

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>	

La pandemia de COVID-19 en el Antropoceno

1

Ken Oyama

Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, UNAM

INTRODUCCIÓN

La pandemia de COVID-19 ha ocasionado el fallecimiento de cerca de siete millones de personas, aunque el *Institute for Health Metrics and Evaluation* (Instituto para las Métricas y Evaluación de la Salud) y el grupo *COVID-19 Excess Mortality Collaborators* (Sachs *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022) estiman que son más de 18 millones. Un problema inicial de salud pública se convirtió en una crisis mundial con impactos muy importantes en el ámbito social, económico y político (Dobson *et al.*, 2020; Maire *et al.*, 2022). La cooperación internacional se vio claramente superada por la falta de acciones coordinadas para atender problemas que van desde la falta de información sobre la situación de la pandemia hasta la implementación de medidas adecuadas para enfrentar y disminuir sus impactos a nivel global. Se ha puesto en evidencia la desigualdad no sólo en términos de los sistemas de salud públicos y privados, sino en las grandes desigualdades sociales y económicas entre países. La *Comisión Lancet COVID-19*, en un reporte reciente, hace un análisis muy detallado sobre lo ocurrido en los años de pandemia y propone una serie de medidas para construir: “una nueva era de cooperación multilateral sólida basada en las instituciones de las Naciones Unidas que reduzca los peligros del COVID-19, enfrente la siguiente pandemia, y alcance las metas acordadas por los miembros de la Naciones Unidas sobre el desarrollo sustentable, los derechos humanos y la paz” (Sachs *et al.*, 2022: 1224).

La rápida respuesta y el desarrollo de múltiples vacunas es una muestra de que la cooperación entre científicos, gobiernos y empresas, así como el financiamiento oportuno, puede lograr avances sustanciales para la solución de un problema común. Sin embargo, la falta de una coordinación multilateral internacional ha puesto en evidencia problemas de propiedad intelectual, transferencia biotecnológica, financiamiento a la investigación científica, distribución de las vacunas y su aplicación. Por ejemplo, el Banco de Inversiones de Europa (*European Investment Bank*) y el Ministerio de Educación e Investigación del Gobierno Federal de Alemania financiaron a la empresa BioNTech con 475 millones de euros para el desarrollo de vacunas de RNA mensajero.^{1,2} A esto hay que sumar las capacidades humanas y la infraestructura de investigación científica y tecnológica ya instalada en diversas instituciones en Alemania. Estados Unidos, China y Rusia hicieron inversiones similares o mayores, creando consorcios entre fundaciones privadas, gobiernos, universidades y empresas;³ de ahí el origen y la diversidad de vacunas que se han creado⁴ y utilizado para disminuir los efectos de la COVID-19 y de las variantes virales que han evolucionado en estos años de pandemia. Sin embargo, la mayoría de los países, incluyendo México, no cuentan con la infraestructura ni el financiamiento o las políticas institucionales que se requieren para atender una crisis

¹ European Commission. Investment Plan for Europe: European Investment Bank to provide BioNTech with up to 100 million Euros in debt financing for COVID-19 vaccine development and manufacturing. Jan 24, 2022. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/ro/ip_20_1034 (consulta sep. 19, 2022).

² BioNTech. BioNTech to receive up to 375 million Euros in funding from German Federal Ministry of Education and Research to support COVID-19 vaccine program BNT162. Sept 15, 2020. <https://investors.biontech.de/news-releases/news-release-details/biontech-receive-eu375m-funding-german-federal-ministry> (consulta sep. 19, 2022).

³ Moderna. mRNA Strategic collaborators: government organizations. 2021. <https://test.modernatx.com/ecosystem/strategic-collaborators/mrna-strategic-collaborators-government-organizations> (consulta sep. 19, 2022).

⁴ Al inicio de la pandemia de COVID-19, se mencionaron al menos 44 vacunas en diferentes estados de desarrollo. Berkley S. (2020). DOI:10.1126/science.abb8654.

sanitaria de la magnitud de la pandemia actual, lo que muestra las profundas desigualdades institucionales existentes.

A pesar de las múltiples investigaciones y los avances logrados para entender el origen y la evolución de la enfermedad, las especulaciones en los medios de comunicación continúan generando una gran desinformación en la opinión pública, situación que ha prevalecido en estos años y que al parecer continuará por más tiempo. La difusión de los descubrimientos científicos acerca de las características biológicas de los virus, los mecanismos bioquímicos y fisiológicos del contagio y la importancia de las vacunas y su aplicación es muy importante para contribuir a una sociedad mejor informada y consciente, ya que la emergencia de nuevas epidemias continuará en el futuro.

Un aspecto fundamental para entender integralmente la pandemia del COVID-19 y, en general, lo que ha ocurrido con las pandemias anteriores (también conocidas como enfermedades infecciosas emergentes), es analizar los procesos ecológicos y evolutivos involucrados para diferenciar los factores inmediatos o proximales (el papel de la interacción genes-función-ambiente) de los evolutivos (la aparición y persistencia de nuevas variantes virales) (Stearns y Koella, 2008). En un momento en donde se valora y cuestiona el papel de los humanos en la transformación del planeta Tierra, es central entender cómo esta transformación ha catalizado la emergencia de nuevas pandemias como las que hemos padecido en los últimos años. Esta nueva época se conoce ya como el *Antropoceno* (Lewis y Maslin, 2015; Subbramanian, 2019), el cual se considera que inició a finales del siglo XVIII, cuando se demostró que las concentraciones de dióxido de carbono y metano en la atmósfera se incrementaban, así como los niveles de contaminación, las tasas de deforestación de los ecosistemas naturales, el consumo desmedido del agua, el abuso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura y el imparable crecimiento de la población humana. Todos estos procesos indican y dan evidencia irrefutable del tremendo impacto negativo de las actividades humanas en el planeta (Crutzen, 2002).

Lamentablemente, al igual que otras eras geológicas caracterizadas por la extinción de especies, el Antropoceno está también definido por la llamada

Sexta Extinción Masiva de la Biodiversidad, la cual es la más intensa registrada en la historia de la vida sobre la Tierra (Ricketts *et al.*, 2005; Pimm *et al.*, 2014; Ceballos *et al.*, 2015). El nobel Paul J. Crutzen, en un trabajo seminal, acuñó el término de Antropoceno y estimó que si “no ocurre una catástrofe global –la caída de un meteorito, una guerra mundial o una pandemia– la humanidad continuará siendo una fuerza ambiental durante muchos milenios” (Crutzen, 2002: 23). No ha caído un meteorito de las dimensiones del que ocasionó la extinción de gran parte de la vida en la Tierra en el Cretácico; no ha ocurrido una guerra mundial, aunque se han desatado innumerables guerras regionales; pero sí ha ocurrido una pandemia, que no extinguió la vida en el planeta, pero que ha dejado secuelas importantes. El planeta Tierra vive una crisis ambiental sin precedentes, con un alto riesgo de que muchos de sus procesos naturales alterados negativamente se vuelvan irreversibles. La destrucción de los ecosistemas naturales y la alteración del clima por las actividades humanas han llegado a tal punto que tardarán décadas en recuperarse. Es por ello que se requiere una nueva forma de gestión y gobernanza del planeta que englobe una nueva ética para la planeación y el uso sustentable de sus recursos (Steffen *et al.*, 2011).

Los Objetivos del Desarrollo Sostenible enunciados por acuerdo de los países miembro de las Naciones Unidas, en la famosa *Agenda 2030*, reflejan la gran preocupación por trazar nuevas rutas para reconstruir un mundo mejor para el sostén de la vida de ésta y la de las futuras generaciones. Sin embargo, la pandemia de COVID-19 vino a evidenciar las limitaciones y los alcances reales de cada uno de los países para alcanzar estos objetivos y en muchos casos obligó a los gobiernos a reasignar los recursos disponibles hacia la contención de la pandemia y desviar las políticas encaminadas al cumplimiento de estos objetivos. Sin embargo, cumplir con esta agenda es dar un paso más para alcanzar un desarrollo armónico con la naturaleza, combatir problemas globales como el cambio climático, eliminar la pobreza, mejorar la salud y la educación y conservar los ecosistemas naturales, entre muchos otros.

