



INFORME del GTM¹ sobre “Aspectos medioambientales de la COVID-19. Parte I”

Fecha: 28 Junio 2021

Estructura del Informe

Parte I. La crisis de la Biodiversidad y la “ecología de la enfermedad”

Resumen ejecutivo

Introducción

1. Pandemias y la crisis de la Biodiversidad
 2. La “ecología de la enfermedad”: exploración y conocimiento de la biodiversidad patogénica de virus y microorganismos en la naturaleza
 3. Necesidad de nuevos ámbitos internacionales de colaboración
 4. Ciencia, COVID y medioambiente
-

Resumen ejecutivo

La crisis pandémica actual tiene sus orígenes en procesos naturales que se desencadenan, en la mayoría de las ocasiones, por alteraciones graves del medio ambiente. Los efectos del cambio global por deforestación y pérdida de hábitat natural, sobrepoblación en áreas silvestres, sobreexplotación de la caza y la vida silvestre, sobrepastoreo y otras actividades llevan consigo una mayor exposición del ser humano a patógenos de vida libre. Estos aspectos de la “ecología de la enfermedad” a menudo se obvian al analizar la crisis pandémica, pero son fundamentales por facilitar una mejor recuperación tras estas situaciones y por reducir significativamente los riesgos de futuras crisis similares que sin duda van a acontecer. Las acciones más urgentes precisan un mayor conocimiento de la biodiversidad a escala planetaria, una exploración e inventario más exhaustivo de la biodiversidad de microorganismos silvestres y de su potencial patogénico y una mayor comprensión de los procesos de evolución y coevolución de patógenos y hospedadores. Estas acciones requieren, entre otras, investigación científica en secuenciación de genomas y documentación de variantes víricas, exploración de nuevos reservorios silvestres, identificación y seguimiento de posibles brotes pandémicos con eficientes sistemas de alerta temprana, y desarrollo de prácticas de restauración

¹ El Grupo de Trabajo Multidisciplinar (GTM) asesora y apoya al Ministerio de Ciencia e Innovación en materias científicas relacionadas con la COVID-19 y sus consecuencias futuras. El [GTM](#) está compuesto por: José M. Ordovás (Presidente), Mariano Esteban, Rocío García-Retamero, Beatriz González López-Valcárcel, Alfonso Gordaliza, Marco Inzitari, Pedro Jordano, Itziar de Lecuona, Laura M. Lechuga, Ramón López de Mántaras, José Molero, Agustín Portela, Diego Puga, José Javier Ramasco, Francisco Sánchez-Madrid y Alfonso Valencia. Enric Banda actúa como observador, y María Sol Serrano Alonso como secretaria. Todos los componentes del GTM colaboran de forma desinteresada con el Ministerio de Ciencia e Innovación.



ecológica encaminadas a alcanzar inmunidad de paisaje. Las acciones internacionales (p. ej. de la OMS y FAO en el marco *OneHealth*) deben ser apoyadas decididamente por España, multiplicando su presencia en estos organismos y en iniciativas de vigilancia epidemiológica.

Introducción

La urgencia para resolver los problemas centrales que plantea la crisis COVID-19, especialmente los relacionados con aspectos de salud humana y contención de la pandemia, por un lado, y los efectos sobre el sistema económico a diferentes escalas, por otro, puede orillar otras implicaciones de esta pandemia que también son muy relevantes y cuyas consecuencias sólo serán apreciables a medio y largo plazo. No en vano Peter Medawar, premio Nobel de Medicina y Fisiología (1960) definía a los virus como “un trozo de ADN rodeado de malas noticias”; hemos de ser capaces de afrontar estas “malas noticias”. Por nuestro carácter multidisciplinar, el GTM presta también gran atención a estos otros aspectos y entre ellos destacan las implicaciones medioambientales cuya incidencia en la COVID-19 tiene varias facetas muy relevantes para la lucha contra la pandemia y la prevención de futuras crisis análogas. La interacción entre ciencia y acción política relacionada con la pandemia de coronavirus nos proporciona lecciones útiles para enfrentar el cambio climático y los factores de cambio global. Por ejemplo, cuando se propuso el Pacto Verde Europeo² en diciembre de 2019, no podíamos imaginar que adquiriría el protagonismo y papel central que tiene en la lucha contra la COVID-19. El objetivo de convertir a Europa en el primer continente climáticamente neutro del mundo precisa que convirtamos los desafíos medioambientales en oportunidades y conseguir que la economía de la UE sea sostenible en el plazo previsto.

