

Causas de la pérdida global de biodiversidad

Causes of global biodiversity loss

José Nicolás Pérez-García¹

¹ Maestría en Manejo de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica

Recibido: Octubre 28 de 2020

Aceptado: Diciembre 20 de 2020

*Correspondencia del autor: José Nicolás Pérez-García

E-mail: perezjose2493@gmail.com

<https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i32.219>

Resumen

La biodiversidad comprende la variabilidad de organismos y los sistemas ecológicos de los que forma parte, y constituye el sustento de la humanidad. Sin embargo, las actividades humanas han modificado a la biodiversidad en sus distintos niveles a un grado sin precedentes. Por lo cual, el objetivo de este trabajo fue analizar y describir el estado de la biodiversidad global y las cinco importantes causas de su declive: degradación y pérdida del hábitat, introducción de especies exóticas, sobreexplotación de recursos, contaminación y el cambio climático. La crisis actual se califica como la sexta extinción masiva, donde los anfibios y los corales formadores de arrecifes son los que presentan mayor riesgo de desaparecer. Debido a que para los próximos años el panorama no es el mejor, es urgente la toma acciones integrales para relentizar los procesos que dañan la integridad y funcionamiento de la diversidad biológica.

Palabras clave: declive, extinción, amenazas, deterioro, conservación biológica.

Abstract

Biodiversity comprises the variability of organisms and the ecological systems of which it is part, and constitutes the livelihood of humanity. However, human activities have modified biodiversity at its various levels to an unprecedented level. Therefore, the aim of this work was to analyze and describe the state of global biodiversity and the five important causes of its decline: degradation and loss of habitat, introduction of exotic species, overexploitation of resources, pollution and climate change. The current crisis is classified as the sixth mass extinction, with amphibians and reef-building corals most at risk of disappearing. Because for the next few years the outlook is not the best, it is urgent to take concrete actions to slow down the processes that damage the integrity and functioning of biological diversity.

Keywords: decline, extinction, threats, deterioration, biological conservation.

Introducción

El término biodiversidad no tiene una definición exacta o unificada. Para varios autores es la variedad de organismos y formas de vida; desde los genes, especies hasta una amplia gama de ecosistemas; una definición sencilla puede ser la variedad de la vida en la Tierra (1). Sin embargo, la Convención sobre Diversidad Biológica propuesta por la Organización de Naciones Unidas en 1992, hizo énfasis en que la biodiversidad no solo se refiere a plantas, animales o ecosistemas, en efecto en su definición incluyó a la humanidad y sus necesidades básicas como la salud, agua, alimentación y el ambiente agradable para subsistir (2,3).

Para comprender la variedad de vida, la biodiversidad se ha dividido en tres niveles básicos. El primero, la diversidad genética, que se refiere a la variación en los nucleótidos, genes, cromosomas o el genoma completo de los organismos. La diversidad genética es la base para la adaptación a los cambios en el ambiente a través de la selección natural, por consiguiente, es esencial para el mantenimiento de los sistemas biológicos (4).

El segundo nivel, la diversidad de especies, que incluye la organización taxonómica y sus componentes, desde las subespecies hasta reinos y dominios; es la expresión más familiarizada de la biodiversidad porque incluye el número y composición de especies. Y, en tercer lugar, se encuentra la diversidad de ecosistemas que se refiere a las escalas de las diferencias ecológicas de las comunidades y procesos ecológicos, representa hábitats loca-

les, ecorregiones y provincias, hasta los biomas y reinos biogeográficos (5).

El papel fundamental de la biodiversidad en sus diferentes niveles se relaciona a que es la base del desarrollo socioeconómico mundial por medio del ofrecimiento de bienes y servicios ecosistémicos (6). Entre estos, tenemos a los servicios de provisión de bienes materiales, alimenticios y medicinales; servicios de regulación como el clima, erosión, régimen hidrológico, nutrientes, control biológico de plagas y enfermedades y protección contra fenómenos hidrometeorológicos; servicios culturales como el disfrute del paisaje, ecoturismo, valores estéticos, oportunidades de relajación, educación e investigación científica, expresión cultural y religioso de los pueblos. También, están los servicios de soporte que permiten la generación de los demás servicios, aquí se incluye la producción primaria, formación de suelos y la fotosíntesis.