LAS ENFERMEDADES INFECCIOSAS EMERGENTES

Las enfermedades infecciosas emergentes, como el síndrome respiratorio agudo severo (SARS), el síndrome respiratorio del Medio Oriente (MERS) y las enfermedades virales del zika, ébola, hendra y nipah han constituido amenazas importantes para la salud pública. Todas estas enfermedades tienen en común que los potenciales portadores son animales silvestres, entre los que se incluyen primariamente a los murciélagos (Anthony *et al.*, 2017; Wang y Anderson, 2019). Los murciélagos constituyen uno de los grupos de mamíferos más ricos en especies y poseen una amplia distribución geográfica; asimismo, juegan un papel muy importante en el mantenimiento de los ecosistemas naturales por los servicios ambientales que proveen, como la polinización, la dispersión de semillas y el control de plagas (Irving *et al.*, 2021) (véase Medellín, 2023; capítulo 7 en este libro). Entre las más de 6,400 especies de mamíferos, se conocen más de 1,400 especies de murciélagos con características biológicas únicas, producto de una larga evolución por cerca de 64 millones de años. Una de sus características que más llama la atención es el sistema inmune que poseen, que les permite prevenir a pesar de ser portadores de muchos patógenos virales (Irving *et al.*, 2021).

Las enfermedades infecciosas capaces de transmitirse a los seres humanos son denominadas enfermedades zoonóticas emergentes y afectan seriamente la salud humana, las cuales 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, el incremento de la transportación y de la movilidad, y el cambio climático (Allen *et al.*, 2017; Wang y Anderson, 2019) (véase García-Oliva, 2023; capítulo 3 en este libro). Estas enfermedades emergentes y reemergentes provocadas por diversos patógenos endémicos se propagan inesperadamente a sitios donde antes no ocurrían debido a los cambios en los rangos de distribución de las especies patógenas y a una rápida dispersión causada por la gran conectividad global. Los cambios antropogénicos, climáticos, demográficos y tecnológicos han cambiado los patrones de los riesgos de las

enfermedades infecciosas en las últimas dos décadas (Baker *et al.*, 2022). Una clara evidencia de esto es que entre 1940 y 2004 se registraron 335 eventos de enfermedades infecciosas en todo el mundo ocasionados por agentes como virus, bacterias, hongos, helmintos y protozoarios. Particularmente, hay una tendencia al incremento de las enfermedades zoonóticas por diversos virus alojados inicialmente en animales silvestres (Jones *et al.*, 2008). Por ello, Kates E. Jones y sus colegas concluyeron hace más de una década que “la zoonosis por animales silvestres representa la amenaza más significativa y creciente de salud global de todas las enfermedades emergentes” (Jones *et al.*, 2008: 992).⁵

EL INICIO DE LA PANDEMIA DE COVID-19

Una nueva enfermedad respiratoria severa fue descubierta en un paciente el 12 de diciembre de 2019 en la ciudad de Wuhan, China. Esta enfermedad, conocida como COVID-19 (World Health Organization [WHO], 2020), se ha propagado por todo el mundo y es producida por el coronavirus tipo 2 causante del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-COV-2), que pertenece al subgénero *Sarbecovirus* del género *Betacoronavirus* (Gorbalenya, 2020; Wu *et al.*, 2020). En la búsqueda del origen de este virus y de su enfermedad asociada, hay dos rutas de información convergentes que nos permiten postular una hipótesis sobre su naturaleza.

⁵ Este estudio, publicado en una de las revistas científicas más importantes del mundo, no recibió la atención que merecía. En éste se plantearon los factores causantes de estas enfermedades, como el aumento exponencial de la conectividad y comunicación humana (ya sea por vía aérea, terrestre o marítima), el incremento poblacional humano desmedido (con una proyección de ocho mil millones de habitantes para el 2050), la degradación de los ecosistemas, el incremento del contacto entre los animales silvestres y las poblaciones humanas (particularmente en sitios de una alta biodiversidad), y los efectos del cambio climático que están modificando los patrones de distribución de los vectores y transmisores de las enfermedades infecciosas emergentes.

Por un lado, las investigaciones epidemiológicas llevadas a cabo por el personal del *Wuhan Center for Disease Control and Prevention* (el Centro para el Control y Prevención de Enfermedades de Wuhan) revelaron que el paciente con esta nueva enfermedad respiratoria era un trabajador de un mercado local de productos marinos en el que también se comercializaba comúnmente una diversidad de animales silvestres vivos, como erizos, tejones, víboras y tórtolas, entre otros, así como carne animal de diversas especies. Curiosamente no se reporta la venta de murciélagos en este mercado (Wu *et al.*, 2020). Por otro lado, para conocer el potencial agente etiológico se realizó un análisis de secuenciación metatranscriptómica de los fluidos de un lavado bronco-alveolar del paciente y se descubrió que el virus que provocó la enfermedad tenía un parecido del 89.1% con un coronavirus de murciélago parecido al SARS (SL-COVZC45) (Wu *et al.*, 2020). De aquí surge la hipótesis de que el ancestro del SARS-COV-2 tendría que ser algún coronavirus de murciélago que fue transmitido al humano. A partir de esta primera evidencia, se han analizado un sinnúmero de coronavirus parecidos al SARS de murciélagos y otros animales.⁶

Los antecedentes de la emergencia del virus SARS-COV-2 se pueden remontar a principios de este siglo. En 2002, un coronavirus respiratorio nuevo emergió en Foshan, provincia de Guangdong, en el sureste de China (Ksiazek *et al.*, 2003). Este virus causante del síndrome respiratorio agudo severo (SARS) se propagó por varios países, infectando a miles de personas y, aunque se logró controlar su propagación un año después, fue el primer coronavirus que causó síntomas severos en humanos (Ksiazek *et al.*, 2003). Tras tres años de investigación, se descubre que los murciélagos del género *Rhinolophus* portan coronavirus similares (Li *et al.* 2005), a los cuales genéricamente se les conoce como coronavirus relacionados con el SARS (SARS-COV por sus siglas en inglés). Los estudios filogenéticos indican que los SARS-COV más parecidos al SARS-COV-2 se obtuvieron en muestras de murciélagos recolectados en la provin-

⁶ Los detalles de estas investigaciones están fuera de los objetivos del presente capítulo ya que la información es tan rica en términos biológicos y genómicos que requiere un tratamiento propio. Cabe resaltar que en menos de tres meses desde que apareció el primer paciente se contó con el genoma completo de este nuevo virus (Wu *et al.*, 2020).

cia de Yunnan, China, a más de 1,500 km de distancia de Wuhan. Otro dato importante es que los SARS-COV se han encontrado en varias regiones de China, Tailandia, Camboya y Japón (Lytras *et al.*, 2021). Sin embargo, no hay evidencias contundentes sobre los transmisores directos de la enfermedad; es decir, si son los murciélagos directamente o algún otro animal hospedero intermediario previamente contagiado por los murciélagos, o incluso si estos otros animales son reservorios permanentes de los coronavirus y contagian directamente a los humanos.

El hecho de que no se reporte la venta de murciélagos en los mercados de Wuhan, incluyendo el mercado Huanan, considerado el epicentro del inicio de la pandemia, sugiere un animal diferente como hospedero, intermediario entre la fuente del brote y la transmisión de la enfermedad. Lo complejo de este asunto es que la venta de animales vivos en los mercados de Wuhan incluye especies silvestres como, mapaches y tejones, y animales criados, como visones, zorras o gatos civetas; todos susceptibles de contener sarbecovirus y que están en contacto directo con humanos (Lytras *et al.*, 2021; Xiao *et al.*, 2021). La mayoría de los animales se comercializan vivos y se encuentran enjaulados y apilados en condiciones higiénicas muy deplorables.⁷ La magnitud de la industria de la cría de fauna silvestre en China es poco conocida, pero a raíz del interés de este tema por la pandemia del COVID-19, se estima que más de seis millones de personas intervienen en esta industria, que alcanza un valor de 18 mil millones de dólares (Wang *et al.*, 2020).

Un evento adicional, ocurrido en 2019, fue la reducción del suministro de carne de cerdo por la enfermedad del virus de la peste porcina africana (ASFV, por sus siglas en inglés) que ocasionó el sacrificio de cerca de un millón de cerdos en China para combatir y controlar esta enfermedad. Aunque las estimaciones no son muy precisas, se menciona que el inventario de cerdos

⁷ Estos comercios ofrecen, además, el servicio de carnicería en el sitio sin ningún control sanitario. Además, las nuevas tendencias culinarias en restaurantes exclusivos de China, Japón, y seguramente otros países, que ofrecen platillos con “carnes exóticas de animales silvestres”, son otro factor por analizar en el tema del comercio de la fauna silvestre (Zhou *et al.*, 2015; Kaneko *et al.*, 2017).

disminuyó entre 118 y 175 millones de cabezas (Xia *et al.*, 2021). Esta reducción tuvo efectos importantes en el consumo de carne en varias regiones del país, con lo que se incrementó el aprovechamiento de la carne de animales silvestres como sustituto de la carne de cerdo, con todos los efectos de contaminación asociados y siendo un posible catalizador del contagio del SARS-COV-2 en animales domésticos y en humanos (Xia *et al.*, 2021). La falta de alimento ha ocasionado que la caza de la fauna silvestre sea cada vez más común como un satisfactor inmediato, y con esto la proliferación de este tipo de comercio. Esto puede llegar a ser totalmente irracional y fuera de toda lógica, como la caza de elefantes, tigres o hipopótamos para obtener diversos productos para fines medicinales o alimenticios. La pandemia del COVID-19 ha mostrado al mundo el manejo ilegal e injustificado de la fauna silvestre. Un análisis integral sobre este tema para México se presenta en Arroyo-Quiroz (2023; véase capítulo 8 en este libro).

