

LA DÉCADA COVID
EN MÉXICO

Los desafíos
de la pandemia
desde las ciencias sociales
y las humanidades

Ecología,
medio ambiente
y **sustentabilidad**

Ken Oyama
Felipe García-Oliva
(Coordinadores)



Catalogación en la publicación UNAM. Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información

Nombres: Oyama, Ken, editor. | García Oliva, Felipe Francisco, editor.

Título: Ecología, medio ambiente y sustentabilidad / Ken Oyama, Felipe García-Oliva (coordinadores).

Descripción: Primera edición. | Ciudad de México : Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Desarrollo Institucional, 2023. | Serie: La década COVID en México : los desafíos de la pandemia desde las ciencias sociales y las humanidades ; tomo 14.

Identificadores: LIBRUNAM 2204855 (impreso) | LIBRUNAM 2204865 (libro electrónico) | ISBN 9786073075039 (impreso) | ISBN 9786073075022 (libro electrónico).

Temas: Ecología -- Aspectos sanitarios -- México. | Medio ambiente -- Aspectos sanitarios -- México. | Sustentabilidad -- México. | COVID-19 -- Aspectos ambientales. | Pandemia de COVID-19, 2020- -- Aspectos ambientales -- México.

Clasificación: LCC QH541.E357 2023 | LCC QH541 (libro electrónico) | DDC 577—dc23

Este libro fue sometido a un proceso de dictaminación por pares académicos expertos y cuenta con el aval del Comité Editorial de la Secretaría de Desarrollo Institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México para su publicación.

Imagen de portada: Fernando Garcés Poó

Gestión editorial: Aracely Loza Pineda y Ana Lizbet Sánchez Vela

Primera edición: 2023

D. R. © 2023 Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria,
Alcaldía Coyoacán, C.P., 04510, Ciudad de México
Secretaría de Desarrollo Institucional
Ciudad Universitaria, 8 Piso de la Torre de Rectoría
Alcaldía Coyoacán, C.P., 04510, Ciudad de México
www.sdi.unam.mx/

ELECTRÓNICOS

ISBN (Volumen): 978-607-30-7502-2 Título: Ecología, medio ambiente y sustentabilidad

ISBN (Obra completa): 978-607-30-6883-3 Título: La década COVID en México

IMPRESOS

ISBN (Volumen): 978-607-30-7503-9 Título: Ecología, medio ambiente y sustentabilidad

ISBN (Obra completa): 978-607-30-6843-7 Título: La década COVID en México



Se autoriza la copia, distribución y comunicación pública de la obra, reconociendo la autoría, sin fines comerciales y sin autorización para alterar o transformar. Bajo licencia creative commons Atribución 4.0 Internacional.

Hecho en México

Contenido

	Presentación	11
	<i>Enrique Graue Wiechers</i>	
	Prólogo	13
	<i>Guadalupe Valencia García</i>	
	<i>Leonardo Lomelí Vanegas</i>	
	<i>Néstor Martínez Cristo</i>	
	Introducción: Ecología, medio ambiente y sustentabilidad	21
	<i>Xicoténcatl Martínez Ruiz</i>	
1	La pandemia de COVID-19 en el Antropoceno	29
	<i>Ken Oyama</i>	
2	Reflexiones de la pandemia de COVID-19 desde la ecología y <i>Una Salud</i>	61
	<i>Gerardo Suzán</i>	
	<i>Erika Marcé Santa</i>	
	<i>Oscar Rico-Chávez</i>	
	<i>Rafael Ojeda-Flores</i>	
3	Estado global de la degradación de los ecosistemas en la década de la pandemia de COVID-19	83
	<i>Felipe García-Oliva</i>	
4	La evolución zoonótica: la compleja interacción entre los virus, el ser humano y su ambiente	101
	<i>José A. Campillo Balderas</i>	
5	Paisajes antropogénicos de México y zoonosis: hacia la construcción de paisajes sostenibles y saludables	151
	<i>Mariana Y. Alvarez-Añorve</i>	
	<i>Luis Daniel Avila-Cabadilla</i>	
	<i>Daniel Sokani Sánchez-Montes</i>	
	<i>Pablo Colunga-Salas</i>	
	<i>Sandra Álvarez-Betancourt</i>	
	<i>Julieta Benítez-Malvido</i>	

6	Zoonosis de importancia en salud pública en México: un enfoque integral	183
	<i>Víctor Sánchez-Cordero</i> <i>Francisco Botello</i> <i>Saúl Castañeda</i> <i>Jacqueline Sarmiento</i>	
7	Nuestros aliados alados: origen y diversidad de los murciélagos y los servicios ecosistémicos que nos proporcionan	211
	<i>Rodrigo A. Medellín</i>	
8	Responsabilidad de México como agente activo en el comercio de animales silvestres para mascotas	245
	<i>Inés Arroyo Quiroz</i>	
9	Modelos epidemiológicos y COVID-19	277
	<i>Hérica Sánchez Larios</i>	
10	El papel de las plataformas geoespaciales de monitoreo epidemiológico en la mitigación de las pandemias	313
	<i>Adrián Ghilardi</i> <i>Mauricio Quesada</i> <i>Christopher R. Stephens</i> <i>Alejandro Salinas-Medina</i> <i>Gabriel E. García-Peña</i> <i>José Luis Gordillo</i> <i>Romel Calero</i> <i>Pedro Romero Martínez</i> <i>Constantino González Salazar</i> <i>Ilse Ruiz Mercado</i> <i>Antonio Navarrete</i> <i>Emily Sturdivant</i> <i>Roberto Velasco-Segura</i>	
11	Efectos de la pandemia por COVID-19 en la contaminación ambiental	343
	<i>Pamela Chávez-Ortiz</i> <i>José Alberto Morón-Cruz</i>	
12	Ecología, medio ambiente y sustentabilidad. Conclusiones y perspectivas	367
	<i>Ken Oyama</i> <i>Felipe García-Oliva</i>	

Efectos de la pandemia por COVID-19 en la contaminación ambiental

11

Pamela Chávez-Ortíz
José Alberto Morón-Cruz

Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM

INTRODUCCIÓN

La pandemia ocasionada por el virus SARS-COV-2 que se detectó por primera vez en Wuhan, China en 2019, trajo cambios indudables en nuestro modo de vida. Para controlar la transmisión de la enfermedad de COVID-19, en muchos países se utilizaron medidas como el confinamiento y el aislamiento social, el cierre de industrias, la detención de actividades no esenciales, la utilización de cubrebocas o mascarillas faciales para la población en general y el personal médico, y la utilización de otros tipos de equipos de protección como guantes y caretas de plástico. Además, al no tener un medicamento específico para detener la propagación del nuevo virus, se recetaron tratamientos con medicamentos existentes, ya fuera para tratar síntomas como fiebre, dolor e inflamación o para intentar desactivar el virus en el organismo y tratar infecciones secundarias. Sin embargo, más allá del efecto de estas medidas en el control del contagio del virus y en la disminución de casos graves y de decesos, es importante analizar los efectos ambientales a corto y largo plazo que podrían tener nuestras acciones durante el periodo de esta pandemia. Para este capítulo investigamos, con base en diversas publicaciones científicas, los datos reportados sobre estos impactos ambientales, específicamente los relaciona-

dos con la contaminación ambiental, los efectos del confinamiento y el cierre de industrias en la calidad del aire, los riesgos ambientales potenciales por el aumento de desechos plásticos provenientes del uso de equipo de protección médica, y la potencial contaminación del agua debido al aumento en el empleo de algunos medicamentos.