Ahora bien, debido a que la biodiversidad juega un papel crucial en el desarrollo de las sociedades, su conservación debería ser de interés para toda la humanidad. No obstante, en la actualidad, la biodiversidad global está pasando por un momento crítico, pues datos recientes estiman que hasta un millón de especies de plantas y animales están en peligro de desaparecer debido en primera instancia a las actividades humanas (7). A tal grado que la tasa de extinción de especies es 10 veces más alta que el promedio en los últimos diez millones de años (8). En este sentido, este trabajo tuvo por objetivo,

analizar y describir el estado actual de la biodiversidad mundial y las causas generales de su deterioro.

La pérdida de biodiversidad en cifras

La pérdida de biodiversidad se manifiesta de varias maneras, una de ellas es la reducción del hábitat o de la superficie de los ecosistemas originales y, por ende, se obtiene una disminución en la riqueza y abundancia de organismos a escalas locales. Otra forma es la disminución de la diversidad entre hábitats, sobre todo porque varias especies se están introduciendo en áreas distintas a su distribución histórica provocando que las comunidades que eran diferentes, se vuelvan más homogéneas entre sí (9). No obstante, los investigadores han creado herramientas para facilitar la cuantificación de la pérdida de biodiversidad, entre los cuales destaca el Índice Planeta Vivo desarrollado por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés), que toma como indicador la tendencia de las poblaciones de vertebrados (10). Otra herramienta es la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza que evalúa miles de especies de flora y fauna y las clasifica en nueve categorías según el riesgo de extinción (11).

Según el último informe sobre biodiversidad mundial

(12), el 75% del ambiente terrestre y 66% de los ambientes marinos están degradados; el 85% de los humedales que existían hace 300 años se han perdido para el 2000, la degradación de estos últimos ecosistemas se calcula es tres veces más rápida que los bosques (13). Aproximadamente 290 millones de ha de bosques nativos se perdieron entre 1990 y 2015, el 50% fue por la expansión agrícola y otra parte para obtener madera (12).

Del total de las especies vivientes, solamente se conocen alrededor del 25% (Tabla 1), donde la mayoría (aproximadamente 5,5 millones) son insectos que aún no se han identificado; pero, aunque cada año se describen nuevas especies, no significa que se cuente con toda la información sobre su biología y estado de conservación (12). A pesar de esa falta de conocimiento, estimaciones recientes indican que hasta millón de especies pueden estar en riesgo de extinción (14). En donde a nivel de grupos, están en peligro el 41% de los anfibios, 33% de los corales que forman los arrecifes, 33% de los mamíferos marinos, 30% de los tiburones y rayas, 30% de las coníferas y el 10% de los insectos. Desde el siglo XVI, han desaparecido al menos 680 especies de vertebrados (11,12).

Tabla 1. Situación de las especies a nivel mundial, sin contar bacterias y virus (11).

Grupo	Nº de especies descritas	Especies amenazadas (%)
Mamíferos	6 495	37
Aves	11 147	14
Reptiles	11 136	13
Anfibios	8 126	41
Peces	35 423	20
Invertebrados	1 501 581	25
Plantas	422 756	5
Hongos y protistas	141 275	0,2
Total de especies descritas	2 137 939	
Especies por describir	8 700 000	

La situación anterior es producto en el mayor de los casos, de la combinación de cinco mecanismos o factores que ponen en peligro la biodiversidad global: pérdida y degradación del hábitat, introducción de especies exóticas, sobreexplotación de los recursos naturales y especies, contaminación ambiental y el cambio climático (10). Estos mecanismos como procesos se han agilizado debido al aumento de la población mundial y los hábitos de consumo, puesto que desde 1970 la población se ha duplicado, llegando en la actualidad a más de 7

600 millones de habitantes (3,15). A continuación, se describen los principales factores de amenaza a la biodiversidad.