LOS AVANCES CIENTÍFICOS

Las enfermedades infecciosas emergentes son causadas por una transmisión entre especies de virus cuyos reservorios naturales están en los animales silvestres; esta transmisión a los humanos puede darse de forma directa o a través de un hospedero intermediario. Los murciélagos y otros mamíferos son los hospederos naturales de algunos de los virus más virulentos para el humano, sin que los animales presenten síntomas aparentes (Wang y Anderson, 2019). A pesar de contar con varias vacunas para prevenir el contagio del SARS-COV-2, es escaso el conocimiento sobre las posibles causas o mecanismos relacionados con la susceptibilidad y la severidad de la enfermedad de COVID-19. El análisis genético-funcional comparado entre los genomas de murciélagos y primates (incluyendo al humano) ha identificado 38 proteínas en murciélagos y 81 en primates con signos o marcas de selección positiva, y 17 genes con señales de adaptación producto de las interacciones entre virus y mamíferos, así como eventos de epidemias de coronavirus en el pasado que han moldeado la evolu-

ción de los genomas de ambos grupos de mamíferos (Cariou *et al.*, 2022). Aún más interesante, se encontró que los genes asociados con los procesos metabólicos inflamatorios han evolucionado rápidamente en los murciélagos, pero no en los primates, lo que indica los determinantes genéticos de la susceptibilidad y severidad al virus (Cariou *et al.*, 2022).

La comparación genómica entre personas graves por COVID-19 y personas aparentemente no contagiadas ha permitido descubrir dos mecanismos que pueden predisponer al riesgo de morir al contraer la enfermedad: el fracaso de controlar la replicación viral y la tendencia a una inflamación pulmonar y coagulación intravascular (Kousathansa *et al.*, 2022). Estudios recientes han identificado un grupo de genes en el cromosoma 3 de los humanos como un locus de riesgo respiratorio después de una infección por SARS-COV-2 (Ellinghaus *et al.*, 2020; The COVID-19 Host Genetics Initiative, 2020).⁸ Con esta evidencia científica se han descubierto los mecanismos genéticos relevantes de la enfermedad que conllevarán a combatirla una vez que se desarrollen clínicamente los tratamientos médicos.

Las rutas de transmisión de una enfermedad se pueden rastrear prácticamente a nivel individual o poblacional con base en la información de la secuenciación de los genomas de SARS-COV-2. Es tal la información generada (más de 100,000 secuencias al 15 de septiembre de 2020) que se han propuesto diversas hipótesis filogenéticas (relaciones y diversificaciones entre variantes virales) y filogeográficas (relaciones entre linajes de variantes virales) que permiten distinguir entre una transmisión entre los miembros de una comunidad y la introducción de múltiples variantes (Lemey *et al.*, 2020). Los virus tienen varias particularidades evolutivas, como su tasa de mutación, que es un millón de veces mayor que la de los vertebrados. Esto hace que su dinámica evolutiva sea única, ya que se caracteriza por la generación de mutaciones y adaptaciones *de novo* ante cambios ambientales, mientras que otras especies depen-

⁸ Un análisis filogenético de este grupo de genes indica que cerca del 50% de personas en el sureste asiático, 16% en Europa y 9% en las Américas poseen este factor de riesgo respiratorio, el cual fue heredado de los neandertales (Zeberg y Pääbo, 2020).

den de una variación genética preexistente mantenida en las poblaciones por selección natural (Pybus y Rambaut, 2009).

Estos estudios genómicos tan detallados nos muestran el potencial de poder entender los mecanismos básicos que explican el origen de las enfermedades. En el genoma de los seres vivos se encuentran las señales de las historias de vida que han conducido a sus sistemas inmunológicos actuales. Al entender la evolución biológica de las enfermedades mediante el análisis y la comparación de los genomas de los seres vivos se podrán explicar las trayectorias evolutivas de los sistemas inmunológicos y sus interacciones coevolutivas con sus patógenos (Pybus y Rambaut, 2009; Benton *et al.*, 2021; Jungreis *et al.*, 2021; Ruiz-Aravena *et al.*, 2021). Esta información genómica ha permitido generar nuevos modelos analíticos para entender la aparición de nuevas variantes (mutaciones), la predominancia de los distintos linajes virales en el mundo, y la naturaleza de las variantes que son importantes para la sobrevivencia de las personas (Obermeyer *et al.*, 2022).

En la investigación clínica en salud es fundamental el uso y desarrollo de modelos animales para acelerar las pruebas y ensayos de vacunas y agentes terapéuticos. Indiscutiblemente, los avances en este sentido han sido y serán fundamentales para avanzar en el estudio de COVID-19 y otras enfermedades emergentes (Muñoz-Fontella *et al.*, 2020). Por ello, es muy importante respetar el uso de animales en la investigación experimental, incluyendo a los primates no humanos (Singh *et al.*, 2021). Aunado a esto, es importante evitar la mala interpretación de que los murciélagos u otros animales silvestres son los causantes directos de las enfermedades infecciosas (MacFarlane y Rocha, 2020; Tarakini *et al.*, 2021; Mouafo *et al.*, 2022), ya que el estudio bioquímico y genómico de las estructuras de las proteínas de murciélagos y pangolines provee información muy valiosa para entender la evolución del SARS-COV-2, particularmente de los mecanismos y la eficiencia de la infección a humanos, para con esto descubrir los hospederos intermediarios (Li *et al.*, 2020; Xiao *et al.*, 2020; Conceicao *et al.*, 2021; Dicken *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021). Los estudios en primates no humanos, como macacos, babuinos y monos títies,

también han demostrado que son modelos adecuados para el desarrollo de las vacunas y terapias para el COVID-19 y otras enfermedades (Singh *et al.*, 2021).

Los modelos matemáticos epidemiológicos forman parte de la investigación teórica de las enfermedades para diseñar estrategias de control y regulación, ya que permiten comprender la dinámica de la transmisión y su propagación (véase Sánchez-Larios, 2023; capítulo 9 en este libro). Estos modelos pueden extenderse para trazar las posibles trayectorias de la interacción entre la estacionalidad y la variación geográfica del clima con la susceptibilidad y la transmisión de COVID-19 (Baker *et al.*, 2020). Los modelos matemáticos pueden incluir el análisis de las tasas de propagación de la enfermedad, explorar posibles escenarios futuros, evaluar retrospectivamente la eficiencia de intervenciones específicas e identificar estrategias prospectivas (Metcalf *et al.*, 2020). También pueden combinar datos demográficos, patrones de contagio (contacto), la severidad de la enfermedad y la capacidad de los sistemas de salud de un país para entender mejor la calidad de las intervenciones para controlar la enfermedad (Walker *et al.*, 2020). El monitoreo y seguimiento espacial y temporal de las enfermedades en todas sus etapas son fundamentales para delinear las medidas por tomar al tratar de combatirlas. Para el caso de la pandemia de COVID-19, se desarrollaron diversas plataformas informáticas que fueron la base de los modelos utilizados para comprender la dinámica de esta enfermedad (véase Guilardi *et al.*, 2023; capítulo 10 en este libro). Aunado a esto, el desarrollo tecnológico en la secuenciación de los genomas virales, la sofisticación de nuevos métodos de análisis estadístico y la computación de alto rendimiento permitirán construir modelos más robustos para entender mejor la dinámica de las enfermedades y su control (Pybus y Rambaut, 2009).

En el campo de la ecología se abren nuevas oportunidades de investigación al aplicar los avances en la teoría de la ecología de las comunidades a las enfermedades infecciosas para conocer los mecanismos de las interacciones ecológicas que subyacen en éstas, ya que constituyen complejos ensamblajes de múltiples especies (hospederos, parásitos y vectores) que deben de ser analizados en distintas escalas de organización biológica (Johnson *et al.*, 2015), y considerando diversos escenarios de modificación ambiental como la dinámica del uso del suelo y el cambio climático.