Efectos en la atmósfera

Calidad del aire, salud y cambios de las concentraciones de contaminantes en el mundo

La calidad del aire se ve afectada por contaminantes atmosféricos, conformados principalmente por una mezcla de gases, materia particulada (PM) y materiales biológicos que constituyen un problema de salud crítico global que afecta a la población mundial (Viteri *et al.*, 2021). La diferencia entre la calidad del aire aceptable e inaceptable es su asociación con el daño a los seres humanos en términos de enfermedades respiratorias asociadas con los contaminantes del aire (Vallero, 2014). Los contaminantes atmosféricos son de extrema importancia, pues además de tener distintos efectos sobre la química de nuestro planeta, como la ruptura de la capa de ozono (O_3) y el efecto invernadero, también repercuten en la salud, pues de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) se estima que anualmente alrededor de 4.2 millones de muertes son causadas por la contaminación del aire y que el 91% de la población mundial vive en lugares donde los niveles de contaminación exceden los límites establecidos (World Health Organization [WHO], 2022).

Los estudios de contaminación atmosférica se enfocan en evaluar principalmente las concentraciones de los gases y las partículas que causan daños tanto a la salud como al ambiente, como óxidos de nitrógeno [(NO_x)] (principalmente dióxido de nitrógeno (NO_2)), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), ozono (O_3), la materia particulada con un diámetro menor a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) o menor a 10 micrómetros

(PM_{10}) y compuestos orgánicos volátiles (COV). La materia particulada consiste en agregados de distintas moléculas que son formadas y transportadas en el aire por diversos procesos. No es un compuesto químico específico, sino mezclas de partículas diferentes, con diversidad en cuanto a tamaño, composición y propiedades químicas (Vallero, 2014). Si las partículas son lo suficientemente pequeñas y de poca masa, como en el caso de las $PM_{2.5}$, pueden quedar suspendidas en el aire durante largos periodos de tiempo. Las emisiones de $PM_{2.5}$ se atribuye principalmente a las industrias, el transporte, los procesos de combustión y el manejo de residuos y polvos (Chen *et al.*, 2020). Las PM_{10} , que son partículas más grandes, se encuentran sobre todo en el humo u hollín (Vallero, 2014). Las $PM_{2.5}$ son las de mayor preocupación para la salud humana, ya que tienen la capacidad de penetrar directamente en los pulmones (Vallero, 2014).

Para controlar la transmisión del virus SARS-COV-2, en muchos países se establecieron medidas de restricción, detención de actividades no esenciales y confinamiento de la población, lo cual provocó efectos en las emisiones de contaminantes atmosféricos (Selvam *et al.*, 2020; Xiang *et al.*, 2020; Vega *et al.*, 2021). En la mayor parte del mundo, la pandemia detuvo actividades económicas y de transporte, incluyendo el turismo, la industria, el transporte público, los vuelos y los barcos turísticos, con lo que se redujo la demanda y suministro de energía, así como la disminución de las emisiones de distintos gases que afectan la calidad del aire (Marinello *et al.*, 2021). De hecho, durante el confinamiento por la pandemia del COVID-19, varios estudios reportaron disminuciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} debido a la disminución de actividad industrial en países como India (Selvam *et al.*, 2020) y debido a la disminución del volumen del tráfico en Estados Unidos, India y Colombia (Méndez-Espinosa *et al.*, 2020; Xiang *et al.*, 2020; Vega *et al.*, 2021). En Estados Unidos se determinó que en lugares donde se redujeron en mayor medida las $PM_{2.5}$ fueron aquellos con grandes áreas urbanas, en los que el tráfico excedía los promedios nacionales en condiciones anteriores al confinamiento por COVID-19 (Chen *et al.*, 2020).

Otros compuestos que también disminuyeron durante el periodo de confinamiento por el COVID-19 fueron los óxidos de nitrógeno (NO_x), que incluyen el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2). El NO_2 es un

contaminante crítico según los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (NAAQS, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, ya que tiene efectos directos sobre la salud. La exposición a corto plazo al NO_2 puede provocar efectos respiratorios, como el número y la gravedad de los episodios de asma, así como causar inflamación de las vías respiratorias en personas sanas (Vallero, 2014). Las principales fuentes de emisiones de NO_x son el transporte, la producción de energía y el sector comercial (Marinello *et al.*, 2021). En países como la India, Estados Unidos, China, Brasil, Colombia, Austria, España, Nueva Zelanda y ciudades como Londres, se identificaron reducciones de algún NO_x durante el periodo de confinamiento por el COVID-19 (Méndez-Espinosa *et al.*, 2020; Patel *et al.*, 2020; Selvam *et al.*, 2020; Xiang *et al.*, 2020; Hörmann *et al.*, 2021; Vega *et al.*, 2021; Viteri *et al.*, 2021).

Además de los efectos sobre la salud asociados con la exposición al NO_2 , gran parte de la preocupación por regular las emisiones de compuestos de nitrógeno se centra en suprimir las reacciones en la atmósfera que generan la molécula altamente reactiva de ozono. Los NO_x , junto con los compuestos orgánicos volátiles (COV), juegan un papel clave en la formación del ozono (O_3). El ozono se forma fotoquímicamente, es decir, la reacción es provocada o acelerada por la energía de la luz en la troposfera (Vallero, 2014). Dado que los humanos y otros organismos viven y respiran en la troposfera, el ozono troposférico causa problemas de salud en los humanos y daños a la vegetación y la vida silvestre (Vallero, 2014). Por ejemplo, la entrada de concentraciones elevadas de ozono a los pulmones provoca tos, dificultad en la respiración y dolor al respirar profundamente, además de que es altamente reactivo con los tejidos y causa enfermedades cardiopulmonares (Vallero, 2014).

Durante el confinamiento por COVID-19, el ozono (O_3) mostró tendencias opuestas a los otros gases estudiados, pues algunos trabajos reportaron un aumento de sus concentraciones en India, Reino Unido y Brasil (Selvam *et al.*, 2020; Siciliano *et al.*, 2020; Vega *et al.*, 2021). Sin embargo, en algunos lugares, como distintas ciudades de Estados Unidos, China y en algunas regiones de India, el O_3 no presentó un patrón claro, mostrando aumentos y disminuciones (Chen *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2021). Se reporta que en

regiones donde disminuyeron los óxidos de nitrógeno (NO_x), pero en los que había disponibilidad de compuestos orgánicos volátiles (COV), hubo aumento de O_3 (Marinello *et al.*, 2021), lo cual ocurrió en las zonas más pobladas. Al igual que como sucede con los NO_x , una de las fuentes principales de COV es el tráfico vehicular (Liu *et al.*, 2021), específicamente los vehículos ligeros y motocicletas. Siciliano *et al.* (2021) determinaron que la composición química de los combustibles es un factor que debe controlarse para disminuir los COV que ocasionan el aumento de los niveles de O_3 . Además, debido a que este contaminante es producto de reacciones fotoquímicas, la disminución de humo y hollín debido a la disminución del transporte pesado puede aumentar la incidencia de luz ultravioleta, lo que acelera la formación de O_3 (Dantas *et al.*, 2019).