1. Pérdida y degradación del hábitat

La destrucción de los ecosistemas se perfila como la principal causa del declive de la biodiversidad. En ambientes terrestres, la cobertura forestal abarca un poco más de 4 000 millones de ha (30% de la superficie continental), pero, no se distribuye de forma uniforme, más

de la mitad pertenece a zonas cercanas al ecuador (16). La preocupación actual se refiere a que el 70% de los bosques mundiales se encuentran bajo presiones constantes, de seguir esta tendencia se tendría una pérdida de hasta el 75% de la biodiversidad mundial (17).

Los principales factores que impulsan la pérdida de cobertura forestal se relacionan con la eliminación de bosques para expansión de cultivos agrícolas y pastizales, tala para obtener madera y leña, incendios, actividad minera y construcción de infraestructuras (18).

De acuerdo con la plataforma Global Forest Watch de la Universidad de Maryland, en 2016 la pérdida de los bosques ascendió a un récord de 29,7 millones de ha, equivalente a la superficie de Nueva Zelanda y representa un incremento del 51% respecto a 2015. El principal factor en esa ocasión fue la ocurrencia de incendios en las selvas de Brasil e Indonesia (19). Para 2018, la situación aparentemente mejoró, aún así, se perdieron 12 millones de ha, siendo Brasil, República Democrática del Congo, Indonesia, Colombia y Bolivia los que registraron mayor pérdida de bosques nativos.

Como consecuencia de los procesos de pérdida de los bosques se tiene la contracción y segmentación de las comunidades biológicas limitando el crecimiento y dispersión de las mismas (20,21), de igual manera la transformación del paisaje se vuelve más notorio (22). Las consecuencias de estos procesos adversos llegan a los distintos grupos taxonómicos, por ejemplo, en las aves, el grupo de las rapaces son sensibles a la fragmentación de los bosques porque requieren grandes extensiones de hábitat y presentan baja densidad poblacional (23). Esta situación también se repite en los mamíferos, sobre todo en los de tamaño corporal grande y en felinos (24–26).

En ambientes acuáticos, los humedales cubren 12,1 millones de km², de los cuales el 54% está inundado permanentemente y el restante son humedales temporales. Se calcula que en los últimos 300 años se perdió el 87% de los humedales a nivel mundial; el periodo más crítico fue entre 1970 y 2015 cuando se aceleró su desaparición (cerca del 35%), principalmente por la transformación de humedales para cultivos agrícolas, ganadería extensiva y construcción (13,27). América Latina es la que más humedales ha perdido, cerca de 59%; mientras que, Oceanía solo ha perdido el 12% de sus humedales.

Un aspecto que no pasa desapercibido es el hecho de que los humedales artificiales han aumentado su super-

ficie a un ritmo acelerado, ahora constituyen el 12% de los humedales actuales, formados principalmente por embalses y arrozales; sin embargo, este aumento no ha compensado la pérdida de los humedales naturales (13).

2. *Introducción de especies exóticas invasoras*

Introducir especies exóticas invasoras en nuevos hábitats pueden afectar severamente a la biodiversidad, llegando a causar la extinción de poblaciones y especies nativas, afectando de paso los servicios ecosistémicos y, por tanto, el bienestar humano; llegando a ser consideradas como la segunda mayor amenaza para la biodiversidad, después de la destrucción y fragmentación del hábitat. El número de especies introducidas a nuevos ambientes se ha acelerado en el último siglo, ya sea de forma accidental o voluntaria (28–30). De ello, la tenencia ilícita de especies (como mascota o para exhibición) se perfila como uno de los principales mecanismos por los cuales una especie puede establecerse fuera de su distribución natural (31,32). Las especies invasoras usualmente causan la disminución de las especies nativas a través de mecanismos que involucran la competencia, depredación y transmisión de enfermedades (33). Pese a que los impactos de las invasiones aún no se han comprendido del todo, y que incluso, ha generado controversia entre investigadores por afirmar que las especies invasoras también pueden generar beneficios en sus nuevos hábitats, hay consenso en que los impactos en los ecosistemas son irreversibles (34).

