigar los brotes de COVID-19, probablemente pueda minimizar los impactos negativos sobre la salud humana¹¹⁹.

Actualmente en América Latina no se han implementado este tipo de técnicas para la detención del virus SARS-CoV-2; en Colombia las investigaciones enmarcadas en esta temática han tenido un reciente inicio; pero son nulas las publicaciones en el tema, extendiendo la invitación a realizar estudios pioneros en esta área sanitaria que permitan fortalecer las posibles asociaciones de las variables ambientales y el comportamiento del virus SARS-CoV-2.

Relación de la eliminación de hábitat y biodiversidad con COVID-19/SARS-CoV-2

Los estudios sobre la pérdida de hábitat y biodiversidad han sido ampliamente discutidos en torno a la pandemia por COVID-19. Así mismo, la salud de los ecosistemas se ha relacionado como un factor clave en la salud humana. En consecuencia, la mayor parte de las publicaciones encontradas, resaltan las implicaciones de la pandemia sobre la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad a nivel global, así mismo, se refleja el estado actualmente del tema en Colombia, como un factor de riesgo para salud.

Las investigaciones de los últimos años sugieren que todos los coronavirus (CoV) conocidos se han detectado en animales^{120,121}. El origen de SARS-CoV-2 se ha relacionado estrechamente con murciélagos debido a la similitud con los CoV que se encuentran en estas especies^{122,123}. De igual modo, con otros animales como los pangolines de Malasia, especie categorizada en peligro de extinción¹²⁴. Pese a la evidencia y el esfuerzo de muchas investigaciones por explicar el origen del SARS-CoV-2, no se ha identificado un animal en particular que cumpla el rol de huésped intermedio de SARS-CoV-2^{125,126}.

Gran parte de los estudios revisados asocian la presencia del SARS-CoV-2 en animales con el potencial de transmisión de enfermedades y el impacto sobre la dinámica de los ecosistemas¹²⁷⁻¹²⁹. Análisis recientes revelan que una importante proporción del virus se asocia a murciélagos¹³⁰. Aunque estas especies estén mayormente vinculadas a virus de tipo “cosmopolitas” con amplias tasas de transmisión, otros grupos no deben excluirse como posibles huéspedes. Johnson, et al. estimaron que el 75,8% de los mamíferos, particularmente roedores, murciélagos y primates han sido implicados como reservorios de patógenos zoonóticos¹³¹.

Los análisis realizados en poblaciones de murciélagos sugieren que estas especies exhiben respuestas complejas a la fragmentación de su hábitat natural, recientemente Willig, et al. reportaron la susceptibilidad de estas especies en ecosistemas intervenidos en los bosques Amazónicos. Esta variación probablemente esté relacionada con los diferentes contextos del paisaje en los que se han generado procesos de conversión y sucesión ecológica¹³². Estudios similares resaltan que la pérdida de hábitat tiene impactos negativos en la riqueza de especies, no solo de murciélagos, sino de todas las especies dependientes de los bosques, por ello se ha considerado como la causa principal de la pérdida

de la biodiversidad en todo el mundo^{128,133}. Los efectos negativos de la fragmentación del hábitat son evidentes no solo en paisajes de áreas reducida, sino también en paisajes con una gran cantidad de hábitat¹³⁴. A nivel mundial al menos el 1,7% de las especies de vertebrados terrestres están al borde de extinción debido a la pérdida de hábitat natural, la mayoría de las especies son de América del Sur, seguidas de Oceanía y Asia¹³⁵.

Los ecosistemas producen una amplia diversidad de servicios, lo que genera una dinámica que se ve representada en los beneficios que ofrecen para apoyar la vida y la salud humana. Estos servicios van desde la disponibilidad de agua y alimentos suficientes hasta la regulación de vectores de enfermedades zoonóticas¹³³. Se ha informado que una alta diversidad ejerce un “efecto de dilución” sobre poblaciones que son reservorios de enfermedades y desempeñan una reducción de los riesgos de transferencia de patógenos^{128,136}. Sin embargo, en hábitats fragmentados, Zohdy, et al. han planteado la existencia de un “efecto de coevolución”, en los cuales las poblaciones funcionan en paralelo y actúan como “motores evolutivos” que aumentan la diversidad de patógenos en un paisaje degradado¹³⁷. En este sentido ambas hipótesis han sugerido que la disminución de los hábitats y la pérdida de biodiversidad producen condiciones favorables para huéspedes, vectores y patógenos, asociados con enfermedades infecciosas emergentes.

La propagación de patógenos ha incrementado con los cambios antropogénicos sobre el uso del suelo¹³⁸, Rohr, et al. han expuesto que los impulsores agrícolas se han asociado aproximadamente con el 25% de las enfermedades zoonóticas que han surgido en humanos, proporciones que probablemente aumentarán a medida que la agricultura, la ganadería y otras actividades se expandan e intensifiquen¹³⁹. Un estudio realizado en África encontró que los pastores por su forma de vida tienen una estrecha proximidad con el ganado y/o rebaños, lo que representa un alto riesgo de exposición a enfermedades zoonóticas en estas poblaciones¹³⁶.