El dióxido de carbono (CO_2), uno de los gases de efecto invernadero producto de las emisiones provenientes del transporte, fábricas y producción de energía, también mostró una disminución durante la pandemia. De acuerdo con Le Quéré *et al.* (2021), las emisiones de CO_2 en el año 2020, disminuyeron 2.6 gigatoneladas (Gt), una reducción que no había sido observada anteriormente.

Por último, otros dos gases cuantificados en diversos estudios de calidad del aire durante el periodo de aislamiento por el COVID-19, pero en menor medida, fueron el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de azufre (SO_2). El CO es producto de la combustión incompleta de compuestos orgánicos. Diversos estudios realizados concuerdan con que las emisiones de CO disminuyeron, debido al menor tráfico de vehículos que utilizan combustibles fósiles y a las restricciones en la industria manufacturera y a las plantas de producción de energía (Chen *et al.*, 2020; Selvam *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2020; Xiang *et al.*, 2020; Vega *et al.*, 2021; Viteri *et al.*, 2021). El CO provoca varios efectos en la salud al unirse e interferir con las proteínas hemo (por ejemplo, la hemoglobina que se encuentra en la sangre). Otros efectos potenciales incluyen daño al sistema nervioso central, al sistema respiratorio y a la reproducción y desarrollo prenatal. En concentraciones suficientemente altas, la exposición al CO puede ser mortal.

El dióxido de azufre (SO_2), en cambio, es un gas que forma ácidos en la atmósfera, especialmente el ácido sulfúrico (H_2SO_4), que es un componente clave de la lluvia ácida, por lo que causa daños materiales y a los cultivos cuando se depositan aerosoles ácidos tanto líquidos y sólidos. El SO_2 también tiene repercusiones en la salud debido a que es un irritante respiratorio y causa problemas de visibilidad, especialmente cuando las partículas de sulfato están suspendidas en la atmósfera (Vallero, 2014). El SO_2 es producido principalmente por operaciones industriales y procesos de generación de energía. El SO_2 ha sido uno de los contaminantes menos estudiados durante el periodo de confinamiento de acuerdo a una revisión realizada por Marinello *et al.* (2021). La mayoría de los trabajos que cuantificaron este compuesto reportaron disminuciones (Selvam *et al.*, 2020; Marinello *et al.*, 2021).

Cabe mencionar que la mayor parte de las reducciones de contaminantes atmosféricos fueron observadas en zonas urbanas, con actividades industriales y de transporte, mientras que en zonas rurales no se observaron las mismas tendencias. Durante la pandemia, se observó un aumento en la deforestación (McNeely, 2021), que es una actividad de preocupación para la incidencia de enfermedades respiratorias, como la COVID-19, debido a que la subsecuente quema de la biomasa forestal puede hacer más susceptible a la población cercana a problemas respiratorios (Brancalion *et al.*, 2020). Algunos de los contaminantes atmosféricos liberados por las quemaduras de bosques son las $\text{PM}_{2.5}$ (Lelieveld *et al.*, 2015), el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO_2) (Malilay, 1999). Además, la deforestación aumenta las interacciones entre la vida silvestre y los seres humanos, lo que propicia el surgimiento de nuevas enfermedades de origen zoonótico (Brancalion *et al.*, 2020). De acuerdo con el World Resources Institute, hubo una pérdida 12% mayor de bosques primarios en el 2020 en comparación con el 2019, y un 11% mayor en comparación con el 2021, principalmente debido a pérdidas por incendios (Weisse y Goldman, 2021). Este aumento se le atribuye a la relajación de medidas de protección de las áreas naturales durante la pandemia, y al recorte de presupuesto a organizaciones ambientales, que desencadenó una disminución en la vigilancia (Comisión Económica para América

Latina y el Caribe [CEPAL], 2020; McNeely, 2021). Brasil fue uno de los países más afectados durante el 2020, pues las multas ambientales disminuyeron un 72% en la región del Amazonas; sin embargo, la deforestación alcanzó los 4,719 km² en el periodo de enero a julio de 2020, el mayor nivel de deforestación alcanzado desde el comienzo de los registros en 2015 (Vale *et al.*, 2021), lo cual ha sido atribuido principalmente al cambio de uso de suelo para la ganadería (McNeely, 2021). En México, se reportó una disminución del área total de bosque primario húmedo del 1.5% en el año 2020, en comparación con el 2019 (Global Forest Watch, 2022).

Calidad del aire y COVID-19 en México y en otros países

México ha sido poco estudiado en cuanto a las emisiones de contaminantes del aire durante la pandemia. De acuerdo con la revisión realizada por Marinello *et al.* (2021), los países con más trabajos relacionados con la contaminación atmosférica durante este periodo fueron China e India, seguidos de Italia, Estados Unidos y España, que a su vez son los países que inicialmente fueron más afectados por la pandemia. En un trabajo realizado por Vega *et al.* (2021), se estudiaron los cambios en ciudades que no cumplían con los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) relacionado con los contaminantes del aire, entre éstas, la Ciudad de México. En el periodo estudiado de enero a agosto del 2020, se encontró que en la Ciudad de México disminuyeron los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$, dióxido de nitrógeno (NO_2) y monóxido de carbono (CO), siendo el CO el contaminante con mayor cambio (una reducción del 40%). Sin embargo, se encontró un aumento en las concentraciones de ozono (O_3). Estos cambios pueden estar relacionados principalmente en una reducción del tráfico vehicular (en un 59%) en la Ciudad de México.

Debido a que la COVID-19 es una enfermedad respiratoria que puede empeorar debido a niveles altos de contaminantes atmosféricos, Cabrera-Cano *et al.* (2021) investigaron si la mortalidad de esta enfermedad se relacionaba con una mayor concentración de algún contaminante atmosférico en 25 ciu-

dades mexicanas,¹ tomando como criterio de inclusión que éstas contaran con un sistema de monitoreo continuo de calidad del aire, considerando los niveles de PM_{10} , $PM_{2.5}$ y NO_2 , además de casos confirmados de SARS-COV-2. En este estudio se encontró una asociación significativa entre el NO_2 y el incremento de la tasa de mortalidad de COVID-19, aumentando ésta en un 3.5% por cada incremento de $1 \mu g m^{-3}$ de NO_2 . Resultados similares se han obtenido en otros países, como en Inglaterra (Travaglio *et al.*, 2021), donde los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) resultaron predictores significativos para el aumento de casos de COVID-19, independientemente de la densidad de la población, y junto con la concentración de ozono y la densidad poblacional, para el número de muertes. En Estados Unidos, Liang *et al.* (2020) identificaron también asociaciones positivas entre NO_2 y las tasas de mortalidad por COVID-19. Copat *et al.* (2020) identificaron a los contaminantes $PM_{2.5}$ y NO_2 como factores que aumentan la propagación y letalidad del COVID-19. Paital y Agrawal (2021) explican que esto se debe a que los contaminantes como NO_2 y $PM_{2.5}$, aumentan la expresión de una enzima llamada ACE-2, presente en células epiteliales de los pulmones. Esta enzima es el receptor en las células humanas para los SARS-COV-1 y SARS-COV-2, lo que explica un aumento en la severidad de la enfermedad en lugares con niveles altos de contaminantes (Paital y Agrawal, 2021).