Se estima que las presiones que ejercen las especies invasoras pueden llegar a extinguir hasta el 33% de la fauna y el 25% de las plantas (33), por lo que incrementa la vulnerabilidad de los anfibios, reptiles, aves y mamíferos ya amenazados de extinción (35). Sin embargo, a diferencia de lo que se podría pensar, las invasiones no suponen un fenómeno que ocurre de manera uniforme a lo largo y ancho de la biosfera (36). Se estima que solo el 17% de la superficie terrestre global (excluyendo la Antártida) es vulnerable a las especies invasoras (37); las regiones más afectadas por este fenómeno corresponden a zonas industriales y grandes ciudades de los países desarrollados, las cuales coinciden con zonas que presentan alta demanda de especies exóticas; y no escapan de esta realidad, las zonas críticas de biodiversidad de África, Sudamérica y Asia. Otras regiones que presentan riesgo e impactos muy alto, son los ambientes insulares (38).

Las pérdidas económicas anuales por los impactos de estas especies en los diferentes sectores de la economía

equivalen al 5% de la riqueza mundial. Cada año Estados Unidos pierde USD \$137 000 millones, Australia USD \$105 millones y la Unión Europea USD \$14 500 millones (39).

Uno de los grandes problemas que dificultan la respuesta y gestión oportuna ante las especies invasoras, es el desconocimiento de la biología de las especies y el no tener un listado de especies exóticas invasoras por países o regiones. De forma general, se tiene una base de datos compilada por el grupo especialista de especies invasoras; pero a nivel regional, solo Europa posee una base de datos sólida, en donde se contabilizan un poco más de 14 000 especies exóticas de las cuales entre el

10 y 15% se consideran invasoras, la mayoría procedente de Asia y América (40). En África, el 90% de las naciones han reportado casos de especies invasoras en sus ecosistemas (41), pero aún no se ha logrado consolidar una base de datos. El mismo déficit de información lo presentan el resto de regiones o bien se ha abordado este tema de forma aislada.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de cómo las especies invasoras impactan a los procesos ecosistémicos desde el nivel más bajo con alteración del flujo genético entre poblaciones, hasta el nivel más alto con modificación de la diversidad regional (Tabla 2).

Tabla 2. Ejemplos de especies invasoras y sus impactos en los ecosistemas y especies locales.