Del mismo modo, en América Latina también se han documentado los impactos ecosistémicos en la aparición de las enfermedades infecciosas y la salud pública. Ellwanger, et al. identificaron una serie de presiones que contribuyen a la propagación de este tipo de infecciones en la Amazonia, y destaca la pérdida de hábitat por deforestación como el principal factor de la propagación de patógenos, seguido de la intensificación agrícola, la minería, el comercio y consumo de carne de

animales silvestres, entre otros¹⁴⁰. En Colombia al igual que el resto del mundo, las presiones sobre los hábitats y la biodiversidad han sido continuas desde antes de la pandemia por COVID-19. Correa, et al. recientemente revelaron que las áreas naturales del país se redujeron a menos de la mitad del territorio nacional entre 1970-2015, este estudio encontró que las regiones con los niveles más altos de impacto fueron la región Andina y Caribe, y han permanecido estables en el tiempo. Los nuevos puntos críticos se presentaron principalmente en la región de la Amazonia, como consecuencia de la alta densidad poblacional, la expansión de tierras agrícolas, la ganadería y la deforestación¹⁰. Esta última ha sido una de las presiones más frecuente¹⁴¹. Cabe destacar que los incendios de agosto de 2019 en esta región generaron un deterioro considerable del hábitat y una pérdida importante de los servicios ecosistémicos. Estos hechos también pueden explicar cómo la pandemia por COVID-19 ha mostrado la vulnerabilidad de muchas comunidades, en regiones donde existe mayor deforestación.

Ante esta realidad a nivel nacional, la degradación de los ecosistemas representa una reducción de los recursos naturales¹²⁸. Recientemente, Corlett, et al. han informado que la falta de movilidad y el confinamiento han aumentado el desempleo y la inseguridad económica en diversos lugares del mundo, lo que posiblemente se asocia con el aumento en la búsqueda de vida silvestre como fuente de alimentación, generando impactos negativos en el medio ambiente¹⁴². Así mismo, Bates, et al. destacan que este tipo de actividades durante la pandemia representan amenazas para la biodiversidad¹⁴³. En general los estudios analizados coinciden, en que la pérdida de hábitat y biodiversidad son factores que contribuyen a crear “zonas de riesgo”, en donde se incrementa la probabilidad de la propagación de patógenos emergentes como el SARS-CoV-2.

Conclusiones

Pese a la creciente evidencia científica a nivel mundial, que establece el vínculo entre la infección por SARS-CoV-2 y diversas variables meteorológicas como temperatura, humedad, niveles de $PM_{2.5}$, O_3 , NO , NO_2 y CO , radiación solar, velocidad del viento, disposición de aguas residuales y eliminación del hábitat de animales silvestres. Estas hipótesis son aún motivo de discusión y merecen algunos comentarios finales si se considera el sin número de posibles factores de confusión existentes. Se demostró mediante la revisión sistemática y el análisis ecológico que posiblemente el aumento de la temperatura en $1\text{ }^{\circ}C$ y de la humedad relativa en 1% , disminuye la propagación del virus SARS-CoV-2.

La calidad del aire es una compleja matriz con numerosos factores asociados que son difíciles de monitorear adecuadamente y de forma conjunta. Algunos aspectos moduladores individuales y poblacionales como la proximidad de las áreas de alto contagio a áreas de tráfico, y de desechos peligrosos^{81,144,145}, las exposiciones ocupacionales individuales, hábitos de consumo de cigarrillo, la etnia, el ingreso per cápita, la obesidad, la disponibilidad de áreas Urban Green¹⁴⁶ y el acceso a servicios de salud, son escasamente considerados en la mayoría de los estudios.

La persistencia viral sugiere un papel ambiental tanto para la concentración de ozono, como para la radiación UV solar en el comportamiento de la pandemia por COVID-19, estos parámetros ocasionan una reducción drástica de la capacidad de “supervivencia” del virus y, por lo tanto, su virulencia, y lo hace menos capaz de producir efectos adversos graves en la infección aguda por el virus SARS-CoV-2.

Así mismo, la velocidad del viento puede tener un efecto de barrido, donde probablemente a una baja velocidad del viento, representa una mayor capacidad de contagio; caso contrario a una mayor velocidad de este, menor capacidad de contagio por virus SARS-CoV-2.

Por otro lado, se han analizado detecciones del virus SARS-CoV-2 en el tracto gastrointestinal, en las heces fecales, aguas residuales, plantas de tratamientos en diferentes países, aun así, son escasas las investigaciones de este tema a nivel internacionales y en Colombia.

Entre tanto, la pérdida de hábitat y biodiversidad es consecuencia principalmente de la deforestación, el desarrollo agrícola, la urbanización y el comercio ilegal de vida silvestre, estos su vez son factores comúnmente citados en la aparición y propagación del SARS-CoV-2.

Por último, dado que los procedimientos de notificación e identificación de positivos se pueden complicar por un cierto lapso de tiempo (como ocurre en Colombia, donde las pruebas diagnósticas pueden presentar atrasos hasta de 10 días), es posible que el día de notificación quede fuera del lapso de tiempo de la infección real (es decir, del inicio de síntomas), con consecuencias adicionales en los análisis¹⁴⁷. Con esta situación en particular, el establecimiento de condiciones ambientales con influencia clara sobre las tasas de infección y muertes se convierte en un trabajo desafiante.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés reales o potenciales sobre el trabajo desarrollado o los resultados obtenidos.