Los planteamientos actuales de acción ante pandemias se basan en responder a las enfermedades después de su aparición con medidas de salud pública y soluciones tecnológicas, en particular el diseño y la distribución rápida de métodos de diagnóstico, nuevas vacunas y terapias. La crisis COVID-19 ha demostrado que este es un camino incierto, que requiere tiempo y gran desarrollo científico y tecnológico, debido a su naturaleza reactiva: a medida que esperamos ultimar la vacunación extensiva, el coste humano no deja de aumentar en múltiples facetas (vidas, empleos, colapso económico en numerosos sectores, enfermedad persistente, etc.). Sin potenciar más las estrategias proactivas y preventivas, que contemplen los aspectos meta-sanitarios de las pandemias, éstas podrían volver a repetirse más a menudo, en mayor extensión, y con efectos más devastadores. Hay desarrollos esperanzadores, que se han visto reforzados y apoyados una vez sobrevinida la pandemia COVID-19. Por ejemplo, iniciativas y esfuerzos a diferentes escalas

² [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en]



(nacionales, internacionales) para secuenciación y documentación de variantes víricas; exploración de nuevos reservorios silvestres; identificación y seguimiento de posibles brotes pandémicos con eficientes sistemas de alerta temprana. Los esfuerzos hasta ahora en estas líneas han sido más posibilistas que decididos, pero apuntan en la dirección correcta.

La aparición del nuevo virus SARS-CoV-2 (causante de la COVID-19) ha puesto de relieve la relevancia de la investigación ecológica básica para comprender y predecir la dinámica de las enfermedades infecciosas. La ecología es una base para comprender las consecuencias del cambio de la densidad de población y los patrones de interacción de las especies a escala local y de ecosistemas. El enfoque en la cuarentena y en "aplanar la curva", que rápidamente se ha abierto camino desde la literatura científica hasta el público en general, refleja la percepción de los modelos ecológicos de dinámica de poblaciones, desarrollados específicamente como modelos epidemiológicos con datos agregados. Es importante destacar el papel de la biodiversidad, ya que muchos patógenos, como el virus del Nilo Occidental y las bacterias que causan la enfermedad de Lyme, infectan a múltiples especies de hospedadores, y la dinámica de transmisión y virulencia depende de las interacciones entre especies [1,2]. Las pandemias tienen su origen en la diversidad microbiana existente en los ecosistemas, donde persiste en reservorios animales de donde emerge como consecuencia de la actividad humana y los cambios ambientales que ésta lleva asociados (pérdida de biodiversidad, cambio climático, etc.). Por tanto, comprender las enfermedades en otros sistemas animales es fundamental no sólo para comprender cómo las enfermedades afectan a las poblaciones naturales y al ganado, sino también porqué las enfermedades animales, por procesos de adaptación y mutaciones, pueden saltar las barreras de las especies para pasar a humanos. Parece probable que el virus del SARS-CoV-2 se haya originado en una especie animal salvaje [3,4]. No es el primer ejemplo de tal "desbordamiento" zoonótico, ni será el último. La comprensión ecológica de cómo, cuándo y por qué los patógenos se propagan a través de las poblaciones animales es esencial para entender la situación actual y nuestra preparación para el próximo evento de propagación.

En este informe exploramos la situación de la pandemia COVID-19 desde la perspectiva de consideraciones medioambientales. En primer lugar, en esta **parte I del informe** (*I. La crisis de la Biodiversidad y la "ecología de la enfermedad"*), se analizan las raíces de este tipo de pandemias y su relación con la conservación de la biodiversidad del planeta para exponer la necesidad de considerar los aspectos de "ecología de la enfermedad" y vigilancia epidemiológica que pueden ayudar a combatir más eficientemente la pandemia y sus consecuencias y, a la vez, a diseñar estrategias futuras de protección más eficaces. Posteriormente analizamos diferentes aspectos medioambientales que incluyen las bases ecológicas de las zoonosis en el ámbito europeo y los aspectos internacionales implicados en la conservación y comercio de fauna y flora silvestre. En la **parte II del informe** (*II. COVID-19 y sostenibilidad ambiental*), tratamos las cuestiones relacionadas



con emisiones de CO₂, reciclaje de residuos y otros aspectos de sostenibilidad. Finalizamos con una **serie de propuestas** sobre líneas de investigación en el ámbito de recursos naturales y sostenibilidad y el papel que la ciencia española debe jugar en esta área.