CAMBIOS GLOBALES, PROBLEMAS GLOBALES, SOLUCIONES GLOBALES

Es impresionante el impacto que ha tenido la pandemia de COVID-19 en todo el mundo. Lo que se predecía como un problema sanitario temporal se ha convertido en una de las crisis más importantes, si no la más importante, de este siglo. Llevamos más de dos años en un estado de emergencia sanitaria con restricciones sociales diferenciadas según la política de cada país, pero que indican que la pandemia está presente. Las consecuencias en todos los ámbitos de la vida son incuestionables. De acuerdo con el secretario general de las Naciones Unidas, Antonio Guterres, “[la] recesión económica derivada de la pandemia ha arrojado entre 119 y 124 millones de personas más a la pobreza extrema, cuya erradicación se ve agravado con los conflictos del cambio climático y los desastres naturales” (United Nations Secretary General, 2021). Ante esto, lo esperado es que este fenómeno pandémico mundial debe tener soluciones globales. En distintos ámbitos científicos y sociales hay iniciativas para intentar construir sociedades más sustentables (Hodges y Jackson, 2020; Lehman *et al.*, 2021; Rosenbloom y Markard, 2021).

La pandemia de COVID-19 ha remarcado uno de los fenómenos más transformadores de nuestro planeta: el cambio global. En esto se incluyen varios procesos que alteran seriamente el funcionamiento del planeta en su conjunto. El más conocido es el cambio climático, cuyas consecuencias son cada día más dramáticas. El aumento en la temperatura en varias regiones del planeta ha alterado los ciclos climáticos naturales y el funcionamiento de los ecosistemas, desde cuestiones tan básicas como la estacionalidad de los climas hasta el derretimiento de los glaciares. Por un lado, se reportan sequías severas e incremento de incendios en varias regiones del mundo y, por el otro, el incremento de lluvias e inundaciones desproporcionadas en otras partes. Estos fenómenos son indicadores de la anormalidad y el cambio de los regímenes climáticos que habían prevalecido durante las décadas pasadas. Las predicciones y los escenarios propuestos por los expertos en cambio climático indican no sólo un aumento en la temperatura y una disminución de la precipitación

pluvial en varias regiones del mundo, sino una gran impredecibilidad e incertidumbre en el clima, lo cual traerá cambios no previstos en varios fenómenos meteorológicos.

La vida humana está en gran medida regida por el clima, como ocurre con la agricultura y la producción de alimentos (Mehrabi, 2020). Esto ocasionará procesos que van desde cambios en los tiempos de siembra y tipos o variantes de cultivos (adaptación *in situ*) hasta la migración a otros sitios (adaptación *ex situ*) como una medida de mitigación al cambio climático. La disponibilidad de suelos de cultivo, la productividad agrícola, su comercialización, el acceso a los mercados y sobre todo la dinámica social y económica que se genera son factores que comprometen la producción de alimentos (Sloat *et al.*, 2020). Procesos biológicos aparentemente tan simples como la fenología de las plantas y su interacción con sus polinizadores se han alterado a tal grado que la falta de los polinizadores está amenazando la producción de los alimentos que provienen de los cultivos en sitios abiertos (Potts *et al.*, 2010) y las predicciones al futuro no son nada alentadoras (Remolina-Figueroa *et al.*, 2022). La intensificación de los sistemas agrícolas y los cambios ambientales asociados, así como la expansión de la producción ganadera, particularmente en las proximidades de los remanentes de los ecosistemas naturales, son los principales factores que incrementan las probabilidades de contagios de las enfermedades zoonóticas (Jones *et al.*, 2013).

Otro fenómeno que podemos incluir en el cambio global es la invasión de especies; es decir, especies que se desplazan fuera de sus hábitats naturales para ocupar otros territorios y que proliferan en estos nuevos espacios por la falta de sus enemigos naturales. Estas especies invasoras pueden ocasionar transformaciones importantes al grado de alterar ecosistemas completos y provocar la extinción de las especies locales. El cambio climático y la invasión de las especies están modificando la biogeografía de las especies, cuyas distribuciones originales se modifican, ya sea expandiendo o reduciendo sus poblaciones. Otras especies son desplazadas por estas invasiones y en otros casos ocurren extinciones locales por la competencia entre especies invasoras y locales. La alteración del equilibrio natural de los ecosistemas naturales

trae consecuencias igualmente imprevistas como la extinción de especies, la pérdida de la biodiversidad, el colapso de las interacciones bióticas, la modificación de la estructura y funcionamiento de las comunidades biológicas y la proliferación de enfermedades (Blois *et al.*, 2013; Senapathi *et al.*, 2015; Jordano, 2016; Kovács-Hostyánszki *et al.*, 2017) (véase Sánchez-Cordero *et al.*, 2023; capítulo 6 en este libro).

La destrucción de los ecosistemas es uno de los fenómenos más preocupantes a nivel mundial. Esta destrucción aparentemente lenta de los sistemas naturales se ha ido acelerando conforme se da un crecimiento alarmante de las poblaciones humanas. De acuerdo con las Naciones Unidas, el estimado poblacional mundial ha rebasado los 8 mil millones de personas,⁹ y con el 60% ocupando sitios urbanos. Este crecimiento demográfico requiere de satisfactores básicos como alimento, agua y vivienda, en gran medida obtenidos a costa de los sistemas naturales.

COMENTARIOS FINALES

La emergencia y el desarrollo de la pandemia de COVID-19 muestra probablemente el inicio de una nueva era de enfermedades emergentes y reemergentes que se propagan rápidamente por todo el mundo por la gran densidad de la población humana, su alto grado de movilidad por diversos medios de transporte, el gran impacto que tiene la actividad humana sobre la naturaleza y la poca o nula capacidad para responder a los procesos globales irreversibles, como el cambio climático. No existen actualmente acciones efectivas dentro de una política global para solucionar los grandes problemas que aquejan a la humanidad.

De acuerdo con la *Plataforma Intergubernamental Científico Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas* (IPBES, por sus siglas en inglés), existen entre 540,000 y 850,000 virus desconocidos en la naturaleza que tienen el potencial de infectar a los humanos, por lo que se pronostican

⁹ <https://www.worldometers.info/>

pandemias futuras cada vez más frecuentes y con consecuencias negativas en lo económico, social y ambiental (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [IPBES], 2020).

Desde la perspectiva de la conservación de la biodiversidad a nivel global, es importante señalar que las enfermedades emergentes no sólo se presentan en los humanos. Los riesgos que conlleva la destrucción de los ecosistemas naturales, tanto marinos como terrestres, también perjudican a las especies de animales que viven en ellos (Dasnak *et al.*, 2000; Tompkins *et al.*, 2015). En la última década, se han reportado en diversos países nuevas enfermedades en animales silvestres (Montecino-Latorre *et al.*, 2020), incluyendo muertes masivas de algunas especies. Tales son los casos del delfín de Guyana (*Sotalia guianensis*), cuya mortalidad se asocia con un morbilivirus de cetáceos (Groch *et al.*, 2018), y el del ciervo huemul (*Hippocamelus bisulcus*), infectado por la bacteria, *Corynebacterium pseudotuberculosis* (Morales *et al.*, 2017), que, por cierto, infecta comúnmente a animales domésticos. El caso más dramático es el de los anfibios (por ejemplo, ranas, salamandras), con más del 30% de sus especies a nivel global en la lista roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (*International Union for Conservation of Nature*). El cambio de uso del suelo, la destrucción de los ecosistemas, la contaminación de los hábitats y, sobre todo, la enfermedad causada por el hongo quítrido patógeno (*Batrachochytrium dendrobatidis*), amenazan a las poblaciones de anfibios a nivel mundial (Holt *et al.*, 2011). Conforme se recrudece el deterioro de los ecosistemas, se han descubierto más casos de este tipo, igualmente graves, tanto en especies de ecosistemas terrestres como marinos que, junto con los efectos causados por el cambio climático, evidencian la complejidad para detener, controlar y revertir el impacto de las enfermedades en las especies silvestres (Harvell *et al.*, 2019). Los perjuicios de los patógenos causados a los animales silvestres potencialmente terminan afectando a la salud humana y a los animales domésticos (Daszak *et al.*, 2000), sin olvidar los efectos en “cascada” que se desencadenan en los ecosistemas naturales.

La deforestación de los bosques y su papel en la emergencia de nuevas enfermedades es un tema central para entender las causas de contagio en

muchos países, principalmente en selvas y bosques tropicales. La deforestación es un tema complejo y existen múltiples factores causales que varían entre países e incluso entre regiones de un país. Curiosamente, al inicio de la pandemia de COVID-19, cuando se establecieron restricciones y confinamientos para evitar los contagios, las tasas de deforestación en los países tropicales se incrementaron notablemente, de acuerdo con el *Global Land Analysis & Discovery* (GLAD). Las enfermedades zoonóticas, la salud pública, la economía, la agricultura y la conservación de los bosques están entrelazadas en una compleja red de interacciones que requiere ser analizada en cada región para poder establecer políticas públicas diferenciadas que permitan alcanzar un desarrollo armónico entre estos componentes para beneficio de la humanidad (Brancalion *et al.*, 2020).