Referencias

1. Wu F, Zhao S, Chen YM, Wang W, Song ZG, Hu Y, et al. A new coronavirus associated with human respiratory disease in China. *Nature*. 2020; 579(7798): 265-269. doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2008-3>
2. Méndez-Arriaga F. The temperature and regional climate effects on communitarian COVID-19 contagion in Mexico throughout phase I. *Sci Total Environ*. 2020; 735: 139560-139560. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139560>
3. Rohit A, Rajasekaran S, Karunasagar I, Karunasagar I. Fate of respiratory droplets in tropical vs temperate environments and implications for SARS-CoV-2 transmission. *Med Hypotheses*. 2020; 144: 109958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2020.109958>
4. Runkle JD, Sugg MM, Leeper RD, Rao Y, Matthews JL, Rennie JJ. Short-term effects of specific humidity and temperature on COVID-19 morbidity in select US cities. *Sci Total Environ*. 2020; 740: 140093. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140093>
5. Shahzad F, Shahzad U, Fareed Z, Iqbal N, Hashmi SH, Ahmad F. Asymmetric nexus between temperature and COVID-19 in the top ten affected provinces of China: A current application of quantile-on-quantile approach. *Sci Total Environ*. 2020; 736: 139115. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139115>
6. Yuan S, Jiang SC, Li ZL. Do Humidity and Temperature Impact the Spread of the Novel Coronavirus? *Frontiers in Public Health*. 2020; 8: 240-240. doi: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00240>
7. Scafetta, N. Distribution of the SARS-CoV-2 Pandemic and Its Monthly Forecast Based on Seasonal Climate Patterns. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17(10): 3493. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17103493>
8. Shi P, Dong Y, Yan H, Zhao C, Li X, Liu W, et al. Impact of temperature on the dynamics of the COVID-19 outbreak in China. *Sci Total Environ*. 2020; 728: 138890-138890. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138890>
9. Ahmed W, Angel N, Edson J, Bibby K, Bivins A, O'Brien JW, et al. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Sci Total Environ*. 2020; 728: 138764-138764. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>
10. Correa Ayram CA, Etter A, Díaz-Timoté J, Rodríguez Buriticá S, Ramírez W, Corzo G. Spatiotemporal evaluation of the human footprint in Colombia: Four decades of anthropic impact in highly biodiverse ecosystems. *Eco Indicators*. 2020; 117: 106630. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106630>
11. Lal P, Kumar A, Kumar S, Kumari S, Saikia P, Dayanandan A, et al. The dark cloud with a silver lining: Assessing the impact of the SARS COVID-19 pandemic on the global environment. *Sci Total Environ*. 2020; 732: 139297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139297>
12. Liu, J, Zhou J, Yao J, Zhang X, Li L, Xu X, et al. Impact of meteorological factors on the COVID-19 transmission: A multi-city study in China. *Sci Total Environ*. 2020; 726: 138513. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138513>
13. Bhowmick GD, Dhar D, Nath D, Ghangrekar MM, Banerjee R, Das S, et al. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak: some serious consequences with urban and rural water cycle. *npj Clean Water*. 2020; 3(1): 32-32. doi: <https://doi.org/10.1038/s41545-020-0079-1>
14. 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: 109775-109775. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109775>
15. Chen Y, Chen L, Deng Q, Zhang G, Wu K, Ni L, et al. The presence of SARS-CoV-2 RNA in the feces of COVID-19 patients. *J Med Virol*. 2020; 92(7): 833-840. doi: <https://doi.org/10.1002/jmv.25825>
16. Ahmadi M, Sharifi A, Dorosti S, Ghouschi SJ, Ghanbari N. Investigation of effective climatology parameters on COVID-19 outbreak in Iran. *Sci Total Environ*. 2020; 729: 138705-138705. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138705>
17. Chien LC, Chen LW. Meteorological impacts on the incidence of COVID-19 in the U.S. *Stoch Environ Res Risk Assess*. 2020; 34: 1675-1680. doi: <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01835-8>

18. Coro G. A global-scale ecological niche model to predict SARS-CoV-2 coronavirus infection rate. *Ecol Modell.* 2020; 431: 109187-109187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109187>
19. de Ángel Solá DE, Wang L, Vázquez M, Méndez-Lázaro PA. Weathering the pandemic: How the Caribbean Basin can use viral and environmental patterns to predict, prepare, and respond to COVID-19. *J Med Virol.* 2020: 1460-1468. doi: <https://doi.org/10.1002/jmv.25864>
20. Del Rio C, Camacho-Ortiz A. Will environmental changes in temperature affect the course of COVID-19? *The Braz J Infect Dis.* 2020; 24(3): 261-263. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bjid.2020.04.007>
21. Demongeot J, Flet-Berliac Y, Seligmann H. Temperature Decreases Spread Parameters of the New Covid-19 Case Dynamics. *Biology.* 2020; 9(5): 94-94. doi: <https://doi.org/103390/biology9050094>
22. Harmooshi NN, Shirbandi K, Rahim F. Environmental concern regarding the effect of humidity and temperature on 2019-nCoV survival: fact or fiction. *Environ Sci Poll Res Int.* 2020; 27(29): 36027-36036. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09733-w>
23. Holtmann M, Jones M, Shah A, Holtmann G. Low ambient temperatures are associated with more rapid spread of COVID-19 in the early phase of the endemic. *Environ Res.* 2020; 186: 109625. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109625>
24. Huang Z, Huang J, Gu Q, Du P, Liang H, Dong Q. Optimal temperature zone for the dispersal of COVID-19. *Science of the Total Environment.* 2020; 736: 139487. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139487>
25. 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 Quality Res.* 2020; 1520-1529. doi: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.05.0218>
26. Tobias A, Molina T. Is temperature reducing the transmission of COVID-19? *Environ Res.* 2020; 186: 109553. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109553>
27. Tosepu R, Gunawan J, Effendy DS, Imran Ahmad LOA, Lestari H, Bahar H, et al. Correlation between weather and Covid-19 pandemic in Jakarta, Indonesia. *Sci Total Environ.* 2020; 725: 138436. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138436>
28. Menebo MM. Temperature and precipitation associate with Covid-19 new daily cases: A correlation study between weather and Covid-19 pandemic in Oslo, Norway. *Sci Total Environ.* 2020; 737: 139659. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139659>
29. Briz-Redón Á, Serrano-Aroca Á. A spatio-temporal analysis for exploring the effect of temperature on COVID-19 early evolution in Spain. *Sci Total Environ.* 2020; 728: 138811. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138811>
30. Byass P. Eco-epidemiological assessment of the COVID-19 epidemic in China, January–February 2020. *Glob Health Action.* 2020; 13(1): 1760490-1760490. doi: <https://doi.org/10.1080/16549716.2020.1760490>
31. Goswami K, Bharali S, Hazarika J. Projections for COVID-19 pandemic in India and effect of temperature and humidity. *Diabetes Metab Syndr.* 2020; 14(5): 801-805. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.05.045>
32. Jahangiri M, Jahangiri M, Najafgholipourb M. The sensitivity and specificity analyses of ambient temperature and population size on the transmission rate of the novel coronavirus (COVID-19) in different provinces of Iran. *Sci Total Environ.* 2020; 728: 138872. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138872>
33. Kumar M, Taki K, Gahlot R, Sharma A, Dhangar K. A chronicle of SARS-CoV-2: Part-I - Epidemiology, diagnosis, prognosis, transmission and treatment. *Sci Total Environ.* 2020; 734: 139278. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139278>
34. Xie J, Zhu Y. Association between ambient temperature and COVID-19 infection in 122 cities from China. *Science of the Total Environment.* 2020; 724: 138201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138201>
35. Yao Y, Pan J, Liu Z, Meng X, Wang W, Kan H, et al. No association of COVID-19 transmission with temperature or UV radiation in Chinese cities. *Eur Respir J.* 2020; 55. doi: <https://doi.org/10.1183/13993003.00517-2020>
36. Feng Y, Marchal T, Sperry T, Yi H. Influence of wind and relative humidity on the social distancing effectiveness to prevent COVID-19 airborne transmission: A numerical study. *J Aerosol Sci.* 2020; 147: 105585. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105585>