1. Pandemias y la crisis de la Biodiversidad

De la misma forma que la naturaleza y sus ecosistemas proveen servicios ecológicos a la humanidad (por ejemplo, mecanismos de limpieza y reciclado de agua, o productos naturales de valor terapéutico), también pueden existir perjuicios. Por ejemplo, la eutrofización de las aguas costeras tiene en ocasiones causas naturales (en la mayor parte de los casos es originada por actividad humana), y puede limitar la capacidad de estas aguas para sustentar la pesca y las actividades recreativas, un servicio del ecosistema, y comprometer la salud humana y animal a través de la proliferación de algas nocivas, que sería un perjuicio del ecosistema.

Si examinamos la historia de las más de **250 pandemias** sufridas por la humanidad, llama la atención que la proporción de ellas generada por patógenos de origen animal (origen zoonótico) se ha incrementado significativamente en los dos últimos siglos: un 70% de las nuevas enfermedades que han surgido en humanos en las cinco últimas décadas (enfermedades emergentes) son de origen animal, al igual que casi todas las pandemias conocidas, según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [5]. El proceso se denomina *spillover* (desbordamiento) e ilustra cómo bajo ciertas condiciones, los patógenos "saltan" desde sus reservorios silvestres a los humanos, generalmente a través de animales domésticos [6]. De este modo, las enfermedades de origen animal (zoonosis) representan el 60% de las enfermedades infecciosas en humanos. Por tanto, la aparición de la COVID-19 a finales de 2019 como una pandemia global es parte de una cadena de eventos que enlazan la salud humana, los enormes cambios ambientales que están aconteciendo y la crisis de la biodiversidad. Es muy posible que si buscamos la raíz última de la COVID-19 y muchas otras pandemias nos encontremos con la crisis de la biodiversidad terrestre [8, 12, 15, 16].

Las zoonosis que surgieron o resurgieron recientemente incluyen el Ébola, la gripe aviar, el síndrome respiratorio del Medio Oriente (MERS), el virus Nipah, la fiebre del Valle del Rift, el síndrome respiratorio agudo grave (SARS), el virus del Nilo Occidental, la enfermedad por el virus del Zika y, ahora, el coronavirus SARS-CoV-2. Todas están vinculadas con intensificación de la actividad humana por encima de niveles sostenibles en las áreas originarias. El brote de Ébola en África occidental fue el resultado de la pérdida de bosques que condujo a contactos más estrechos entre la vida silvestre y los asentamientos humanos; la aparición de la gripe aviar estuvo vinculada a la avicultura intensiva; y el virus Nipah estaba vinculado a la intensificación de la cría de porcino y la



producción frutícola en Malasia. Se estima que existen unos 1,7 millones de tipos (seudo-especies) víricos aún por descubrir en especies de mamíferos y aves que son sus hospedadores naturales. De ellos, entre 630.000 y 830.000 podrían mostrar capacidad para infectar a humanos [9].

No se han encontrado evidencias para un vínculo crítico entre una alta diversidad de especies y una alta probabilidad de aparición de enfermedades infecciosas: no hay evidencia de que la alta diversidad total de patógenos vertebrados se correlacione con una alta diversidad de patógenos zoonóticos reales o potenciales. Muy al contrario, existe evidencia sustancial [10,11] de que una alta diversidad protege a los humanos contra la transmisión de muchas enfermedades existentes. Estos resultados tienen una relevancia sustancial para la política ambiental pues apuntan a que debe establecerse como prioritaria la preservación de la biodiversidad.

Existe un acuerdo general de que la acción humana puede incrementar el riesgo de enfermedades emergentes cuando (1) la pérdida de biodiversidad incrementa la prevalencia y tasa de transmisión de patógenos; o bien cuando (2) los cambios de uso de la tierra y cambios de comportamiento social incrementan las tasas de contacto con reservorios de patógenos, o (3) las interacciones entre especies clave de un ecosistema se encuentran alteradas y los mecanismos de dilución, amortiguación o filtro de patógenos no son funcionales. Un aspecto importante es que estos efectos se dan en cualquier tipo de área, independientemente de su nivel de biodiversidad original. Las áreas de muy alta diversidad no necesariamente concentran mayores riesgos para los humanos, incluso en presencia de alta diversidad de patógenos. No obstante, ello requiere que no estén presentes en la acción humana *modus operandi* (costumbres, conducta, modos de acción, etc.) que resulten en exposición a contagio como por ejemplo, entrada en hábitats de riesgo y exposición ocupacional. De hecho, es bien conocido que niveles más altos de conservación de la diversidad de aves, por ejemplo, llevan asociado menor impacto de zoonosis (p. ej., virus del Nilo) en humanos [11, 12, 15].