No hay que olvidar el papel de los microorganismos en el origen y la evolución de la vida misma. El rol que juegan los microorganismos en los ecosistemas naturales es fundamental, ya que intervienen en todos los procesos biológicos conocidos, como la fotosíntesis, los ciclos biogeoquímicos y la generación del suelo, entre muchos otros. Particularmente, los virus se encuentran en simbiosis con muchos organismos, incluyendo plantas y animales, y han jugado un papel muy importante en la evolución de la vida (Roossinck, 2011) (véase Campillo-Balderas, 2023; capítulo 4 en este libro). Además, en una situación en la que los ecosistemas alterados predominan en muchos lugares del mundo, es fundamental estudiar estos nuevos ambientes en los que la evolución de los microorganismos continúa con nuevos mecanismos para su sobrevivencia bajo nuevas presiones de selección (natural) (Boetius, 2019).

Diversas organizaciones e instituciones a nivel internacional están proponiendo nuevos marcos de trabajo para el cumplimiento de los objetivos de la Agenda 2030. No sólo en lo general, sino en acciones que comprometan a los países a dar pasos certeros para avanzar en la construcción de un planeta sustentable. La Convención sobre Biodiversidad de las Naciones Unidas ha puesto a disposición el nuevo marco global de biodiversidad con propuestas más atrevidas para asegurar la conservación de al menos el 30% de los territorios marinos y terrestres a nivel mundial; el control, la prevención y la

reducción de especies invasoras; la reducción del uso de pesticidas químicos; la eliminación de los desechos plásticos; y la utilización del enfoque ecosistémico para contribuir a la mitigación y a la adaptación del cambio climático, entre otras propuestas (Convention on Biological Diversity [CBD], 2021). La recuperación de los ecosistemas naturales alterados por las actividades antrópicas con un programa de restauración extensivo contribuirá a la conservación de la biodiversidad y a la estabilidad del clima del planeta (Strassburg *et al.*, 2020), con una fuerte reducción en el uso de combustibles fósiles y estimulando por otros medios la eficiencia energética (Foster *et al.*, 2020).¹⁰ Todas estas acciones repercutirán favorablemente en el control y la prevención de las enfermedades infecciosas emergentes, ya que el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y las pandemias se encuentran estrechamente interconectados. Mención especial merece el problema de la contaminación como consecuencia del uso indiscriminado de plásticos durante esta pandemia y las graves consecuencias que ocasiona no sólo en los ecosistemas, sino también en la salud humana (Adyel, 2020) (véase Chávez-Ortiz y Morón-Cruz, 2023; capítulo 11 en este libro).

En esta etapa post-COVID-19 se requieren cambios importantes, que van desde establecer nuevas estrategias que beneficien la conservación de la biodiversidad y protejan la salud humana mediante el rediseño de redes de comercio y cadenas de suministro con opciones de consumo sustentable (Pearson *et al.*, 2020), hasta un cambio global de la economía para una nueva era de bienestar y prosperidad con

una inversión que acelere la transformación sustentable e inclusiva, y con un desarrollo y crecimiento económico resiliente no únicamente para evitar las peores consecuencias potenciales del cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la degradación ambiental, sino también para crear oportunidades

¹⁰ Ante esta situación inédita, se ha proyectado una recuperación económica con base en estrategias de cambios en el consumo de energía y en las emisiones de CO₂ (Shan *et al.*, 2021).

significativas de empleo que mejore la vida de las personas en el mundo (Stern *et al.*, 2021: 2).

Una política global de prevención de enfermedades es social y económicamente más rentable y menos costosa que enfrentar las pandemias una vez que ya aparecen.

Detener la deforestación de las selvas y bosques, particularmente en regiones tropicales, implementar el manejo sustentable de la fauna silvestre, contar con programas para la detección temprana y el control de las enfermedades zoonóticas, reducir el contagio y la propagación de las enfermedades, elaborar programas de educación ambiental y realizar investigaciones acerca de virus zoonóticos potenciales desconocidos son algunas de las medidas que se deberán de implementar de forma integral y global para contender con futuras pandemias (Dobson *et al.*, 2020) (véase Alvarez-Añorve *et al.*, 2023; capítulo 5 en este libro).

La pandemia de COVID-19 ha enfatizado la necesidad de fortalecer iniciativas encauzadas por diferentes sociedades científicas, organizaciones e instituciones internacionales en diferentes partes del mundo. *Una Salud* (One Health), *EcoSalud* (EcoHealth), *GeoSalud* (GeoHealth) y *Salud Planetaria* (Planetary Health), entre otras, muestran la necesidad de aproximaciones integrales en la solución de los problemas globales que enfrenta la humanidad (Pongsiri *et al.*, 2019; Myers y Frumkin, 2020; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], United Nations Environment Programme [UNEP], the World Health Organization [WHO] y World Organization for Animal Health [WOAH], 2022; The One Earth Editorial Team, 2022) (véase Suzán-Azpiri *et al.*, 2023 y Sánchez-Cordero *et al.*, 2023; capítulos 2 y 6 en este libro, respectivamente).

Cultivar una nueva relación entre la humanidad y nuestros sistemas naturales requiere en última instancia de un cambio de comportamiento colectivo que minimice nuestras demandas sobre los recursos ambientales, y esto dependerá de una epifanía de comportamiento social: un ambiente sano es el fundamento

para la salud humana, el desarrollo sustentable y para el futuro que a todos nos gustaría ver (Almada *et al.*, 2017: 77).

Los autores de este libro contribuyen con sus reflexiones, desde sus ámbitos de experiencia, a esta necesidad global de transformar el planeta para mejorar la salud de la humanidad para su sobrevivencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adyel, Tanveer M. (2020). "Accumulation of plastic waste during COVID-19". *Science* 369 (6509): 10.1126/science.abd9925.
- Almada, Amalia A., Christopher D. Golden, Steven A. Osofsky, y Samuel S. Myers (2017). "A case for Planetary Health/GeoHealth". *GeoHealth* 1: 75-78.
- Allen, Toph, Kris A. Murray, Carlos Zambrana-Torrel, Stephen S. Morse, Carlo Rondinini, Moreno Di Marco, Nathan Breit, Kevin J. Olival, y Peter Daszak (2017). "Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases". *Nature Communications* 8: 1124.
- Alvarez-Añorve, Mariana Yólotl., Luis Daniel Avila-Cabadilla, Daniel Sokani Sánchez-Montes, Pablo Colunga-Salas, Sandra Álvarez-Betancourt, y Julieta Benítez-Malvido (2023). "Paisajes antrópicos de México y zoonosis: hacia la construcción de paisajes sostenibles y saludables". En K. Oyama y F. García-Oliva (Coords.), México: "Ecología, medio ambiente y sustentabilidad" (pp. 151-182). UNAM.
- Anthony, Simon J., Christine K. Johnson, Denise J. Greig, Sarah Kramer, Xiaoyu Che, Heather Wells, Allison L. Hicks, Damien O. Joly, Nathan D. Wolfe, Peter Daszak, William Karesh, W. I. Lipkin, Stephen S. Morse, Predict Consortium, Jonna A K., Mazet, y Tracey Goldstein (2017). "Global patterns in coronavirus diversity". *Virus Evolution* 3 (1): 1-15. vex012.
- Arroyo-Quiroz, Inés (2023). "Responsabilidad de México como agente activo en el comercio de animales silvestres para mascotas". En K. Oyama y F.

- García-Oliva (Coords.), México: "Ecología, medio ambiente y sustentabilidad" (pp. 245-275). UNAM.
- Baker, Rachel E., Wenchang Yang, Gabriel A. Vecchi, C. Jessica E. Metcalf, y Bryan T. Grenfell (2020). "Susceptible supply limits the role of climate in the early SARS-COV-2 pandemic". *Science* 369: 315-319.
- Baker, Rachel E., Ayesha S. Mahmud, Ian F. Miller, Malavika Rajaeve, Fidi-soa Rasambainarivo, Benjamin L. Rice, Saki Takahashi, Andrew J. Tatem, Caroline E. Wagner, Lin-Fa Wang, Amy Wesolowski, y C. Jessica E. Metcalf (2022). "Infectious disease in an era of global change". *Nature Reviews Microbiology* 20: 193-205.
- Benton, Mary Lauren, Abin Abraham, Abigail L. LaBella, Patrick Abbot, Antonis Rokas, y John A. Capra (2021). "The influence of evolutionary history on human health and disease". *Nature Review Genetics* 22: 269-283.
- Blois, Jessica L., Phoebe L. Zarnetske, Matthew C. Fitzpatrick, y Seth Finnegan (2013). "Climate change and the past, present, and future of biotic interactions". *Science* 341: 499-504.
- Boetius, Antje (2019). "Global change microbiology – big questions about small life for our future". *Nature Review Microbiology* 17: 331-332.
- 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 Hérault, Luiz E. O. C. Aragao, Carlos Alberto Silva, y Angélica M. Almeyda-Zambrano (2020). "Emerging threats linking tropical deforestation and the COVID-19 pandemic". *Perspectives in Ecology and Conservation* 18: 243-246.
- Campillo-Balderas, José A. (2023). "Evolución zoonótica: la compleja interacción entre los virus, el ser humano y su ambiente". En K. Oyama y F. García-Oliva (Coords.), México: "Ecología, medio ambiente y sustentabilidad" (pp. 101-149). UNAM.
- Cariou, Marie, Léa Picard, Laurent Guéguen, Stéphanie Jacquet, Andrea Cimarrelli, Oliver I. Fregoso, Antoine Molaro, Vincent Navratil, y Lucie Etienne (2022). "Distinct evolutionary trajectories of SARS-COV-2-interacting pro-