37. Iqbal N, Fareed Z, Shahzad F, He X, Shahzad U, Lina M. The nexus between COVID-19, temperature and exchange rate in Wuhan city: New findings from partial and multiple wavelet coherence. *Sci Total Environ.* 2020; 729: 138916. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138916>
38. Benedetti F, Pachetti M, Marini B, Ippodrino R, Gallo RC, Ciccozzi M, et al. Inverse correlation between average monthly high temperatures and COVID-19-related death rates in different geographical areas. *J Transl Med.* 2020; 18: 251. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-29039/v1>
39. Cimolai N. Environmental and decontamination issues for human coronaviruses and their potential surrogates. *J Med Virol.* 2020; 92(11): 2498-2510. doi: <https://doi.org/10.1002/jmv.26170>
40. Pirouz B, Haghshenas SS, Pirouz B, Haghshenas SS, Piro P. Development of an assessment method for investigating the impact of climate and urban parameters in confirmed cases of COVID-19: A New Challenge in Sustainable Development. *Int J Environ Res Public Health.* 2020; 17(8): 2801. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17082801>
41. Rosario DKA, Mutz YS, Bernardes PC, Conte-Junior C. Relationship between COVID-19 and weather: Case study in a tropical country. *Int J Environ Res Public Health.* 2020; 229: 113587-113587. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113587>
42. Sajadi MM, Habibzadeh P, Vintzileos A, Shokouhi S, Miralles-Wilhelm F, Amoroso A. Temperature, humidity, and latitude analysis to estimate potential spread and seasonality of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *JAMA Netw Open.* 2020; 3(6): e2011834-e2011834. doi: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.11834>
43. Meraj G, Farooq M, Singh SK, Romshoo SA, Sudhanshu, Nathawat MS, et al. Coronavirus pandemic versus temperature in the context of Indian subcontinent: a preliminary statistical analysis. *Environ Dev Sustain.* 2020; 23: 6524-6534. doi: <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00854-3>
44. Pani SK, Lin NH, RavindraBabu S. Association of COVID-19 pandemic with meteorological parameters over Singapore. *Sci Total Environ.* 2020; 740: 140112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140112>
45. Mandal CC, Panwar MS. Can the summer temperatures reduce COVID-19 cases? *Public Health.* 2020; 185: 72-79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2020.05.065>
46. Paital B. Nurture to nature via COVID-19, a self-regenerating environmental strategy of environment in global context. *Sci Total Environ.* 2020; 729: 139088. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139088>
47. Ujiie M, Tsuzuki S, Ohmagari N. Effect of temperature on the infectivity of COVID-19. *International Journal of Infectious Diseases.* 2020; 95: 301-303. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.04.068>
48. 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. *Science of the Total Environment.* 2020; 731: 139211. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139211>
49. Zhu L, Liu X, Huang H, Avellán-Llaguno RD, Llaguno Lazo MM, Gaggeri A, et al. Meteorological impact on the COVID-19 pandemic: A study across eight severely affected regions in South America. *Sci Total Environ.* 2020; 744: 140881. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140881>
50. Eslami H, Jalili M. The role of environmental factors to transmission of SARS-CoV-2 (COVID-19). *AMB Express.* 2020; 10: 92. doi: <https://doi.org/10.1186/s13568-020-01028-0>
51. Wang J, Tang K, Fneg K, Lin X, Lv W, Chen K, et al. Impact of temperature and relative humidity on the transmission of COVID-19: A modeling study in China and the United States. *SSRN Electronic Journal.* 2020; 11(2): e043863. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3551767>
52. Livadiotis G. Statistical analysis of the impact of environmental temperature on the exponential growth rate of cases infected by COVID-19. *PLOS ONE.* 2020; 15(5): e0233875. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233875>
53. Ozyigit A. Understanding Covid-19 transmission: The effect of temperature and health behavior on transmission rates. *Infect Dis Health.* 2020; 25(4): 233-238. doi: <https://doi.org/10.1016/j.idh.2020.07.001>
54. Prata DN, Rodrigues W, Bermejo PH. Temperature significantly changes COVID-19 transmission in (sub)tropical cities of Brazil. *Sci Total Environ.* 2020; 729: 138862. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138862>
55. Biktasheva IV. Role of a habitat's air humidity in Covid-19 mortality. *Sci Total Environ.* 2020; 736: 138763. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138763>