La salud de los ecosistemas afecta directamente a la salud humana y, por lo tanto, la restauración ecológica debe considerarse un servicio de salud pública [20]. Se pueden emplear contramedidas ecológicas para prevenir el derrame zoonótico inducido por el uso de la tierra fomentando la inmunidad del paisaje y reduciendo el riesgo de exposición humana a patógenos transmitidos por la vida silvestre. La eliminación de especies exóticas invasoras y la reintroducción de plantas nativas son contramedidas ecológicas cuando se realizan para abordar los riesgos de enfermedades zoonóticas. La colaboración interdisciplinar, los estudios mecanicistas de la propagación inducida por el uso de la tierra, la integración de objetivos ecológicos y de salud en los marcos políticos, el aumento de la vigilancia zoonótica de patógenos y la participación de la comunidad ayudarán a avanzar en estas contramedidas ecológicas. La restauración ecológica puede promover los vínculos entre la salud ecológica y humana dentro de los marcos de *One Health* y salud planetaria.



Si bien aún no se ha descubierto el origen del brote de SARS-CoV-2 y su vía de transmisión, es importante reseñar seis puntos concretos en relación con estos aspectos de salud ecosistémica [12]:

1. La interacción de los seres humanos o el ganado doméstico con la vida silvestre los expone a riesgo de propagación de patógenos potenciales. Para muchas zoonosis, el ganado sirve como un puente epidemiológico entre las infecciones de la vida silvestre y las humanas.
2. Los impulsores para la aparición de enfermedades zoonóticas son los cambios en el medio ambiente, generalmente el resultado de actividades humanas, que van desde el cambio de uso de la tierra hasta el cambio climático; cambios en hospedadores animales o humanos; y cambios en los patógenos, que siempre evolucionan para explotar nuevos hospedadores.
3. La integridad del ecosistema subraya la salud y el desarrollo humanos. Los cambios ambientales inducidos por el hombre modifican la estructura de las poblaciones de especies silvestres y reducen la biodiversidad, lo que da como resultado nuevas condiciones ambientales que pueden favorecer a hospedadores, vectores y/o patógenos particulares.
4. Un buen estado de conservación de los ecosistemas puede ayudar a regular las enfermedades al apoyar una diversidad de especies, de modo que sea más difícil que un patógeno se propague, amplifique o domine.
5. La deforestación y la caza de vida silvestre desequilibran poblaciones naturales y causan altas densidades de potenciales vectores de patógenos. Por ejemplo, la eliminación de grandes depredadores causa altas densidades de ungulados, facilita el contagio de enfermedades y el "salto" al ganado doméstico en áreas en que coexisten.
6. Actualmente, es imposible predecir de dónde vendrá el próximo brote o cuándo será. La creciente evidencia sugiere que los brotes o enfermedades emergentes epidémicas de origen zoonótico pueden volverse más frecuentes a medida que el clima continúa cambiando: se alteran las áreas de distribución geográfica de los vectores de patógenos y de los propios patógenos y ello promueve la evolución de infecciones en nuevas especies hospedadoras. Es aún muy limitado el esfuerzo en prospección de la biodiversidad de patógenos silvestres y el estudio de las enfermedades de las especies silvestres para identificar potenciales "zonas calientes" donde puede ser más verosímil la aparición una nueva pandemia.



2. La “ecología de la enfermedad”: exploración y conocimiento de la biodiversidad patogénica de virus y microorganismos en la naturaleza

La exploración de la Biodiversidad es una de las fronteras del conocimiento, ya que conocemos aun una proporción muy baja de las especies biológicas que viven en el planeta. El conocimiento actual de la biodiversidad de virus naturales es muy limitado. Sólo conocemos y tenemos inventariada una mínima parte (quizás no más del 1%) de las especies o cuasi-especies víricas del planeta. El inventario de la biodiversidad real de los virus y su estudio evolutivo arrojará luz sobre las relaciones evolutivas entre diferentes grupos, su similitud genómica y las partes del Árbol de la Vida que potencialmente concentren mayor diversidad natural de patógenos potenciales. Dado el escaso conocimiento sobre la fisiología e inmunología del virus SARS-CoV-2 y de muchos otros virus, además de la falta de medios de control eficaces como diagnóstico, terapias y vacunas, es de suma importancia potenciar y dar continuidad a la investigación en esta área.