La disminución de contaminantes atmosféricos durante el confinamiento puede haber sido por lo tanto una ventaja para sobrellevar la pandemia. Un análisis en España reportó que la disminución de 45% de los niveles de NO_2 se asoció con una disminución significativa del número de muertes (Achebak *et al.*, 2021). Otro estudio realizado en China y Europa (Giani *et al.*, 2020) reportó que la disminución de partículas finas ($PM_{2.5}$) de 29.7% y 17.1%, respectivamente, evitó aproximadamente 24,200 muertes prematuras en China entre el 1 de febrero y 31 de marzo y 2,190 muertes en Europa en el periodo de 21 de febrero al 17 de mayo de 2020. Achebak *et al.* (2021) mencionan que las

¹ Ciudad de México, Celaya, Durango, Guadalajara, Guanajuato, Irapuato, León, Mérida, Mexicali, Monterrey, Morelia, Nogales, Oaxaca, Pachuca, Piedras Negras, Puebla, Salamanca, Silao, San Luis Potosí, San Miguel de Allende, Tepic, Tijuana, Toluca, Villahermosa y Zacatecas.

reducciones permanentes en las emisiones de contaminantes tendrían efectos positivos, incluyendo menores impactos de epidemias causadas por enfermedades respiratorias.

CONTAMINACIÓN POR AUMENTO DE RESIDUOS PLÁSTICOS

Una gran preocupación derivada del manejo de la pandemia de COVID-19 ha sido el aumento de residuos plásticos, entre los cuales destacan los cubrebocas, los plásticos derivados de la realización de pruebas para la detección del virus y los desechos médicos, como envases de desinfectantes, jeringas, caretas y guantes. Se estima que durante los primeros meses del 2020 se utilizaron al mes 129,000 millones de cubrebocas y 65,000 millones de guantes desechables en todo el mundo (Prata *et al.*, 2020). Las mascarillas desechables están compuestas de distintos polímeros plásticos, como polipropileno, poliuretano, poliacrilonitrilo, poliesterino, policarbonato y poliéster (Fadare y Okoffo, 2020), y los guantes protectores están hechos principalmente de polietileno, látex y nitrilo (Benson *et al.*, 2021). Todos estos materiales generan contaminación por plásticos y partículas plásticas (Fadare y Okoffo, 2020).

El mal manejo de residuos de polímeros plásticos genera microplásticos, los cuales tienen grandes impactos ambientales, incluyendo impactos en la biota acuática (Aragaw, 2020). Los microplásticos son el resultado de la degradación de plástico bajo condiciones ambientales por procesos como hidrólisis, degradación térmica, fotodegradación y degradación termo-oxidativa (Sharma y Chatterjee, 2017). Los microplásticos son fragmentos menores a 5 mm de diámetro que pueden ser ingeridos por distintos organismos y, por lo tanto, entran a la cadena alimenticia más fácilmente que los plásticos grandes, acumulándose en la biomasa de los organismos (Wagner *et al.*, 2014). Además, estas partículas pueden adsorber contaminantes orgánicos del medio y servir como vectores de éstos al ser ingeridos. Los contaminantes orgánicos de mayor preocupación en cuanto a la adsorción en microplásticos son los contaminantes orgánicos persistentes (COP), compuestos químicos difíciles de

degradar en el ambiente, que persisten en suelos, sedimentos, aire y biota y tienen una vida media (periodo que tardan en degradarse) desde años hasta décadas en suelos y sedimentos (Jones y De Voogt, 1999). Algunos de los contaminantes orgánicos persistentes reportados que pueden adsorberse a microplásticos son aquellos derivados de los hidrocarburos, como el fenantreno, y plaguicidas hidrofóbicos, como el DDT (Bakir *et al.*, 2012). Los microplásticos, por lo tanto, son considerados un problema global emergente y pueden llegar a contaminar sistemas acuáticos por la disposición directa de residuos en estos ecosistemas y a partir de efluentes provenientes de plantas de tratamiento de residuos sólidos o por la escorrentía proveniente de los tiraderos municipales (Shen *et al.*, 2021).

Existen pocos estudios que hayan determinado la contaminación por estos desechos asociados con la actual pandemia de COVID-19. Akhbarizadeh *et al.* (2021) encontraron diferentes tipos de equipo de protección para COVID-19 desechados en la costa del Golfo Pérsico, con predominancia de mascarillas (1578) y guantes (804) en un periodo de cuatro muestreos realizados a lo largo de 40 días. Con ayuda de observaciones al microscopio, se encontró que más del 10% de los residuos tuvieron un daño significativo en su estructura física, lo que indica que este material pudo haber generado una cantidad significativa de microplásticos que probablemente se liberaron en los sistemas acuáticos. Shen *et al.* (2021) determinaron que una sola mascarilla después del primer uso, al colocarse dentro de un contenedor con agua, liberaba 24,000 elementos de microplásticos, lo que aumentaba si la mascarilla era lavada con alcohol (27,000 elementos) o con detergente (28,800 elementos); esto para simular la reutilización de mascarillas desechables que se llegó a dar durante la pandemia debido a su escasez. En este mismo trabajo, se determinó que la cantidad de microplásticos liberados aumenta con el tiempo de uso, y que al desechar la mascarilla, puede liberar más de 100 millones de partículas de microplásticos en un periodo de dos meses en condiciones ambientales naturales (Shen *et al.*, 2021).

Menos estudios existen relacionados con los residuos plásticos en el suelo; sin embargo, un trabajo realizado a lo largo de un transecto de 250 km en

Quebec, Canadá, reportó que en un periodo de 10 días de muestreo se encontraron 70 mascarillas faciales, de las cuales el 76% eran desechables (France, 2022). La disposición correcta de equipos de protección médica, incluyendo mascarillas, guantes y otros objetos, involucra su destrucción por calor o incineración, debido al riesgo potencial de contaminación biológica; sin embargo, estos lineamientos están diseñados para personal médico y no para la población en general (Benson *et al.*, 2021), por lo que es necesario revisar alternativas a la utilización de equipos plásticos. En México, la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) propone que estos residuos potencialmente biológico-infecciosos deben de desecharse en bolsas separadas marcadas como “residuos inorgánicos sanitarios no reciclables” (SEDEMA, 2020). Algunas alternativas propuestas para evitar generar más residuos plásticos, consisten en el desarrollo de equipo de protección médico fabricado por plásticos biodegradables (Haddad *et al.*, 2021). En el caso de las mascarillas o cubrebocas de uso no médico, se ha determinado que la mejor alternativa es utilizar materiales como algodón de 600 TPI (Hartanto y Mayasari, 2021).

EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR FÁRMACOS

Distintos productos farmacéuticos, como antibióticos, antirretrovirales, anti-palúdicos, antiinflamatorios no esteroideos y analgésicos, se han utilizado para tratar la COVID-19 y sus síntomas, como la fiebre y el dolor agudo (Gwenzi *et al.*, 2022). Sin embargo, existe una creciente preocupación sobre la contaminación potencial de sistemas acuáticos con estos medicamentos debido al incremento en su uso.