56. Fareed Z, Iqbal N, Shahzad F, Shah SGM, Zulfiqar B, Shahzad K, et al. Co-variance nexus between COVID-19 mortality, humidity, and air quality index in Wuhan, China: New insights from partial and multiple wavelet coherence. *Air Qual Atmos Health*. 2020; 13(6): 673-682. doi: <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00847-1>
57. Sobral MFF, Duarte GB, da Penha Sobral AIG, Marinho MLM, de Souza Melo A, et al. Association between climate variables and global transmission of SARS-CoV-2. *Sci Total Environ*. 2020; 729: 138997. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138997>
58. Qi H, Xiao S, Shi R, Ward MP, Chen Y, Tu W, et al. COVID-19 transmission in Mainland China is associated with temperature and humidity: A time-series analysis. *Sci Total Environ*. 2020; 728: 138778. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138778>
59. Ward MP, Xiao S, Shi R, Ward MP, Chen Y, Tu W, et al. The role of climate during the COVID-19 epidemic in New South Wales, Australia. *Transbound Emerg Dis*. 2020; 728: 138778. doi: <https://doi.org/10.1111/tbed.13631>
60. Wu Y, Jing W, Liu J, Ma Q, Yuan J, Wang Y, et al. Effects of temperature and humidity on the daily new cases and new deaths of COVID-19 in 166 countries. *Sci Total Environ*. 2020; 729: 139051. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139051>
61. World Health Organization. Modes of Transmission of Virus Causing COVID-19: Implications for IPC Precaution Recommendations. 2020.
62. Tsatsakis A, Petrakis D, Nikolouzakis TK, Docea AO, Calina D, Vinceti M, et al. COVID-19, an opportunity to reevaluate the correlation between long-term effects of anthropogenic pollutants on viral epidemic/pandemic events and prevalence. *Food Chem Toxicol*. 2020; 141: 111418. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111418>
63. Frontera A, Cianfanelli L, Vlachos J, Landoni G, Cremona G. Severe air pollution links to higher mortality in COVID-19 patients: The “double-hit” hypothesis. *J Infect*. 2020; 81(2): 255-259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.05.031>
64. Lin CI, Tsai CH, Sun YL, Hsieh WY, Lin YC, Chen CY, et al. Instillation of particulate matter 2.5 induced acute lung injury and attenuated the injury recovery in ACE2 knockout mice. *Int J Biol Sci*. 2018; 14(3): 253-265. doi: <https://doi.org/10.7150/ijbs.23489>
65. Frontera A, Martin C, Vlachos K, Sgubin G. Regional air pollution persistence links to COVID-19 infection zoning. *J Infect*. 2020 81(2): 318-356. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.03.045>
66. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109754>
67. Italian Society of Environmental Medicine (SIMA). Position Paper Particulate Matter and COVID-19. 2020.
68. Setti L, Passarini F, De Gennaro G, Barbieri P, Pallavicini A, Ruscio M, et al. Searching for SARS-COV-2 on particulate matter: A possible early indicator of COVID-19 epidemic recurrence. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17(9): 2986-2986. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17092986>
69. Epicentro (Epidemiología para la salud pública - ISS). Sorveglianza integrata COVID-19: i principali dati nazionali. 2020.
70. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114465>
71. Delnevo G, Mirri S, Rocchetti M. Particulate matter and COVID-19 disease diffusion in Emilia-Romagna (Italy). Already a cold case? *Computation*. 2020; 8(2): 59. doi: <https://doi.org/10.3390/computation8020059>
72. Fattorini D, Regoli F. Role of the chronic air pollution levels in the Covid-19 outbreak risk in Italy. *Environ Pollut*. 2020; 264: 114732. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114732>
73. Setti L. Evaluation of the potential relationship between Particulate Matter (PM) pollution and COVID-19 infection spread in Italy. University of Bologna; University of Bari. 2020.
74. 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. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17082932>