Deben aunarse esfuerzos para entender mejor la dinámica coevolutiva en estos sistemas patógeno-hospedador, mejorando nuestro conocimiento sobre la genómica de virus, hospedadores, la fisiología y mecanismos inmunopatogénicos de las distintas infecciones y condiciones ecológicas. Por ejemplo, en qué casos la dinámica de la "guerra de armamentos" entre virus y hospedadores puede dar paso a dinámicas de alternancia coevolutiva, asociada a descensos de la virulencia del patógeno [14]. Otros aspectos de la ecología de la enfermedad [16] tienen que ver con los mecanismos de dispersión y, eventualmente, contagio, donde los modelos de redes complejas pueden ser de gran utilidad para identificar “puntos calientes” de contagio. Toda esta información sobre virus, hospedadores y ecosistema debe ser organizada usando las bases de datos existentes de modo que sean FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable and Reusable*) y permita los estudios que se deben potenciar sobre epidemiología y de búsqueda e identificación de potenciales patógenos, como virus respiratorios y hemorrágicos, junto al desarrollo de antivirales y vacunas para evitar la aparición de epidemias/pandemias con efectos drásticos en la salud y economía de los países. Actualmente la conexión entre las bases de datos moleculares y ecológicas es todavía muy limitada. Los proyectos de mapeo genómico de especies y de metagenómica cubren una parte todavía muy pequeña de la diversidad. Además, es en general difícil referirlos a coordenadas geográficas precisas y más aun a condiciones ecológicas: por ejemplo, los estudios de metagenómica raramente registran más que una pequeña parte de las condiciones ambientales y aun esa parte es luego difícil de recuperar en las bases de datos si los metadatos correspondientes no están bien implementados. Esfuerzos recientes como la base de datos PANGEA³ suponen avances significativos hacia una mejor integración de estas líneas de investigación.

³ [<https://www.pangaea.de>]



Estudios recientes [UNEP Frontiers 2019 Report][17] indican que los factores clave en la emergencia de nuevas enfermedades asociadas a zoonosis incluyen: 1) Deforestación y otros cambios en uso de la tierra (p. ej., desecación de humedales); 2) Comercio y tráfico ilegal y/o mal regulado de vida silvestre (sobre-caza, mascotas, etc.); 3) Agricultura y ganadería intensivas; 4) Resistencia antimicrobiana; y 5) Cambio climático.

Algunos de estos factores provocan sinergias perversas. Por ejemplo, las prácticas agrícolas que utilizan de forma frecuente los medicamentos antimicrobianos⁴ para acelerar el crecimiento del ganado o prevenir enfermedades entre los animales criados en espacios reducidos, contribuyen a la evolución de superbacterias y patógenos más virulentos: microbios que resisten el tratamiento con antibióticos, antivirales u otros medicamentos y que están constituyendo la llamada “pandemia silenciosa”, siendo la causa de miles de muertos al año y con una previsión de causar más de 10 millones de víctimas al año para el 2050. La situación está agravada además por la falta del desarrollo de nuevos antibióticos para combatirlos.

Los expertos en salud y vida silvestre nos han alertado en las últimas décadas de los riesgos de salud pública asociados con el contacto descontrolado entre las poblaciones humanas y los animales salvajes, a través de la destrucción del hábitat, comercio ilegal o mal regulado de la vida silvestre, y la venta de la fauna silvestre a través de los “mercados de fresco”. Las medidas a medio-largo plazo van a requerir acuerdos internacionales al máximo nivel y acciones locales con nuevas medidas de control y regulación de los focos locales potenciales de transmisión de patógenos emergentes. El mapa de riesgos de enfermedades emergentes en la Tierra (Fig. 1) [7] no indica una distribución al azar ni tampoco restringida a ciertos tipos de hábitats (p. ej. las selvas tropicales): incluye también

⁴ [<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>]

áreas de alto riesgo centradas en latitudes medias de Norteamérica y Europa donde las alteraciones medioambientales (especialmente deforestación) son especialmente intensas.