- teins in bats and primates identify important host determinants of COVID-19. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 119 (35): e2206610119.
- Ceballos, Gerardo, Paul R. Ehrlich, Anthony D. Barnosky, Andrés García, Robert M. Pringlead, y Todd M. Palmer (2015). "Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction". *Science Advances* 1 (5): 1400253.
- Conceicao, Carina, Nazia Thakur, Stacey Human, James T. Kelly, Leanne Logan, Dagmara Bialy, Sushant Bhat, Phoebe Stevenson-Leggett, Adrian K. Zagrajek, Philipa Hollinghurst, Michal Varga, Christina Tsirigoti, Matthew Tully, Chris Chiu, Katy Moffat, Adrian Paul Silesian, John A. Hammond, Helena J. Maier, Erica Bickerton, Holly Shelton, Isabelle Dietrich. Stephen C. Graham, y Dalan Bailey (2021). "The SARS-COV-2 spike protein has a broad tropism for mammalian ACE2 proteins". *PLoS Biology* 18 (12): e3001016.
- Convention on Biological Diversity [CBD] (2021). A new global framework for managing nature through 2030: first detailed draft agreement debuts. (en línea). <<https://cbd.int>> (consulta 6 de julio de 2021).
- Crutzen, Paul J. (2002). "Geology of mankind". *Nature* 415: 23.
- Chávez-Ortiz, Pamela, y José A. Morón-Cruz (2023). "Efectos de la pandemia por COVID-19 en la contaminación ambiental". En K. Oyama y F. García-Oliva (Coords.), México: "Ecología, medio ambiente y sustentabilidad" (pp. 343-365). UNAM.
- Daszak, Peter, Andrew A. Cunningham, y Alex D. Hyatt (2000). "Emerging infectious diseases of wildlife threats to biodiversity and human health". *Science* 287: 443-449.
- Dicken, Samuel J., Matthew J. Murray, Lucy G. Thorne, Ann-Kathrin Reuschl, Calum Forrest, Maaroothen Ganeshalingham, Luke Muir, Mphasto D. Kalemera, Machaela Palor, Laura E. McCoy, Clare Jolly, Greg J. Towers, Matthew B. Reeves, y Joe Grove (2021). "Characterization of B.1.1.7 and pangolin coronavirus spike provide insights on the evolutionary trajectory of SARS-COV-2". *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2021.03.22.436468>.

- Dobson, Andrew P., Stuart L. Pimm, Lee Hannah, Les Kaufman, Jorge A. Ahumada, Amy W. Ando, Aaron Bernstein, Jonah Busch, Peter Daszak, Jens Engelmann, Margaret F. Kinnaird, Binbin V. Li, Ted Loch-Temzelides, Thomas Lovejoy, Katarzyna Nowak, Patrick R. Roehrdanz, y Mariana M. Vale (2020). "Ecology and economy for pandemic prevention". *Science* 369 (6502): 379-381.
- Ellinghaus, David *et al.* [+ 146 autores del The Severe COVID-19 GWAS Group] (2020). "Genomewide association study of severe COVID-19 with respiratory failure". *The New England Journal of Medicine* 383: 1522-1534.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], United Nations Environment Programme [UNEP], the World Health Organization [WHO] y World Organization for Animal Health [WOAH] (2022). *One Health Joint Plan of Action. Working together for the health of humans, animals, plants and environment* Rome. <http://doi.org/10.4060/cc2289en>.
- Foster, Piers M., Harriet I. Forster, Mat J. Evans, Matthew J. Gidden, Chris D. Jones, Christoph A. Keller, Robin D. Lamboll, Corinne Le Quéré, Joeri Rogelj, Deborah Rosen, Carl-Friedrich Schleussner, Thomas B. Richardson, Christopher J. Smith, y Steven T. Turnock (2020). "Current and future global climate impacts resulting from COVID-19". *Nature Climate Change* 10: 913-919.
- García-Oliva, Felipe (2023). "Estado global de la degradación de los ecosistemas en la década de la pandemia de COVID-19". En K. Oyama y F. García-Oliva (Coords.), México: "Ecología, medio ambiente y sustentabilidad" (pp. 83-100). UNAM.
- Ghilardi, Adrián, Mauricio Quesada, Christopher R. Stephens, Alejandro Salinas-Medina, Gabriel E. García-Peña, José Luis Gordillo, Romel Calero, Pedro Romero-Martínez, Constantino González-Salazar, Ilse Ruiz-Mercado, Antonio Navarrete, Emily Sturdivant, y Roberto Velasco-Segura (2023). "El papel de las plataformas geoespaciales de monitoreo epidemiológico en la mitigación de las pandemias". En K. Oyama y F. García-Oliva (Coords.), México: "Ecología, medio ambiente y sustentabilidad" (pp. 313-342). UNAM.

- Gorbalenya, Alexander E., Susan C. Baker, Ralph S. Baric, Raoul J. de Groot, Christian Drosten, Anastasia A. Gylvaeva, Bart L. Haagmans, Chris Lauber, Andrey M. Leontovich, Benjamin W. Neuman, Dmitry Penzar, Stanley Perlman, Leo L. M. Poon, Dmitry Samborskiy, Igor A. Sidorov, Isabela Sola, y John Ziebuhr (2020). “Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus – the species and its viruses, a statement of the Coronavirus Study Group”. Preprint at *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.02.07.93786>
- Groch, Kátia R., Elitieri B. Santos-Neto, Josué Díaz-Delgado, Joana M.P. Ikeda, Rafael R. Carvalho, Raissa B. Oliveira, Emi B. Guari, Tatiana L. Bisi, Alexandre F. Azevedo, José Lailson-Brito, y José L. Catao-Dias (2018). “Guiana dolphin unusual mortality event and link to cetacean morbillivirus, Brazil”. *Emerging Infection Diseases* 24: 1349-1354.
- Harvell, Catherine D., Diego Montecino-Latorre, Jean M. Caldwell, Jenn M. Burt, Keith Bosley, Aimee Keller, Scott F. Heron, Anne K. Salomon, Laurence Lee, Ondine Pontier, Christy Patteggill-Semmens, y Joseph K. Gaydos (2019). “Disease epidemic and a marine heat wave are associated with the continental-scale collapse of a pivotal predator (*Pycnopodia helianthoides*)”. *Science Advances* 5: eaau7042.
- Hodges, Kip, y Jeremy Jackson (2020). “Pandemics and the global environment”. *Science Advances* 6: eabd1325.
- Holt, Christian, Miguel B. Araujo, Walter Jetz, y Carsten Rahbeck (2011). “Additive threats from pathogens, climate and land-use change for global amphibian diversity”. *Nature* 480: 516-519.
- Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [IPBES] (2020). Workshop Report on Biodiversity and Pandemics of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [en línea]. IPBES secretariat, Bonn, Germany. Disponible en <http://ipbes.net/pandemics> (consulta: 30 de octubre de 2022).
- Irving, Aaron T., Matae Ahn, Geraldine Goh, Danielle E. Anderson, y Lin-Fa Wang (2021). “Lessons from the host defenses of bats, a unique viral reservoir”. *Nature* 589: 363-370.