75. van Doremalen N, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, Tamin A, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med.* 2020; 382(16): 1564-1567. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
76. Milling A, Kehr R, Wulf A, Smalla K. Survival of bacteria on wood and plastic particles: Dependence on wood species and environmental conditions. *Holzforschung.* 2005; 59(1): 72-81. doi: <https://doi.org/10.1515/HF.2005.012>
77. Wu X, Nethery RC, Sabath MB, Braun D, Dominici F. Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study. *medRxiv Preprint.* 2020. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20054502>
78. Fronza R, Lusic M, Schimidt M, Lucic B. Spatial–Temporal Variations in Atmospheric Factors Contribute to SARS-CoV-2 Outbreak. *Viruses.* 2020; 12(6): 588. doi: <https://doi.org/10.3390/v12060588>
79. Jiang Y, Wu XJ, Guan YJ. Effect of ambient air pollutants and meteorological variables on COVID-19 incidence. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2020; 41(9): 1011-1015. doi: <https://doi.org/10.1017/ice.2020.222>
80. Adhikari A, Yin J. Short-term effects of ambient ozone, PM_{2.5}, and meteorological factors on COVID-19 confirmed cases and deaths in Queens, New York. *Int J Environ Res Public Health.* 2020; 17(11): 4047. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17114047>
81. Rodriguez-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.* 2021 756: 144020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144020>
82. Li H, Xu XL, Dai DW, Huang ZY, Ma Z, Guan YJ. Air pollution and temperature are associated with increased COVID-19 incidence: A time series study. *Int J Infect Dis.* 2020; 97: 278-282. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.05.076>
83. Sasidharan M, Singh A, Torbaghan ME, Parlikad AK. A vulnerability-based approach to human-mobility reduction for countering COVID-19 transmission in London while considering local air quality. *Sci Total Environ.* 2020; 741: 140515. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140515>
84. Liang D, Shi L, Zhao J, Liu O, Schwartz J, Gao S, et al. Urban Air Pollution May Enhance COVID-19 Case-Fatality and Mortality Rates in the United States. *medRxiv Preprint.* 2020. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.05.04.20090746>
85. Eum KD, Kazemiparkouhi F, Wang B, Manjourides J, Pun V, Pavlu V, et al. Long-term NO₂ exposures and cause-specific mortality in American older adults. *Environ Int.* 2019; 124: 10-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.060>
86. Lippmann M, Leikauf GD. *Environmental Toxicants: Human Exposures and Their Health effects*, 4th edition. United States: Wiley Press, 2020. p. 455-486. ISBN: 978-1-119-43880-9
87. Seyer A, Sanlidag T. Solar ultraviolet radiation sensitivity of SARS-CoV-2. *The Lancet Microbe.* 2020; 1(1): e8-e9. doi: [https://doi.org/10.1016/s2666-5247\(20\)30013-6](https://doi.org/10.1016/s2666-5247(20)30013-6)
88. Grant WB, Lahore H, McDonnell SL, Baggerly CA, French CB, Aliano JL, et al. Evidence that vitamin d supplementation could reduce risk of influenza and covid-19 infections and deaths. *Nutrients.* 2020; 12(4): 988. doi: <https://doi.org/10.3390/nu12040988>
89. 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: 140005. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140005>
90. Semple JL, Moore GWK. High levels of ambient ozone (O₃) may impact COVID-19 in high altitude mountain environments. *Resp Physio Neurobiol.* 2020; 280: 103487. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resp.2020.103487>
91. Sagripanti JL, Lytle CD. Estimated inactivation of coronaviruses by solar radiation with special reference to COVID-19. *Photochem Photobiol.* 2020; 96(4): 731-737. doi: <https://doi.org/10.1111/php.13293>
92. Wen X, Liu C, Cao B, Wang S, Zhang Y, Zhong R. Relationship between the COVID-19 Outbreak and Temperature, Humidity, and Solar Radiation Across China. *SSRN Elect J.* 2020. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3594115>
93. Arias-Reyes C, Zubieta-DeUrioste N, Poma-Machicao L, Aliaga-Raduan F, Carvajal-Rodriguez F, Dutschmann M, et al. Does the pathogenesis of SARS-CoV-2 virus decrease at high-altitude? *Respir Physiol Neurobiol.* 2020; 277: 103443. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resp.2020.103443>

94. Mendonça F, Anjos M, Collischonn E, Murara P, Limberger L, Nascimento L, et al. Climate and Covid-19-Upgrade and solar radiation influences based on Brazil cases. *Res Square*. 2020; doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-32885/v1>
95. Abhimanyu, Coussens AK. The role of UV radiation and Vitamin D in the seasonality and outcomes of infectious disease. *Photochem Photobiol Sci*. 2017; 16(3): 314-338. doi: <https://doi.org/10.1039/c6pp00355a>
96. Alipio M. Do Latitude and Ozone concentration predict COVID-2019 cases in 34 Countries? *SSRN Elect J* 2020. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3572114>
97. Travaglio M, Yu Y, Popovic R, Selley L, Leal NS, Martins LM. Links between air pollution and COVID-19 in England. *medRxiv Preprint*. 2020. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.16.20067405>
98. Bolaño-Ortiz TR, Camargo-Caicedo 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; 191: 109938. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109938>
99. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704>
100. Ran J, Zhao S, Han L, Chen D, Yang L, Wang MH, et al. The ambient ozone and COVID-19 transmissibility in China: A data-driven ecological study of 154 cities. *J Infect*. 2020; 81(3): e9-e11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.07.011>
101. Ellwanger JH, Chies JAB. Wind: A neglected factor in the spread of infectious diseases. *Lancet Planet Health*. 2018; 2(11): e475-e475. doi: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30238-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30238-9)
102. Al-Rousan N Al-Najjar H. The correlation between the spread of COVID-19 infections and weather variables in 30 Chinese provinces and the impact of Chinese government mitigation plans. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2020; 24(8): 4565-4571. doi: https://doi.org/10.26355/eurrev_202004_21042
103. Yuan J, Yun H, Lan W, Wang W, Sullivan SG, Jia S, et al. A climatologic investigation of the SARS-CoV outbreak in Beijing, China. *Am J Infect Control*. 2006; 34(4): 234-236. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2005.12.006>
104. Randazzo W, Truchado P, Cuevas-Ferrando E, Simón P, Allende A, Sánchez G. SARS-CoV-2 RNA in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence area. *Water Res*. 2020; 181: 115942. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115942>
105. 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: 140244. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.14024>
106. 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: 139825. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139825>
107. Coccia, M. Factors determining the diffusion of COVID-19 and suggested strategy to prevent future accelerated viral infectivity similar to COVID. *Sci Total Environ*. 2020; 729: 138474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138474>
108. Gao QY, Chen YX, Fang JY. 2019 Novel coronavirus infection and gastrointestinal tract. *J Dig Dis*. 2020; 21(3): 125-126. doi: <https://doi.org/10.1111/1751-2980.12851>
109. Nghiem LD, Morgan B, Donner E, Short MD. The COVID-19 pandemic: Considerations for the waste and wastewater services sector. *Case Studies Chem Environ Enginee*. 2020; 1: 100006. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100006>
110. Lee IC, Hou TI, Huang YH. Gastrointestinal and liver manifestations in patients with COVID-19. *J Chin Med Assoc*. 2020; 83: 521-523. doi: <https://doi.org/10.1097/JCMA.0000000000000319>
111. Medema G, Heijnen L, Elsinga G, Italiaander R, Brouwer A. Presence of SARS-Coronavirus-2 RNA in sewage and correlation with reported COVID-19 prevalence in the early stage of the epidemic in The Netherlands. *Environ Sci Technol Lett*. 2020; 7: 511-516. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00357>
112. Ali M, Zaid M, Saqib MAN, Ahmed H, Afzal MS. SARS-CoV-2 and the hidden carriers: Sewage, feline, and blood transfusion. *J Med Virol*. 2020; 92(11): 2291-2292. doi: <https://doi.org/10.1002/jmv.25956>
113. La Rosa G, Iaconelli M, Mancini P, Ferraro GB, Veneri C, Bonadonna L, et al. First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. *Sci Total Environ*. 2020; 736: 139652. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139652>