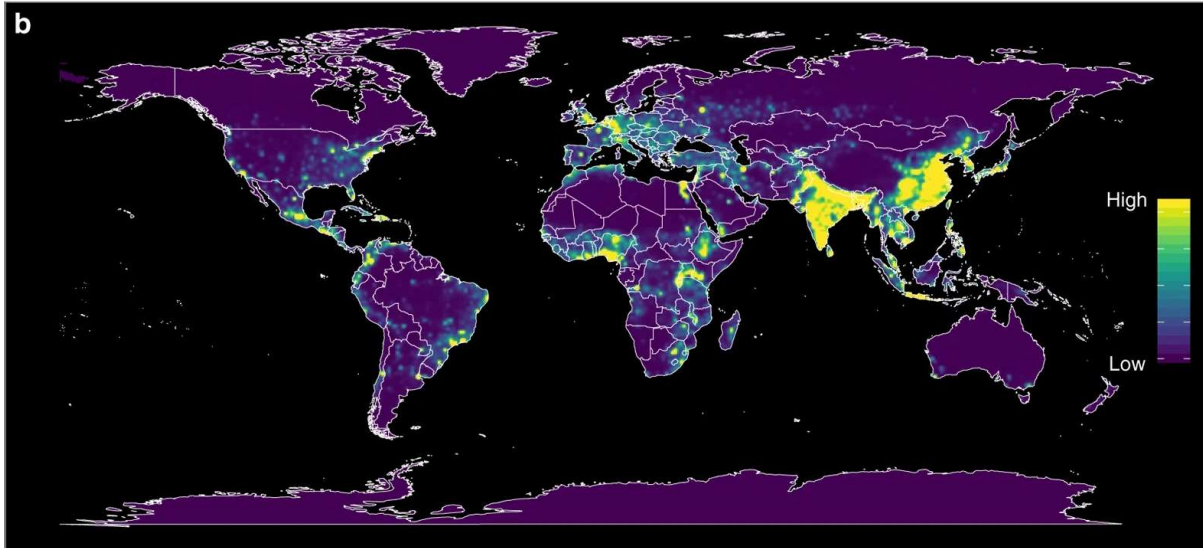


Fig. 1. Distribución esperada de nuevos eventos zoonóticos, a partir de modelos ponderados por esfuerzo de muestreo [6].

3. Necesidad de nuevos ámbitos internacionales de colaboración

El actual sistema internacional que regula el comercio de vida silvestre, la lucha contra su comercio ilícito y los delitos contra la vida silvestre de manera más general, es absolutamente insuficiente para contener el alto riesgo en el comercio de vida silvestre y en los mercados y para acabar con los delitos contra ésta [15,17,18]. En la actualidad sólo el convenio CITES regula este tipo de tráfico de fauna y flora silvestres, pero únicamente en su ámbito y aspectos comerciales. Por tanto, precisamos de reformas audaces, necesarias para incluir en el marco internacional del derecho penal los delitos graves contra la vida silvestre. Ello es posible a través de un nuevo acuerdo bajo la Convención de Naciones Unidas contra la Delincuencia Organizada Transnacional (ICCTWC), como ha sido posible para otros graves crímenes organizados de preocupación mundial [18]. La iniciativa actualmente en curso de 'Ecocidio', un nuevo delito para proteger la biosfera está desarrollada por un panel de 12 expertos que prepara un borrador para introducir esta nueva figura penal en el Estatuto de la Corte Penal Internacional que se rige por el Estatuto de Roma, ratificado hasta el momento por 123 países. De este modo, se elevaría el delito ambiental al mismo nivel que el genocidio o los crímenes de lesa humanidad. Pero paralelamente es necesario desincentivar la caza furtiva y desregulada, de forma que las comunidades locales encuentren vías de subsistencia que no impliquen un impacto medioambiental significativo.



El papel de España en estas acciones internacionales debe verse reforzado, con mayor presencia en los paneles como ICCTWC, IPCC, IPBES y una acción decidida en áreas de influencia exterior, como pueden ser Hispanoamérica, Magreb, etc. donde nuestro país puede liderar Iniciativas de conservación de la biodiversidad, dado nuestro patrimonio natural excepcional. Por otro lado, es necesaria una mayor presencia en iniciativas como OneHealth⁵ de la OMS y una mayor colaboración con la acción internacional para:

- Fomentar la colaboración intersectorial en la interfaz entre los seres humanos, los animales y el medio ambiente entre los diferentes sectores relevantes a escalas internacional, regional y nacional.
- Desarrollar la capacidad y promover herramientas y mecanismos prácticos, basados en evidencia y rentables para la prevención, vigilancia y detección de zoonosis, notificación, investigación epidemiológica y de laboratorio, evaluación y control de riesgos, y ayudar a los países en su implementación.
- Apoyar el desarrollo de políticas, estrategias y programas sostenibles relevantes para prevenir y reducir los riesgos y gestionar los brotes, y facilitar su implementación.

4. Ciencia, COVID y medioambiente

Las cuatro iniciativas clave respecto a cómo afrontar la crisis de Biodiversidad y sus consecuencias han sido señaladas en 2019 en el primer informe del IPBES (*International Panel for Biodiversity and Ecosystem Services*) [12,15]. En ellas España puede jugar un papel fundamental por su activa presencia e influencia en el ámbito Hispanoamericano y, en el entorno europeo, por nuestra enorme riqueza de patrimonio natural y diversidad de plantas y animales.

Primero, precisamos una inversión decidida en la investigación sobre las vías de transmisión entre animales y humanos, tanto a nivel ecológico como genético, a fin de comprender mejor los mecanismos coevolutivos que determinan las dinámicas de la enfermedad.