En los sistemas acuáticos podemos encontrar residuos de medicamentos y fármacos sin metabolizar. Las inyecciones y los ungüentos tienen un bajo riesgo de contaminación ambiental debido a su asimilación en el organismo, mientras que los fármacos orales tienen un mayor riesgo, ya que se metabolizan en menor medida y pueden excretarse como sustancias activas, por lo que a través de los drenajes de casas, hospitales, clínicas e industrias farmacéuticas

terminan en las plantas de tratamiento de aguas residuales, cuyos efluentes son descargados eventualmente en sistemas acuáticos superficiales y subterráneos, por medio de escorrentías, descargas directas, derrames accidentales e infiltraciones (O'Flynn *et al.*, 2021; Gwenzi *et al.*, 2022). Los fármacos son, por lo tanto, considerados contaminantes de preocupación emergente, que se definen como sustancias que tienen el potencial de entrar al ambiente y ocasionar efectos adversos ecológicos y a la salud humana, pero que aún no están regulados y cuyo destino y efectos secundarios son poco entendidos (O'Flynn *et al.*, 2021).

Durante la pandemia ocasionada por el virus SARS-COV-2 hubo un aumento de producción de aquellos fármacos que potencialmente podían controlar los síntomas de la enfermedad y un aumento de su utilización a medida que el número de casos de contagios aumentaba. Entre estos fármacos se encuentran analgésicos, como paracetamol; antibióticos como azitromicina; algunos medicamentos contra el cáncer como antroquinol, ruxolitinib y tamoxifeno; antipalúdicos como cloroquina e hidroxicloroquina; antiinflamatorios no esteroideos como aspirina (ácido acetilsalicílico), dexametasona e ibuprofeno; antivirales como ribavirina y oseltamivir; antirretrovirales como lopinavir; e incluso antiparasitarios de uso veterinario, como la ivermectina (Gwenzi *et al.*, 2022). La estructura química de cada uno de estos fármacos determina su solubilidad en agua, bioacumulación, biotransformación, degradación por fotólisis, degradación microbiana, adsorción en partículas de sedimentos, destino ambiental, persistencia en el ambiente y riesgo para animales y humanos (Gwenzi *et al.*, 2022).

No se encontraron trabajos que evaluaran concentraciones de medicamentos en sistemas acuáticos comparando el periodo del COVID-19 con años anteriores. Sin embargo, sí se reportaron predicciones y estimaciones que fueron utilizados en diversos trabajos para evaluar el riesgo ambiental potencial de algunos de los fármacos más utilizados como tratamiento para el virus del SARS-COV-2. Tarazona *et al.* (2021) tomaron en cuenta los datos reportados de toxicidad de los fármacos para diferentes organismos (peces, algas, bacterias, crustáceos e invertebrados) y la concentración en que los fár-

macos pueden llegar a encontrarse en el agua, con lo que concluyeron que hay un mayor riesgo ambiental para los medicamentos ivermectina y azitromicina, y menor riesgo para las cloroquinas y la dexametasona, a pesar de que el primero tuvo una vida media mayor en el agua (su periodo de degradación es más largo). En cambio, Kuroda *et al.* (2021) predijeron un mayor riesgo ecotóxico para antivirales como favipiravir, lopinavir, umifenovir y ritonavir; un riesgo medio para cloroquina, hidroxicloroquina, remdesivir y ribavirin; y un riesgo bajo para dexametasona y osetalmivir, al utilizar un análisis que predecían las concentraciones ambientales de los medicamentos calculadas a partir de un número estimado de pacientes tratados con los fármacos.

Es importante tomar en cuenta el uso desmedido que se le puede dar a algunos medicamentos para determinar el impacto ambiental que éstos podrían causar. En mayo de 2021 fue publicado un estudio hecho en México sobre la efectividad de la ivermectina para tratamiento del COVID-19. Sin embargo, en febrero de 2022, el artículo fue retractado debido a que difundía información engañosa, así como otros problemas éticos (SocArXiv, 2021, 2022). Este artículo fue de los más leídos en la revista SocArXiv durante el 2021, y se reportó que el gobierno de la Ciudad de México compró 293,000 cajas de ivermectina (Camahí, 2022; Sarabia, 2022), que entregó a ciudadanos como kit de tratamiento de la enfermedad de COVID-19 cuando resultaban positivos al virus. Este medicamento no está aprobado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como tratamiento para el COVID-19; sin embargo, está confirmado que tiene una toxicidad moderada para peces y algas, y extremadamente alta para invertebrados (Domingo-Echaburu *et al.*, 2021), que es capaz de reducir significativamente poblaciones de nemátodos y que puede bioacumularse en los organismos acuáticos que consumimos como alimento (Essid *et al.*, 2020; Tarazona *et al.*, 2021). Además, se estima que su uso y descarga en aguas residuales por el 0.05% de la población mundial puede tener impactos ambientales negativos, no sólo en el agua, sino también en suelos, debido a que puede llegar a éstos por la aplicación de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales como fertilizantes en cultivos agrícolas (Domingo-Echaburu *et al.*, 2021; Tarazona *et al.*, 2021). La presencia

de estos fármacos y de otros antimicrobianos, puede ocasionar cambios en la microbiota nativa del suelo, y alterar las poblaciones de microorganismos como bacterias y hongos benéficos que regulan los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes en el suelo (Usman *et al.*, 2020).

La tasa de consumo de ciertos medicamentos antimicrobianos (antivirales, antifúngicos y antibióticos) ha aumentado durante la pandemia de COVID-19 en un esfuerzo de minimizar los riesgos de infecciones severas y de mortalidad (Kumar *et al.*, 2021). La Organización Panamericana de la Salud (OPS) estima que un 90% de pacientes hospitalizados por COVID-19 llegaron a recibir tratamiento antimicrobiano, a pesar de que sólo el 7% mostró infecciones secundarias (OPS, 2021). El aumento del consumo de fármacos antimicrobianos aumenta su concentración en los efluentes de hospitales, casas y plantas de tratamiento de aguas residuales, donde también pueden encontrarse microorganismos patógenos (virus, bacterias y hongos) y ocasionar un aumento en la resistencia a antibióticos (Kumar *et al.*, 2021).

Los medicamentos que potencialmente pueden causar estos efectos son antivirales como remdesivir, ravipiravir, umiferovir, ritonavir; antiparasitarios como ivermectina y clorquinona; y antibióticos como azitromicina y ciprofloxacino (Kuroda *et al.*, 2021; O'Flynn *et al.*, 2021). Algunos medicamentos, como la azitromicina y el ciprofloxacino se han detectado en sistemas acuáticos de Estados Unidos por encima de las concentraciones límite permitidas, lo que puede llevar al desarrollo, mantenimiento y dispersión de las bacterias resistentes en ambientes naturales (O'Flynn *et al.*, 2021).