114. Lodder W, de Roda Husman AM. SARS-CoV-2 in wastewater: potential health risk, but also data source. *Lancet Gastroenterol Hepatol.* 2020; 5(6): 533-4. doi: [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(20\)30087-X](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30087-X)
115. Yunus AP, Masago Y, Hijioka Y. COVID-19 and surface water quality: Improved lake water quality during the lockdown. *Sci Total Environ.* 2020; 731: 139012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139012>
116. Kitajima M, Ahmed W, Bibby K, Carducci A, Gerba CP, Hamilton KA, et al. SARS-CoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs. *Sci Total Environ.* 2020; 739: 139076. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139076>
117. Daughton CG. Wastewater surveillance for population-wide Covid-19: The present and future. *Sci Total Environ.* 2020; 736: 139631. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139631>
118. Orive G, Lertxundi U, Barcelo D. Early SARS-CoV-2 outbreak detection by sewage-based epidemiology. *Sci Total Environ.* 2020; 732: 139298. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139298>
119. Dente SMR, Hashimoto S. COVID-19: A pandemic with positive and negative outcomes on resource and waste flows and stocks. *Resour Conserv Recycl.* 2020; 161: 104979. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104979>
120. Decaro N, Lorusso A. Novel human coronavirus (SARS-CoV-2): A lesson from animal coronaviruses. *Vet Microbiol.* 2020; 244: 108693. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2020.108693>
121. Sun J, He WT, Wang L, Lai A, Ji X, Zhai X, et al. COVID-19: Epidemiology, Evolution, and Cross-Disciplinary Perspectives. *Trends Mol Med.* 2020; 26(5): 483-495. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2020.02.008>
122. Andersen KG, Rambaut A, Lipkin WI, Holmes ED, Garry RF. The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nat Med.* 2020; 26(4): 450-452. doi: <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0820-9>
123. Bedford J, Enria D, Giesecke J, Heymann DL, Ihekweazu C, Kobinger G, et al. COVID-19: towards controlling of a pandemic. *Lancet.* 2020; 395(10229): 1015-1018. doi: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30673-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30673-5)
124. Lam TT, Jia N, Zhang YW, Shum MHH, Jiang JF, Zhu HC, et al. Identifying SARS-CoV-2-related coronaviruses in Malayan pangolins. *Nature.* 2020; 583(7815): 282-285. doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2169-0>
125. de Sadeleer N, Godfroid J. The story behind Covid-19: Animal diseases at the crossroads of wildlife, livestock and human health. *Eu J Risk Regul.* 2020; 11(2): 210-227. doi: <https://doi.org/10.1017/err.2020.45>
126. Sironi M, Hasnain SE, Rosenthal B, Phan T, Luciani F, Shaw MA, et al. SARS-CoV-2 and COVID-19: A genetic, epidemiological, and evolutionary perspective. *Infect Genet Evol.* 2020; 84: 104384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104384>
127. Borremans B, Faust C, Manlove KR, Sokolow SH, Lloyd-Smith JO. Cross-species pathogen spillover across ecosystem boundaries: mechanisms and theory. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2019; 374(1782): 20180344. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0344>
128. Everard M, Johnston P, Santillo D, Staddon C. The role of ecosystems in mitigation and management of Covid-19 and other zoonoses. *Environ Sci Policy.* 2020; 111: 7-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.05.017>
129. O'Callaghan-Gordo C, Antó JM. COVID-19: The disease of the anthropocene. *Environ Res.* 2020; 187: 109683. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109683>
130. Nieto-Rabiela F, Wiratsudakul A, Suzán G, Rico-Chávez O. Viral networks and detection of potential zoonotic viruses in bats and rodents: A worldwide analysis. *Zoonoses Public Health.* 2019; 66(6): 655-666. doi: <https://doi.org/10.1111/zph.12618>
131. Johnson CK, Hitchens PL, Pandit PS, Rushmore J, Evans TS, Young CCW, et al. Global shifts in mammalian population trends reveal key predictors of virus spillover risk. *Proc R Soc Lond B Biol Sci.* 2020; 287(1924): 20192736. doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.2736>
132. Willig MR, Presley SJ, Plante JL, Bloch CP, Solari S, Pacheco V, et al. Guild-level responses of bats to habitat conversion in a lowland Amazonian rainforest: species composition and biodiversity. *J Mamm.* 2019; 100(1): 223-238. doi: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz023>
133. Püttker T, Crouzeilles R, Almeida-Gomes M, Schmoeller M, Maurenza D, Alves-Pinto H, et al. Indirect effects of habitat loss via habitat fragmentation: A cross-taxa analysis of forest-dependent species. *Biol Conservation.* 2020; 241: 108368. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108368>