En segundo lugar, deberíamos adoptar un enfoque de "una sola salud" (*One Health*)³ [13] en todos los niveles de toma de decisiones, desde el global hasta el más local y en todas las políticas o las esferas de la sociedad (desde las escuelas, al trabajo etc.), reconociendo las complejas interconexiones entre la salud de las personas, los animales, las plantas y nuestro entorno compartido.

⁵ [<https://www.who.int>]



Tercero, tenemos que proporcionar recursos a los sistemas de salud e incentivar el cambio de comportamiento en la primera línea del riesgo de pandemia, generalmente situada en países en desarrollo (con las excepciones del centro de Europa, Este de EEUU, China e India). Esto significa movilizar financiación internacional para desarrollar los recursos sanitarios necesarios en los puntos críticos de enfermedades emergentes.

Cuarto, debemos asegurar el fortalecimiento y la aplicación de las regulaciones ambientales. Aunque pueda ser políticamente conveniente en este momento relajar los estándares ambientales y apuntalar industrias como la agricultura intensiva, el transporte de larga distancia como las aerolíneas y los sectores de energía que dependen de combustibles fósiles, el hacerlo sin requerir al mismo tiempo un cambio urgente y fundamental, esencialmente subsidia el surgimiento de futuras pandemias.

Necesitamos un cambio transformador, como el indicado en el Informe de Evaluación Global de IPBES): un replanteamiento de todo el sistema en el que nuestra guía sean avances tecnológicos pero guiado por responsabilidades sociales y ambientales en todos los sectores. Por desalentador y costoso que pueda parecer, palidece en comparación con el precio que ya estamos pagando.

“Los desafíos globales ya existentes como la protección del medio ambiente y la biodiversidad no desaparecen con la crisis del Coronavirus, y las medidas políticas deberían orientarse, de manera nacional e internacional, a la sostenibilidad ecológica y social, sostenibilidad futura y obtención de resiliencia. Las medidas ya existentes antes de esta crisis, basadas en una amplia evidencia científica y en un consenso social y político, no deben debilitarse, sino continuar implementándose con alta prioridad e, incluso, reforzarlas. Los programas de estímulo económico deben ser fundamentalmente compatibles con los objetivos del Pacto Verde Europeo” (Extracto y traducción al castellano del informe de la Academia Leopoldina).

Las medidas políticas deberían orientarse, a escalas nacional e internacional, a la sostenibilidad ecológica y social, a modelos sostenibles de uso de recursos naturales y a generar resiliencia con programas de estímulo económico. En un informe previo del GTM sobre la COVID-19 y transporte, ya mencionábamos estos aspectos como “ventanas de oportunidad” surgidas por la pandemia. Además, las políticas de sostenibilidad y las de protección contra la infección pueden inclusive coincidir en algunos aspectos (por ejemplo, fomentando los medios de transporte alternativos, como bicicletas, etc.). Paralelamente, considerar otras acciones no contempladas en el informe, como reforzar las iniciativas de regulación de caza y comercio de vida silvestre.



Perspectivas científicas en la línea COVID-19 y medio ambiente

Debido a la naturaleza pluridisciplinar de un problema como una pandemia, su solución requiere resolver lagunas de conocimiento aún persistentes, de modo que la toma de decisiones siempre esté respaldada por las mejores evidencias científicas disponibles. Hay varias áreas para las cuales es preciso incentivar y redirigir la investigación científica en los múltiples ámbitos que implica la pandemia actual [19]. Los desarrollos en estas líneas deberían realizarse en paralelo, por supuesto, a los avances clave esperables en biomedicina, diagnóstico, vacunas, tratamientos, etc., de aplicación en salud primaria humana, que definan las prioridades de acción en este momento. Entre estas acciones cabe destacar las siguientes:

1. Apoyo a iniciativas *One Health* [13], para diseñar y probar nuevas y mejores estrategias de prevención de pandemias.
2. Aumentar el conocimiento de base ecológica para entender la relación entre degradación de ecosistemas y riesgo de zoonosis.
3. Desarrollar un marco teórico-práctico para alcanzar la máxima inmunidad de paisaje posible en cada región entendiendo la restauración ecológica como un servicio de salud pública capaz de reducir significativamente los riesgos de zoonosis [20].
4. Prospección de la biodiversidad microbiana en vida silvestre, tanto para prever la aparición futura de pandemias como para desarrollar y probar nuevas vacunas.
5. Promover y apoyar la investigación científica sobre los mecanismos adaptativos en la evolución de los "saltos" de patógenos entre especies hospedadoras y el origen de enfermedades zoonóticas, desde sus aspectos genómicos a la ecología de las interacciones entre especies.
6. Análisis sociológico de conductas de riesgo, en consumo global, en comunidades rurales en áreas de riesgo de zoonosis, en el sector privado, en gobiernos, etc., que puedan incrementar la emergencia de pandemias.