En países como México, se ha detectado un aumento de microorganismos de interés médico resistentes a antibióticos, principalmente bacterias. En México, se reportó que en el periodo de 2007 al 2015, bacterias como *Acinetobacter baumannii*, *Enterococcus faecium*, *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas aeruginosa* aumentaron su resistencia a distintos grupos de antibióticos, como cefalosporinas y carbapenémicos (Center for Disease Dynamics, Economics & Policy [CDDEP], 2022). Durante la segunda mitad de 2020, el año en que llegó el virus SARS-CoV-19 a México, se reportó un aumento de resistencia antimicrobiana, en comparación con el segundo semestre de 2019, para

Klebsiella pneumoniae, *Enterococcus faecium*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus* (López-Jácome *et al.*, 2022). Actualmente, la Organización Panamericana de la Salud (OPS), junto con otras organizaciones, trabajan en conjunto para crear un plan global que ayude a controlar la resistencia antimicrobiana (Secretaría de Salud, 2021). Es importante tomar en cuenta el aumento de resistencia a antibióticos por la contaminación de sistemas acuáticos y, por lo tanto, realizar nuevas investigaciones sobre cómo mejorar nuestras plantas de tratamiento de aguas residuales municipales para llevar a cabo procesos que aumenten la eficiencia de eliminación de antibióticos y otros fármacos.

CONCLUSIONES

La pandemia causada por el virus SARS COV-2 indudablemente ocasionó distintos impactos ambientales, algunos de ellos positivos, como la disminución de contaminantes atmosféricos (NO_x , CO, $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , SO_4). La realización de estudios sobre el cambio en estos contaminantes durante la pandemia fue una oportunidad para probar los posibles efectos de políticas y estrategias dedicadas a mejorar la calidad del aire que pueden ser utilizadas en un futuro. La disminución en la contaminación atmosférica se dio principalmente en las ciudades más pobladas, donde se realizan más actividades industriales y hay una mayor movilidad vehicular. Sin embargo, en diversos estudios se identificó que estos cambios fueron temporales y el retorno a las actividades ha ocasionado que las concentraciones de estos gases vuelvan a sus concentraciones iniciales, anteriores a la pandemia.

Por otra parte, la pandemia favoreció al incremento de residuos sólidos como mascarillas, guantes y demás equipo de protección médica fabricado con materiales plásticos. Esto generó impactos negativos para los sistemas acuáticos, debido a la posible generación de microplásticos, que llevan consigo moléculas tóxicas para los peces y otros organismos y que pueden llegar a los seres humanos por medio de la cadena alimentaria. Debido a que a la fecha la

utilización de cubrebocas o mascarillas sigue siendo reglamentaria en lugares de trabajo, escuelas, comercio y transporte público, es necesario comenzar a buscar opciones para una mejor disposición y un mejor manejo de residuos plásticos. La población en general, para disminuir la generación de este tipo de residuos, puede optar por la utilización de cubrebocas reutilizables, como aquellos fabricados en tela de algodón. Sin embargo, el personal médico necesita equipo que brinde mayor protección, por lo que es indispensable continuar con investigaciones sobre materiales biodegradables que a su vez puedan cumplir con los requerimientos necesarios para proteger contra enfermedades infecciosas.

Por último, para disminuir las consecuencias por la contaminación de agua por fármacos, es indispensable promover el uso responsable de medicamentos y evitar la automedicación, ya que el empleo descontrolado de medicamentos antimicrobianos puede generar efectos como la ecotoxicidad y el aumento de la resistencia microbiana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achebak, Hicham, Hervé Petetin, Marcos Quijal-Zamorano, Dene Bowdalo, Carlos Pérez García-Pando, y Joan Ballester (2021). "Trade-offs between short-term mortality attributable to NO₂ and O₃ changes during the COVID-19 lockdown across major Spanish cities". *Environmental Pollution* 286: 117220.
- Akhbarizadeh, Razegheh, Sina Dobaradaran, Iraj Nabipour, Mahbubeh Tangestani, Delaram Abedi, Fatemeh Javanfekr, Faezeh Jeddi, y Atefeh Zendeboodi (2021). "Abandoned Covid-19 personal protective equipment along the Bushehr shores, the Persian Gulf: An emerging source of secondary microplastics in coastlines". *Marine Pollution Bulletin* 168: 112386.
- Aragaw, Tadele A. (2020). "Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario". *Marine Pollution Bulletin* 159: 111517.

- Bakir, Adil, Steven J. Rowland, y Richard C. Thompson (2012). “Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment”. *Marine Pollution Bulletin* 64 (12): 2782-2789.
- Benson, Nsikak U., David E. Basse, y Thavamani Palanisami (2021). “COVID pollution: impact of COVID-19 pandemic on global plastic waste footprint”. *Heliyon* 7(2): e06343.
- Brancalion, Pedro H. S., Eben N. Broadbent, Sergio de-Miguel, Adrián Cardil, Marcos R. Rosa, Catherine T. Almeida, Danilo R. A. Almeida, Shourish Chakravarty, Mo Zhou, Javier G. P. Gamarra, Jingjing Liang, Renato Crouzeilles, Bruno Héroult, Luiz E. O. C. Aragão, Carlos A. Silva, y Angélica M. Almeyda-Zambrano (2020). “Emerging threats linking tropical deforestation and the COVID-19 pandemic”. *Perspectives in Ecology and Conservation* 18 (4), 243-246.
- Cabrera-Cano, Ángel Arturo, Julio César Cruz-de la Cruz, Ana Berenice Gloria-Alvarado, Urinda Álamo-Hernández, y Horacio Riojas-Rodríguez (2021). “Asociación entre mortalidad por Covid-19 y contaminación atmosférica en ciudades mexicanas”. *Salud Pública de México* 63 (4): 470-477.
- Camhaji, Elías (2022). “El reparto de ivermectina vuelve a sacudir a México”. *El País México*. 07 de Febrero.
- Center for Disease, Dynamics Economics & Policy [CCDEP] (2022). Resistance Map: Antibiotic Resistance in Mexico [en línea]. Disponible en <[https://resistancemap.cddep.org/CountryPage.php?countryId=83&country=-Mexico+](https://resistancemap.cddep.org/CountryPage.php?countryId=83&country=-Mexico+>)>. (consulta: 20 de marzo 2022).
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] (2020). *El rol de los recursos naturales ante la pandemia por el COVID-19 en América Latina y el Caribe | Comisión Económica para América Latina y el Caribe*. <https://www.cepal.org/es/enfoques/rol-recursos-naturales-la-pandemia-covid-19-america-latina-caribe>.
- Chen, L.-W. Antony, Lung-Chang Chien, Yi Li, y Ge Lin (2020). “Nonuniform impacts of COVID-19 lockdown on air quality over the United States”. *Science of the Total Environment* 745: 13-16.