- Jones, Bryony A., Delia Grace, Richard Kock, Silvia Alonso, Jonathan Rush-ton, Mohammed Y. Said, Declan McKeever, Florence Mutua, Jarrah Young, John Mcdermott, y Dirk Udo Pfeiffer (2013). “Zoonosis emergence linked to agricultural intensification and environmental change”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110 (21): 8399-8404.
- Johnson, Pieter T. J., Jacobus C. de Roode, y Andy Fenton (2015). “Why infectious disease research needs community ecology”. *Science* 349 (6252): 1259504
- Jones, Kate E., Nikkita G. Patel, Marc A. Levy, Adam Storeygard, Deborah Balk, John L. Gittleman, y Peter Daszak (2008). “Global trends in emerging infectious diseases”. *Nature* 451: 990-994.
- Jordano, Pedro (2016). “Sampling networks of ecological interactions”. *Functional Ecology* 30: 1883-1893.
- Jungreis, Irwin, Rachel Sealfon, y Manolis Kellis (2021). “SARS-COV-2 gene content and COVID-19 mutation impact by comparing 44 *Sarbecovirus* genomes”. *Nature Communications* 12: 2642.
- Kaneko, Yayoi, Christina D. Buesching, y Chris Newman (2017). “Unjustified killing of badgers in Kyushu”. *Nature* 544: 161.
- Kousathansa, Athanasios, *et al.* (+ 50 autores y consorcios de investigación) (2022). “Whole-genome sequencing reveals host factors underlying critical COVID-19”. *Nature* 607: 97-103.
- Kovács-Hostyánszki, Anikó, Anahí Espíndola, Adam J. Vanbergen, Josef Settele, Claire Kremen, y Lynn V. Dicks (2017). “Ecological intensification to mitigate impacts of conventional intensive land use on pollinators and pollination”. *Ecology Letters* 20: 673-689.
- Ksiazek, Thomas G., Dear Erdman, Cynthia S. Goldsmith, Sherif R. Zaki, Teresa Peret, Shannon Emery, Suxiang Tong, Carlo Urbani, James A. Comer, Wilina Lim, Pierre E. Rollin, Scott F. Dowell, *et al.*, y the SARS Working Group (2003). “A novel coronavirus associated with severe acute respiratory syndrome”. *The New England Journal of Medicine* 348: 1953-1966.

- Lehman, Paul, Silke Beck, Mariana Madruga de Brito, Erik Gawel, Matthias Groß, Annegret Haase, Robert Lepenies, Danny Otto, Johannes Schiller, Sebastian Struntz, y Daniela Thrän (2021). “Environmental sustainability post-COVID-19: Scrutinizing popular hypotheses from a social science perspective”. *Sustainability* 13: 8679.
- Lemey, Philippe, Samuel L. Hong, Verity Hill, Guy Baele, Chiara Poletto, Vittoria Colizza, Áine O’Toole, John T. McCrone, Kristian G. Andersen, Michael Worobey, Martha I. Nelson, Andrew Rambaut, y Marc A. Suchard (2020). “Accommodating individual travel history and unsampled diversity in Bayesian phylogeographic inference of SARS-COV-2”. *Nature Communications* 11: 5110.
- Lewis, Simon L., y Mark A. Maslin (2015). “Defining the Anthropocene”. *Nature* 519: 171-180.
- Li, Wendong, Zhengli Shi, Meng Yu, Wuze Ren, Craig Smith, Jonathan H. Epstein, Hanzhong Wang, Gary Crameri, Zhihng Hu, Huajun Zhang, Jianhong Zhang, Jennifer McEachern, Hume Field, Peter Daszak, Bryan T. Eaton, Shuyi Zhang, y Lin-Fa Wang (2005). “Bats are natural reservoirs of SARS-like coronavirus”. *Science* 310: 676-679.
- Li, Xiaojun, Elena E. Giorgi, Manukumar Honnayakanahalli Marichannegowda, Brian Foley, Chuan Xiao, Xiang-Peng Kong, Yue Chen, S. Gnana-karan, Bette Korber, y Feng Gao (2020). “Emergence of SARS-COV-2 through recombination and strong purifying selection”. *Science Advances* 6: eabb9153.
- Lytras, Spyros, Wei Xia, Joseph Hughes, Xiaowei Jiang, y David L. Robertson (2021). “The animal origin of SARS-COV-2”. *Science* 373 (6558): 968-970.
- MacFarlane, Douglas, y Ricardo Rocha (2020). “Guidelines for communicating about bats to prevent persecution in the time of COVID-19”. *Biological Conservation* 248: 108650.
- Maire, Juliette, Aimen Sattar, Roslyn Henry, Frances Warren, Magnus Merkle, Mark Rounsevell, y Peter Alexander (2022). “How different COVID-19 recovery paths affect human health, environmental sustainability, and food affordability: A modelling study”. *Lancet Planet Health* 6: e565-76.

- Medellín, Rodrigo A. (2023). "Nuestros aliados alados: origen y diversidad de los murciélagos y los servicios ecosistémicos que nos proporcionan". En K. Oyama y F. García-Oliva (Coords.), México: "Ecología, medio ambiente y sustentabilidad" (pp. 211-243). UNAM.
- Mehrabi, Zia (2020). "Food system collapse". *Nature Climate Change* 10 (1): 16-17.
- Metcalf, C. Jessica E., Dylan H. Morris, y Sang Woo Park (2020). "Mathematical models to guide pandemic response". *Science* 369 (6502): 368-369.
- Montecino-Latorre, Diego, Constanza Napolitano, Cristóbal Briceño, y Marcela M. Uhart (2020). "Sarcoptic mange: an emerging threat to Chilean wild mammals?" *Perspectives in Ecology and Evolution* 18: 267-276.
- Morales, Nelly, Dennis Aldridge, Andrea Bahamonde, Julio Cerda, Claudio Araya, Rodrigo Muñoz, María Esther Saldías, Claudio Lecocq, Marcela Fresno, Pedro Abalos, y Patricio Retamal (2017). "*Corynebacterium pseudotuberculosis* infection in Patagonian huemul (*Hippocamelus bisulcus*)". *Journal of Wildlife Diseases* 53 (3): 621-624.
- Mouafo, Alain D. T., Daniel J. Ingram, Valery A. Binda, Itoe Constantine N. Ngwayi, y Theodore B. Mayaka (2022). "Not just an issue in forested regions: investigating the consumption and trade of pangolins in a forest-savannah mosaic area of Cameroon". *Tropical Conservation Science* 15: 1-13.
- Muñoz-Fontella, César, *et al.* (+62 autores) (2020). "Animal models for COVID-19". *Nature* 586: 509-515.
- Myers, Samuel, y Howard Frumkin (coords.) (2020). *Planetary Health. Protecting Nature to Protect Ourselves*. Washington D.C.: Island Press.
- Obermeyer, Fritz, Martin Jankowiak, Nikolaos Barkas, Stephen F. Schaffner, Jesse D. Pyle, Leonid Yurkovetskiy, Matteo Bosso, Daniel J. Park, Mehrtash Babadi, Bronwyn L. MacInnis, Jeremy Luban, Pardis C. Sabeti, y Jacob E. Lemieux (2022). "Analysis of 6.4 million SARS-COV-2 genomes identifies mutations associated with fitness". *Science* 10.1126/science.abm1208.

- Pearson, Ryan M., Michael Sievers, Eva C. McClure, Mischa P. Turshwell, y Rod M. Connolly (2020). "COVID-19 recovery can benefit biodiversity". *Science* 368 (6493): 10.1126/science.abc1430.
- Pim, Stuart L., Clinton N. Jenkins, R. Abel, Thomas M. Brooks, John L. Gittleman, Lucas N. Joppa, Peter H. Raven, Callum M. Roberts, y Joe O. Sexton (2014). "The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science* 344 (6187): 10.1126/scienc.1246752.
- Pongsiri, Montira J., Sam Bickersteth, Cristina Colón, Ryth DeFries, Mandeep Dhaliwal, Lucien Georgeson, Andrew Haines, Natalia Linou, Virginia Murray, Shahid Naeem, Roy Small, y Judit Ungvari (2019). "Planetary health: from concept to decisive action". *The Lancet Planetary Health* 3: e402-e404.
- Potts, Simon G., Jacobus C. Biesmeijer, Claire Kremen, Peter Neumann, Oliver Schweiger, y William E. Kunin (2010). "Global pollinator declines: trends, impacts and drivers". *Trends in Ecology & Evolution* 25 (6): 345-353.
- Pybus, Oliver G., y Andrew Rambaut (2009). "Evolutionary analysis of the dynamics of viral infectious disease". *Nature Reviews Genetics* 10: 10.1038/nrg2583.
- Remolina-Figueroa, Daniela, David A. Prieto-Torres, Wesley Dáttilo, Ernesto Salgado-Díaz, Laura E. Nuñez-Rosas, Claudia Rodríguez-Flores, Adolfo G. Navarro-Sigüenza, y María del Coro Arizmendi (2022). "Together forever? Hummingbird-plant relationships in the face of climate warming". *Climatic Change* 175: 2.
- Ricketts Taylor H. *et al.* [+ 30 autores] (2005). "Pinpointing and preventing imminent extinctions". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102 (51): 18497-18501.
- Roossinck, Marilyn J. (2011). "The good viruses: viral mutualistic symbiosis". *Nature Reviews Microbiology* 9: 99-108.
- Rosenbloom, Daniel, y Jochen Markard (2021). "A COVID-19 recovery for climate". *Science* 368: 447.
- Ruiz-Aravena, Manuel, Clifton McKee, Amandine Gamble, Tamika Lunn, Aaron Morris, Celine E. Snedden, Claude Kwe Yinda, Julia R. Port, David W. Buchholz, Yao Yu Yeo, Christina Faust, Elinor Jax, Lauren Dee, Devin