134. Ceballos G, Ehrlich PR, Raven PH. Vertebrates on the brink as indicators of biological annihilation and the sixth mass extinction. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2020; 117(24): 13596-13602. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1922686117>
135. Hasan SS, Zhen L, Miah MG, Ahamed T, Samie A. Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environ Devel*. 2020; 34: 100527. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100527>
136. Egeru A, Dejene SW, Siya A. Short report on implications of Covid-19 and emerging zoonotic infectious diseases for pastoralists and Africa. *Pastoralism*. 2020; 10: 1-10. doi: <https://doi.org/10.1186/s13570-020-00173-2>
137. Zohdy S, Schwartz TS, Oaks JR. The coevolution effect as a driver of spillover. *Trends Parasitol*. 2019; 35: 399-408. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pt.2019.03.010>
138. White RJ, Razgour O. Emerging zoonotic diseases originating in mammals: a systematic review of effects of anthropogenic land-use change. *Mamm Rev*. 2020; 50(4) 336-352. doi: <https://doi.org/10.1111/mam.12201>
139. Rohr JR, Barrett CB, Civitello DJ, Craft ME, Delius B, DeLeo GA, et al. Emerging human infectious diseases and the links to global food production. *Nat Sustain*. 2019; 2(6): 445-456. doi: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0293-3>
140. Ellwanger JH, Kulmann-Leal B, Kaminski VL, Valverde-Villegas JM, Da Veiga AB, Spilki FR, et al. Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. *An Acad Bras Cienc*. 2020; 92(1): 20191375. doi: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020191375>
141. Furumo PR, Lambin EF. Scaling up zero-deforestation initiatives through public-private partnerships: A look inside post-conflict Colombia. *Global Environ Change*. 2020; 62: 102055. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102055>
142. Corlett RT, Primack RB, Devictor V, Maas B, Goswami VR, Bates AE, et al. Impacts of the coronavirus pandemic on biodiversity conservation. *Biol Conserv*. 2020; 246: 108571. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108571>
143. Pansini R, Fornacca D. COVID-19 higher induced mortality in Chinese regions with lower air quality. *medRxiv Preprint*. 2020: 1-16. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.04.20053595>
144. Becchetti L, Conzo G, Conzo P, Salustri F. Understanding the heterogeneity of adverse COVID-19 Outcomes: the role of poor quality of air and lockdown decisions. *SSRN Elect J*. 2020. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3572548>
145. Hendryx M, Luo J. COVID-19 prevalence and fatality rates in association with air pollution emission concentrations and emission sources. *Environ Poll*. 2020; 265(A): 115126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115126>
146. Félix-Arellano EE, Schilmann A, Hurtado-Díaz M, Texcalac-Sangrador JL, Riojas-Rodríguez H. Quick review: air pollution and morbi-mortality by Covid-19. *Salud Publica Mex*. 2020; 62(5): 582-589. doi: <https://doi.org/10.21149/11481>
147. Hellewell J, Abbott S, Gimma A, Bosse NI, Jarvis CI, Russell TW, et al. Feasibility of controlling COVID-19 outbreaks by isolation of cases and contacts. *Lancet Glob Health*. 2020; 8(4): e488-e496. doi: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30074-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30074-7)
148. 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. *Sci Total Environ*. 2020; 729: 139090. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139090>
149. Amoatey P, Omidvarborna H, Baawain MS, Al-Mamun A. Impact of building ventilation systems and habitual indoor incense burning on SARS-CoV-2 virus transmissions in Middle Eastern countries. *Sci Total Environ*. 2020; 733: 139356. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139356>
150. Bashir MF, Ma B, Komal B, Bashir MA, Tan D, Bashir M. Correlation between climate indicators and COVID-19 pandemic in New York, USA. *Sci Total Environ*. 2020; 728: 138835. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138835>
151. Bianconi V, Bronzo P, Banach M, Sahebkar A, Mannarino MR, Pirro M. Particulate matter pollution and the COVID-19 outbreak: results from Italian regions and provinces. *Arch Med Sci*. 2020; 16(1): 985-992. doi: <https://doi.org/10.5114/aoms.2020.95336>
152. Bontempi E. First data analysis about possible COVID-19 virus airborne diffusion due to air particulate matter (PM): The case of Lombardy (Italy). *Environ Res*. 2020; 186: 109639. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109639>

153. Brandt EB, Beck AF, Mersha TB. Air pollution, racial disparities, and COVID-19 mortality. *J Allerg Clin Immunol*. 2020; 146: 61-63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.04.035>
154. Ogen, Y. Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality. *Sci Total Environ*. 2020; 726: 138605. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138605>
155. Pansini R, Fornacca D. Initial evidence of higher morbidity and mortality due to SARS-CoV-2 in regions with lower air quality. medRxiv Preprint. 2020. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.04.20053595>
156. Setti L, Passarini F, De Gennaro G, Barbieri P, Perrone MG, Piazzalunga A, et al. The Potential role of particulate matter in the spreading of COVID-19 in Northern Italy: First evidence-based research hypotheses. medRxiv Preprint. 2020. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.11.20061713>
157. Wang B, Liu J, Fu S, Xu X, Li L, Ma Y, et al. An effect assessment of Airborne particulate matter pollution on COVID-19: A multi-city Study in China. medRxiv Preprint. 2020. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.09.20060137>
158. Yao Y, Pan J, Liu Z, Meng Xia, Wang W, Kan H, et al. Temporal association between particulate matter pollution and case fatality rate of COVID-19 in Wuhan. *Environ Res*. 2020; 189: 109941. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109941>
159. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140396>
160. Guasp M, Laredo C, Urrea X. Higher Solar Irradiance Is Associated With a Lower Incidence of Coronavirus Disease 2019. *Clin Infect Dis*. 2020; 71(16): 2269-2271. doi: <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa575>
161. Coccia M. How high wind speed can reduce negative effects of confirmed cases and total deaths of COVID-19 infection in society. SSRN Elect J. 2020. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3603380>