- Copat, Chiara, Antonio Cristaldi, Maria Fiore, Alfina Grasso, Pietro Zuccarello, Salvatore Santo Signorelli, Gea Oliveri Conti, y Margherite Ferrante (2020). “The role of air pollution (PM and NO₂) in COVID-19 spread and lethality: A systematic review”. *Environmental Research* 191.
- Dantas, Guilherme, Bruno Siciliano, Letícia Freitas, Eduardo Guedes de Seixas, Cleyton M. da Silva, y Graciela Arbilla (2019). “Why did ozone levels remain high in Rio de Janeiro during the Brazilian truck driver strike?”. *Atmospheric Pollution Research* 10 (6): 2018-2029.
- Domingo-Echaburu, Saioa, Gorka Orive, y Unax Lertxundi (2021). “Ivermectin & COVID-19: Let’s keep a One Health perspective”. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 21: 100438.
- Essid, Naceur, Mohamed Allouche, Mourina Lazzem, Abdel Halim Harrath, Lamjed Mansour, Saleh Alwasel, Ezzedine Mahmoudi, Hamouda Beyrem, y Fehmi Boufahja (2020). “Ecotoxic response of nematodes to ivermectin, a potential anti-COVID-19 drug treatment”. *Marine Pollution Bulletin* 157: 111375.
- Fadare, Oluniyi, y Elvis D. Okoffo (2020). “COVID-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment”. *Science of the Total Environment* 737: 140279.
- France, Robert L. (2022). “First landscape-scale survey of the background level of COVID-19 face mask litter: Exploring the potential for citizen science data collection during a ‘pollution pilgrimage’ of walking a 250-km roadside transect”. *Science of the Total Environment* 816: 151569.
- Giani, Paolo, Stefano Castruccio, Alessandro Anav, Don Howard, Wenjing Hu, y Paola Crippa (2020). “Short-term and long-term health impacts of air pollution reductions from COVID-19 lockdowns in China and Europe: a modelling study”. *The Lancet Planetary Health* 4 (10): e474–e482.
- Global Forest Watch (2022). *Mexico Deforestation Rates & Statistics* | GFW. <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/MEX/?category=summary&location=WyJjb3VudHJ5IiwuTUUVYlI0%3D&map=eyJjZW50ZXIiOmsibGF0IjoyMy45NDQ4MDEyNjA2NTI5NDUuImxuZyI6LTUwMi41MjgyNjMwODk5NTY5MX0sInpvc20iOjMuMT-M4ODQzODAxNTMyODAxLCJyYW5Cb3VuZCI6ZmFsc2Us>

- Gwenzi, Willis, Rangabhashiyam Selvasembian, Nnanake-Abasi Offiong, Alaa El Din Mahmoud, Edmond Sanganyado, y Joyabrata Mal (2022). "COVID-19 drugs in aquatic systems: a review". *Environmental Chemistry Letters* 20: 1275-1294.
- Haddad, Mohamed Ben, Gabriel E. De-la-Torre, Mohamed Rida Abelouah, Sara Hajji, y Aicha Ait Alla (2021). "Personal protective equipment (PPE) pollution associated with the COVID-19 pandemic along the coastline of Agadir, Morocco". *Science of the Total Environment* 798: 149282.
- Hartanto, Broto Widya, y Dyah Samti Mayasari (2021). "Environmentally friendly non-medical mask: An attempt to reduce the environmental impact from used masks during COVID-19 pandemic". *Science of the Total Environment* 760: 144143.
- Hörmann, Siegfried, Fatima Jammoul, Thomas Kuenzer, y Ernst Stadlober (2021). "Separating the impact of gradual lockdown measures on air pollutants from seasonal variability". *Atmospheric Pollution Research* 12 (2): 84-92.
- Jones, Kevin C., y Pim de Voogt (1999). "Persistent organic pollutants (POPs): state of the science". *Environmental Pollution* 100 (1-3): 209-221.
- Kumar, Manish, Kiran Dhangar, Alok Thakur, Bhagwana Ram, Tushara Chaminda, Pradeep Sharma, Abhay Kumar, Nirav Raval, Vaibhav Srivastava, Jörg Rinklebe, Keisuke Kuroda, Christian Sonne, y Damia Barcelo (2021). "Antidrug resistance in the Indian ambient waters of Ahmedabad during the COVID-19 pandemic". *Journal of Hazardous Materials* 416: 126125.
- Kuroda, Keisuke, Cong Li, Kiran Dhangar, y Manish Kumar (2021). "Predicted occurrence, ecotoxicological risk and environmentally acquired resistance of antiviral drugs associated with COVID-19 in environmental waters". *Science of the Total Environment* 776: 145740.
- Lelieveld, Jos, Jeffrey S. Evans, Mohammed Fnais, Despina Giannadaki, y Andrea Pozzer (2015). "The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale". *Nature* 525: 367-371.
- Le Quéré, Corinne, Glen P. Peters, Pierre Friedlingstein, Robbie M. Andrew, Josep G. Canadell, Steven J. Davis, Robert B. Jackson, y Matthew W. Jones

- (2021). "Fossil CO2 emissions in the post-COVID-19 era". *Nature Climate Change* 11(3): 197-199.
- Liang, Donghai, Liuhua Shi, Jingxuan Zhao, Pengfei Liu, Joel Schwartz, Song Gao, Jeremy Sarnat, Yang Liu, Stefanie Ebel, Noah Scovronick, y Howard H. Chang (2020). "Urban air pollution may enhance COVID-19 case-fatality and mortality rates in the United States". *The Innovation* 1(3): 100047.
- Liu, Yiming, Tao Wang, Trissevgeni Stavrou, Nellie Elguindi, Thierno Doumbia, Claire Granier, Idir Bouarar, Benjamin Gaubert, y Guy P. Brasseur (2021). "Diverse response of surface ozone to COVID-19 lockdown in China". *Science of the Total Environment* 789: 147739.
- López-Feldman, Alejandro, Carlos Chávez, María Alejandra Vélez, Hernán Bejarano, Ariaster B. Chimeli, José Féres, Juan Robalino, Rodrigo Salcedo, y César Viteri (2020). "COVID-19: impactos en el medio ambiente y en el cumplimiento de los ODS en América Latina". *Desarrollo y Sociedad* 86: 104-132.
- Malilay, Josephine (1999). A review of factors affecting the human health impacts of air pollutants from forest fires. En: Goh, Kee-Tai, Dietrich Schwela, Johann G. Goldammer, y Orman Simpson (eds.) *Health guidelines for vegetation fire events: Background papers*. Lima Perú. WHO/UNEP/WMO. pp. 255-270.
- Marinello, Samuele, Maria Angela Butturi, y Rita Gamberini (2021). "How changes in human activities during the lockdown impacted air quality parameters: A review". *Environmental Progress and Sustainable Energy* 40 (4): 1-18.
- McNeely, Jeffrey A. (2021). "Nature and COVID-19: The pandemic, the environment, and the way ahead". *Ambio* 50 (4): 767-781.
- Méndez-Espinosa, Juan F., Nestor Y. Rojas, Jorge Vargas, Jorge E. Pachón, Luis C. Belalcazar, y Omar Ramírez (2020). "Air quality variations in Northern South America during the COVID-19 lockdown". *Science of the Total Environment* 749: 141621.
- O'Flynn, Dylan, Jenny Lawler, Azeez Yusuf, Anne Parle-McDermott, Denise Harold, Thomas Mc Cloughlin, Linda Holland, Fiona Regan, y Blánaid White (2021). "A review of pharmaceutical occurrence and pathways in