Referencias

1. Morens, D. M., Daszak, P. & Taubenberger, J. K. Escaping Pandora's Box – Another Novel Coronavirus. *New England Journal of Medicine* 382, 1293-1295, doi:10.1056/NEJMp2002106 (2020).
2. Morens, D. M., Daszak, P., Markel, H. & Taubenberger, J. K. Pandemic COVID-19 Joins History's Pandemic Legion. *mBio* 11, e00812-00820, doi:10.1128/mBio.00812-20 (2020).
3. Boni, M. F. et al. Evolutionary origins of the SARS-CoV-2 sarbecovirus lineage responsible for the COVID-19 pandemic. *Nature Microbiology* 5, 1408+, doi:10.1038/s41564-020-0771-4 (2020).

4. Zhou, P. et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature* 579, 270-273, doi:10.1038/s41586-020-2012-7 (2020).
5. Jones, K. E. et al. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451, 990-993, doi:10.1038/nature06536 (2008).
6. Allen, T. et al. Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. *Nat Commun* 8, 1124, doi:10.1038/s41467-017-00923-8 (2017).
7. Le Quéré, C., Jackson, R.B., Jones, M.W. et al. Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change* 10, 647–653 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x>
8. Rulli, M. C., D’Odorico, P., Galli, N. & Hayman, D. Land use change and coronavirus emergence risk. *medRxiv*, 2020.2007.2031.20166090, doi:10.1101/2020.07.31.20166090 (2020).
9. Morse, S. S. in *Emerging Viruses* (ed S.S. Morse) 10-28 (Oxford University Press, 1993).
10. Parratt, S.R., Numminen, E. & Laine, A. (2016). Infectious disease dynamics in heterogeneous landscapes. *Annual Reviews of Ecology, Evolution, and Systematics*, 47. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-121415-032321
11. Wood, C.L., Lafferty, K.D., Deleo, G., Young, H.S., Hudson, P.J. & Kuris, A.M. (2014). Does biodiversity protect humans against infectious disease? *Ecology*, 95, 817–832. doi: 10.1890/15-354.1
12. IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. URL: <https://ipbes.net/global-assessment>.
13. World Health Organization. (2019). Taking a Multisectoral One Health approach: a tripartite guide to addressing zoonotic diseases in countries. Rome, Italy: FAO/OIE/WHO.
14. Nuismer SL, Thompson JN. 2006. Coevolutionary alternation in antagonistic interactions. *Evolution*. 60: 2207–2217
15. IPBES (2020) Workshop Report on Biodiversity and Pandemics of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Daszak, P., Amuasi, J., das Neves, C. G., Hayman, D., Kuiken, T., Roche, B., Zambrana-Torrelío, C., Buss, P., Dunderova, H., Feferholtz, Y., Földvári, G., Igbínosa, E., Junglen, S., Liu, Q., Suzan, G., Uhart, M., Wannous, C., Woolaston, K., Mosig Reidl, P., O’Brien, K., Pascual, U., Stoett, P., Li, H., Ngo, H. T., IPBES secretariat, Bonn, Germany, doi:10.5281/zenodo.4147317.
16. Hudson, P. J., Rizzoli, A., Grenfell, B. T., Heesterbeek, J. & Dobson, A. P. *The ecology of wildlife diseases*. (Oxford University Press, 2002).
17. World Resources Institute (WRI), The World Conservation Union (IUCN), & United Nations Environment Programme (UNEP). (1992). *Global Biodiversity Strategy: Guidelines for Action to Save, Study, and Use Earth’s Biotic Wealth Sustainably and Equitably*. URL: https://files.wri.org/s3fs-public/pdf/globalbiodiversitystrategy_bw.pdf
18. Nellemann, C. et al. *The rise of environmental crime: a growing threat to natural resources, peace, development and security*. (United Nations Environment Programme (UNEP), 2016).
19. Rupani, P. F., Nilashi, M., Abumalloh, R. A., Asadi, S., Samad, S. & Wang, S. Coronavirus pandemic (COVID-19) and its natural environmental impacts. *Int J Environ Sci Technol* (Tehran). Sep 1 : 1–12. doi: 10.1007/s13762-020-02910-x (2020).
20. Reaser, J.K., Witt, A., Tabor, G.M., Hudson, P.J. and Plowright, R.K. (2021), Ecological countermeasures for preventing zoonotic disease outbreaks: when ecological restoration is a human health imperative. *Restoration Ecology*, 29: e13357. doi: 10.1111/rec.13357