- N. Jones, Maureen K. Kessler, Caylee Falvo, Daniel Crowley, Nita Bharti, Cara E. Brook, Hector C. Aguilar, Alison J. Peel, Oliver Restif, Tony Schountz, Colin R. Parrish, Emily S. Gurley, James O. Lloyd-Smith, Peter J. Hudson, Vincent J. Munster, y Raina K. Plowright (2021). "Ecology, evolution and spillover of coronavirus from bats". *Nature Reviews Microbiology* 20: 299-314.
- Sachs, D. Jeffrey, *et al.* [+ 39 autores del Lancet COVID-19 Commission] (2022). "The Lancet Commission on lessons for the future from the COVID-19 pandemic". *Lancet* 400: 1224-1280.
- Sánchez-Cordero, Víctor, Francisco Botello, Saúl Castañeda, y Jacqueline Sarmiento (2023). "Zoonosis de importancia en salud pública en México: un enfoque integral". En K. Oyama y F. García-Oliva (Coords.), México: "Ecología, medio ambiente y sustentabilidad" (pp. 163-190). UNAM.
- Sánchez-Larios, Hérica (2023). "Modelos epidemiológicos y COVID-19". En K. Oyama y F. García-Oliva (Coords.), México: "Ecología, medio ambiente y sustentabilidad" (pp. 257-291). UNAM.
- Senapathi, Deepa, Jacobus C. Biesmeijer, Thomas D. Breeze, David Kleijn, Simon G. Potts, y Luisa G. Carvalheiro (2015). "Pollinator conservation – the difference between managing for pollination services and preserving pollinator diversity". *Current Opinion in Insect Science* 12: 93-101.
- Shan, Yuli, Jiamin Ou, Daoping Wang, Zhao Zeng, Shaohui Zhang, Dabo Guan, y Klaus Hubacek (2021). "Impacts of COVID-19 and fiscal stimuli on global emissions and the Paris Agreement". *Nature Climate Change* 11: 200-206.
- Singh, Dhiraj K. *et al.* [+ 61 autores] (2021). "Responses to acute infection with SARS-COV-2 in the lungs of rhesus macaques, baboons and marmosets". *Nature Microbiology* 6: 73-86.
- Sloat, Lindsey L., Steven J. Davis, James S. Gerber, Frances C. Moore, Deepak K. Ray, Pail C. West, y Nathaniel D. Mueller (2020). "Climate adaptation by crop migration". *Nature Communications* 11: 1243.
- Stearns, Stephen C., y Jacob C. Koella (eds.) (2008). *Evolution in health and disease*. UK: Oxford University Press.

- Stern, Nicholas, Imraan G. Patel, y Bob Ward (2021). "COVID-19, climate change, and the environment: a sustainable inclusive, and resilient global recovery". *British Medical Journal* [BMJ]375: n2405.
- Steffen, Will, Åsa Persson, Lisa Deutsch, Jan Zalasiewicz, Mark Williams, Katherine Richardson, Carole Crumley, Paul Crutzen, Carl Folke, Line Gordon, Mario Molina, Veerabhadran Ramanathan, Johan Rockström, Marten Scheffer, Hans Joachim Schellnhuber, y Uno Svedin (2011). "The Anthropocene: from global change to planetary stewardship". *Ambio* 40: 739-761.
- Strassburg, Bernardo B. N. *et al.* [+ 26 autores] (2020). "Global priority areas for ecosystem restoration". *Nature* 586: 724-729.
- Subramanian, Meera (2019). "Humans versus Earth". *Nature* 572: 168-170.
- Suzán, Gerardo, Erika Marcé Santa, Oscar Rico-Chávez, y Rafael Ojeda-Flores (2023). Reflexiones de la pandemia de COVID-19 desde la ecología y *Una Salud*. En K. Oyama y F. García-Oliva (Coords.), México: "Ecología, medio ambiente y sustentabilidad" (pp. 61-82). UNAM.
- Tarakini, Gugulethu, Tongayi Mwedzi, Tatenda Manyuchi, y Tawanda Tarakani (2021). "The role of media during COVID-19 global outbreak: a conservation perspective". *Tropical Conservation Science* 14: 1-13.
- The COVID-19 Host Genetics Initiative (2020). "The COVID-19 Host Genetics Initiative, a global initiative to elucidate the role of host genetic factors in susceptibility and severity of the SARS-COV-2 virus pandemic". *European Journal of Human Genetics* 28: 715-718.
- The One Earth Editorial Team (2022). "Pathways to planetary health". *One Earth* 5 (4): 305-306.
- Tompkins, Daniel M., Scott Carver, Menna E. Jones, Martin Krkosek, y Lee F. Skerratt (2015). "Emerging infectious diseases of wildlife: a critical perspective". *Trends in Parasitology* 31 (4): 149-159.
- United Nations Secretary General (2021). Progress towards the Sustainable Development Goals: report of the secretary-general. [en línea] <https://ustats.un.org/sdgs/files/2021/secretary-general-sdg-report-2021--EN.pdf>

- Walker, Patrick G. T. *et al.* [+ 48 autores] (2020). “The impact of COVID-19 and strategies for mitigation and suppression in low- and middle-income countries”. *Science* 369 (6502): 413-422.
- Wang, Haidong, *et al.* [+ 95 autores] (2022). “Estimating excess mortality due to the COVID-19 pandemic: A systematic analysis of COVID-19-related mortality, 2020-21”. *The Lancet* 399 (10334): 1513-1536.
- Wang, Hongxin, Junlin Shao, Xi Luo, Ziang Chuai, Shengyue Xu, Mingxia Geng, y Zhouyi Gao (2020). “Wildlife consumption ban is insufficient”. *Science* 367 (6485): 10.1126/science.abb6463.
- Wang, Lin-Fa, y Danielle E. Anderson (2019). “Viruses in bats and potential spillover to animals and humans”. *Current Opinion in Virology* 34: 79-89.
- World Health Organization [WHO] (2020). WHO Director-General’s remarks at the media briefing on 2019-nCov on 11 February 2020. <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-remarks-at-the-media-briefing-on-2019-ncov-on-11-february-2020>(WHO, 11 February 2020).
- Wu, Fan *et al.* [+ 18 autores] (2020). “A new coronavirus associated with human respiratory disease in China”. *Nature* 579: 265-278.
- Xia, Wei, Joseph Hughes, David L. Robertson, y Xiaowei Jiang (2021). “How one pandemic led to another: ASFV, the disruption contributing to SARS-cov-22 emergence in Wuhan”. Preprints 2021020590 (doi: 10.20944/preprints202102.0590.v1).
- Xiao, Kangpeng, Junqiong Zhai, Yaoyu Feng, Niu Zhou, Xu Zhang, Jie-Jian Zou, Na Li, Yaqiong Guo, Xiaobing Li, Xuejuan Shen, Zhipeng Zhang, Fanfan Shu, Wanyi Huang, Yu Li, Ziding Zhang, Rui-Ai Chen, Ya-Jiang Wu, Shi-Ming Peng, Mian Huang, Wei-Jun Xie, Qin-Hui Cai, Fang-Hui Hou, Wu Chen, Lihua Xiao, y Yongyi Shen (2020). “Isolation of SARS-COV-2 related coronavirus from Malayan pangolins”. *Nature* 583: 286-289.
- Xiao, Xiao, Chris Newman, Christina D. Buesching, David W. Macdonald, y Zhao-Min Zhou (2021). “Animal sales from Wuhan wet markets immediately prior to the COVID-19 pandemic”. *Scientific Reports* 11: 11898.
- Zeberg, Hugo, y Svante Pääbo (2020). “The major genetic risk factor for severe COVID-19 is inherited from Neanderthals”. *Nature* 587: 610-612.

- Zhang, Shuyuan, Shuyuan Qiao, Jinfang Yu, Jianwei Zeng, Sisi Shan, Long Tian, Jun Lan, Linqi Zhang, y Xinquan Wang (2021). “Bat and pangolin coronavirus spike glycoprotein structures provide insights into SARS-COV-2 evolution”. *Nature Communications* 12: 1607.
- Zhou, Zhao-Min, Rebecca N. Johnson, Chris Newman, Christina D. Buesching, David W. Macdonald, y Youbing Zhou (2015). “Private possession drives illegal wildlife trade in China”. *Frontiers in Ecology and the Environment* 13 (7): 353-354.

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