- the aquatic environment in the context of a changing climate and the COVID-19 pandemic”. *Analytical Methods* 13 (5): 575-594.
- Organización Panamericana de la Salud [OPS] (2021). “*Aumentan las infecciones resistentes a los medicamentos en las Américas debido al mal uso de los antimicrobianos durante la pandemia*” 17 de Noviembre.
- Paital, Biswaranjan, y Pawan K. Agrawal (2021). “Air pollution by NO₂ and PM_{2.5} explains COVID-19 infection severity by overexpression of angiotensin-converting enzyme 2 in respiratory cells: a review”. *Environmental Chemistry Letters* 19 (1): 25-42.
- Patel, Hamesh, Nick Talbot, Jennifer Salmond, Kim Dirks, Shanju Xie, y Perry Davy (2020). “Implications for air quality management of changes in air quality during lockdown in Auckland (New Zealand) in response to the 2020 SARS-COV-2 epidemic”. *Science of the Total Environment* 746: 141129.
- Prata, Joana C., Ana L. P. Silva, Tony R. Walker, Armando C. Duarte, y Teresa Rocha-Santos (2020). “COVID-19 Pandemic repercussions on the use and management of plastics”. *Environmental Science and Technology* 54 (13): 7760-7765.
- Sarabia, Dalila. (2022). “CDMX gastó 29 mdp en tratamiento con ivermectina no autorizado contra COVID”. *Animal Político*. 1 de Febrero.
- Secretaría de Salud (2021). “518. Resistencia antimicrobiana, una amenaza para la salud pública”. *Secretaría de Salud*. 22 de Noviembre.
- Secretaría del Medio Ambiente [SEDEMA]. (2020). “Separar correctamente los residuos evita la propagación de COVID-19”. 01 de Abril.
- Selvam, S., P. Muthukumar, S. Venkatramanan, P.D. Roy, K. Manikanda Bharath, y K. Jesuraja (2020). “SARS-COV-2 pandemic lockdown: Effects on air quality in the industrialized Gujarat state of India”. *Science of the Total Environment* 737: 140391.
- Sharma, Shivika, y Subhankar Chatterjee (2017). “Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review”. *Environmental Science and Pollution Research* 24 (27): 21530-21547.
- Shen, Maocai, Zhuotong Zeng, Biao Song, Huan Yi, Tong Hu, Yaxin Zhang, Guangming Zeng, y Rong Xiao (2021). “Neglected microplastics pollution

- in global COVID-19: Disposable surgical masks”. *Science of the Total Environment* 790: 148130.
- Siciliano, Bruno, Guilherme Dantas, Cleyton da Silva, y Graciela Arbilla (2020). “Increased ozone levels during the COVID-19 lockdown: Analysis for the city of Rio de Janeiro, Brazil”. *Science of the Total Environment* 737: 139765.
- Singh, Vikas, Shweta Singh, Akash Biswal, Amit P. Kesarkar, Suman Mor, y Khaiwal Ravindra (2020). “Diurnal and temporal changes in air pollution during COVID-19 strict lockdown over different regions of India”. *Environmental Pollution* 266: 115368.
- SocArXiv (2021). *SocArXiv Papers | Ivermectin and the odds of hospitalization due to COVID-19: evidence from a quasi-experimental analysis based on a public intervention in Mexico City*. <https://osf.io/preprints/socarxiv/r93g4/>
- SocArXiv (2022). “On withdrawing “Ivermectin and the odds of hospitalization due to COVID-19,” by Merino et al”. <https://socopen.org/2022/02/04/on-withdrawing-ivermectin-and-the-odds-of-hospitalization-due-to-covid-19-by-merino-et-al/>
- Tarazona, José V., Marta Martínez, María-Aránzazu Martínez, y Arturo Anadón (2021). “Environmental impact assessment of COVID-19 therapeutic solutions. A prospective analysis”. *Science of the Total Environment* 778: 146257.
- Travaglio, Marco, Yizhou Yu, Rebeka Popovic, Liza Selley, Nuno Santos Leal, y Luis Miguel Martins (2021). “Links between air pollution and COVID-19 in England”. *Environmental Pollution* 268: 115859.
- Usman, Muhammad, Muhammad Farooq, y Khalil Hanna (2020). “Environmental side effects of the injudicious use of antimicrobials in the era of COVID-19”. *Science of the Total Environment* 745: 141053.
- Vale, Mariana M., Erika Berenguer, Marcio Argollo de Menezes, Ernesto B. Viveiros de Castro, Ludmila Pugliese de Siqueira, y Rita de Cássia Q. Portela (2021). “The COVID-19 pandemic as an opportunity to weaken environmental protection in Brazil”. *Biological Conservation* 255: 108994.

- Vallero, Daniel A. (2014). *Fundamentals of Air Pollution*. Fifth Edition. Elsevier Academic Press.
- Vega, Everardo, Anil Namdeo, Lindsay Bramwell, Yosune Miquelajauregui, Cintia G. Resendiz-Martinez, Mónica Jaimes-Palomera, Francisco Luna-Falfan, A. Terrazas-Ahumada, Kamal J. Maji, Jane A. Entwistle, Juan C. Nuñez Enríquez, Juan M. Mejia, Aurélie Portas, Louise Hayes, y Richard McNally (2021). “Changes in air quality in Mexico City, London and Delhi in response to various stages and levels of lockdowns and easing of restrictions during COVID-19 pandemic”. *Environmental Pollution* 285: 117664.
- Viteri, Guilherme, Yolanda Díaz de Mera, Angel Rodríguez, Diana Rodríguez, Mercedes Tajuelo, Alberto Escalona, y Alonso Aranda (2021). “Impact of SARS-COV-2 lockdown and de-escalation on air-quality parameters”. *Chemosphere* 265: 129027.
- Wagner, Martin, Christian Scherer, Diana Alvarez-Muñoz, Nicole Brennholt, Xavier Bourrain, Sebastian Buchinger, Elke Fries, Cécile Grosbois, Jörg Klasmeier, Teresa Marti, Sara Rodriguez-Mozaz, Ralph Urbatzka, A Dick Vethaak, Margrethe Winther-Nielsen, y Georg Reifferscheid (2014). “Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know”. *Environmental Sciences Europe* 26 (1): 1-9.
- World Health Organization [WHO]. (2022). “Air pollution” [en línea]. Disponible en <https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1> (Consulta: 31 de marzo 2022).
- Xiang, Jianbang, Elena Austin, Timothy Gould, Timothy Larson, Jeffry Shirai, Yisi Liu, Julian Marshall, y Edmund Seto (2020). “Impacts of the COVID-19 responses on traffic-related air pollution in a Northwestern US city”. *Science of the Total Environment* 747: 141325.

Tomo 14

La década COVID en México

Ecología, medio ambiente y sustentabilidad



La pandemia de COVID-19 es una de las manifestaciones más notorias de los procesos globales que están afectando a la humanidad. Los efectos de las actividades antropogénicas y los cambios climáticos, demográficos y tecnológicos han modificado los patrones de riesgo de las enfermedades infecciosas en las últimas décadas. Estas enfermedades han aparecido cada vez con mayor frecuencia debido a múltiples factores, entre los que se encuentran la destrucción de los ecosistemas naturales, la urbanización, la intensificación de la agricultura, la industrialización y el cambio climático. Estas enfermedades se propagan inesperadamente a sitios donde antes no ocurrían, debido a los cambios en los patrones de distribución geográfica de las especies patógenas y a su rápida dispersión gracias a la gran conectividad global. Este libro pretende mostrar que la emergencia de las pandemias tiene un profundo sustento en la destrucción de la naturaleza y la pérdida irreversible de la biodiversidad. El análisis de los procesos ecológicos y evolutivos contribuirá a entender los mecanismos, la persistencia y la aparición de nuevas variantes de patógenos causantes de enfermedades infecciosas.



SECRETARÍA GENERAL

Universidad Nacional Autónoma de México



DGCS
Dirección General de Comunicación Social



COORDINACIÓN
DE HUMANIDADES