Especie	Descripción	Impacto
Caracol del cieno (<i>Potamopyrgus antipodorum</i>)	De ambientes dulceacuicolas, originario de Nueva Zelanda, durante el siglo XIX y XX fue introducido en Australia y Europa, posteriormente llegó a Norte América y Japón. Alcanza madurez sexual temprana con alto éxito reproductivo, por lo que presenta alta densidad poblacional.	Sus densidades poblacionales pueden ser más de 500 000 caracoles por m ² , por competencia trófica desplazan a caracoles nativos, inciden en el crecimiento de peces de importancia comercial. Se dispersan adhiriéndose a las plumas y patas de las aves, pelos de algunos mamíferos y automóviles. Aunque puede ser devorado por peces, puede tolerar varias horas dentro del intestino y sobrevivir tras ser expulsado junto a las heces (31).
Mejillón cebra (<i>Dreissena polymorpha</i>)	Originario de los mares Negro, Caspio y de Arán. Por aguas de lastre ha llegado a Europa occidental, Inglaterra y Estado Unidos. Se adapta fácilmente a las variaciones de salinidad y temperatura. La densidad poblacional es alta, miles de conchas por m ² .	Un solo mejillón puede filtrar varios litros de agua por lo que compite con moluscos nativos y a menudo les provoca asfixia. La ventaja sobre las especies nativas es que puede sobrevivir varios días fuera del agua. Las colonias pueden formar tapones, obstruyen filtros e interfieren el abastecimiento de agua para uso agrícola, industrial y urbano. Los gastos en Estados Unidos por erradicar esta especie entre 1989 y 2000 fue de unos USD \$800 millones. Aún no existe un método de erradicación efectivo (42,43).
Hormiga loca amarilla (<i>Anoplolepis gracilipes</i>)	Se le considera nativa de la zona Paleotropical (parte de África, Arabia, India y Sudeste Asiático), pero ha invadido islas Indopacíficas, Australia y Latinoamérica. En promedio viven de 76 a 84 días.	Los mayores estragos se registran en islas que contienen bosques de palmeras únicos en el mundo. Depredan artrópodos, reptiles, aves y mamíferos y casi cualquier cosa que encuentren en su camino. También, crían y protegen insectos chupadores que dañan el dosel de los bosques. En la isla de Navidad, sus nidos los establecen contiguos a los nidos del Piquetero de Abbot (<i>Sula abbotti</i>) amenazado de extinción, sus polluelos podrían ser atacados y disminuir aún más sus poblaciones (44,45).
Perca americana (<i>Micropetrus salmoides</i>)	Originaria de Norte América, pero por deporte ha sido introducida en más de 50 países de todos los continentes. Las hembras pueden poner hasta 10 000 huevos.	Es un depredador oportunista de especies autóctonas, se alimenta varias veces al día pudiendo atrapar crustáceos, renacuajos, ranas, pequeñas aves y mamíferos, por lo que disminuyen considerablemente las poblaciones de sus presas (46,47).

Perca del Nilo (*Lates niloticus*)

Un ejemplo ilustrativo de los impactos de las especies invasoras. Es originaria de Etiopía, pero se introdujo en el lago Victoria para contrarrestar la sobreexplotación pesquera. Puede alcanzar los 2 m de longitud, un peso de 200 kg y vivir hasta 16 años.

Pez león (*Pterois antennata*)

Es autóctono de lagunas costeras y de los arrecifes del Pacífico occidental y del océano Índico. Su área de distribución se ha expandido en las costas del sureste de Estados Unidos, mar Caribe y Mediterráneo. Es capaz de desovar hasta tres veces al día.

Culebra arbórea café (*Boiga irregularis*)

Nativa de Australia, Indonesia, Papua Nueva Guinea e Islas Salomón. Pero se han dispersado en el resto de islas Indopacíficas, Estados Unidos e incluso España. Pueden alcanzar 2 m de longitud, levemente venenosa.

Visón americano (*Neovison vison*)

Carnívoro pequeño originario de Estados Unidos y Canadá. Debido a su piel se usó para fabricar abrigo por lo que en el siglo XIX fue criado en granjas de estas zonas y de Europa de donde escapó. Presente también en Asia oriental y el cono sur de América del Sur.

Jabalí asilvestrado (*Sus scrofa*)

Originario de Europa, Asia y norte de África. Ha sido introducido en América, Australia, Nueva Zelanda e islas del Pacífico. Es el primo del cerdo doméstico.

Flor de bora (*Eichhornia crassipes*)

Planta acuática originaria de América del Sur, pero por su interés ornamental y fácil dispersión ha llegado a casi todos los países del mundo.

En el lago Victoria ha sido responsable de extinguir a al menos 200 especies de peces endémicas por depredación y competir por alimento. La erradicación se hace casi imposible debido a que su pesca representa beneficios económicos por la exportación de filetes hacia Estados Unidos, Unión Europea, Australia, Japón y otros países (48,49).

En los nuevos sitios de distribución se le encuentra hasta cuatro veces más abundante que en su hábitat natural y no presenta depredador natural. La cresta de espinas con veneno incluso con impactos en los humanos, lo hace un excelente cazador, se alimenta de peces pequeños, moluscos y otros invertebrados hasta disminuir sus poblaciones drásticamente (50).

En la isla de Guam han exterminado casi por completo las lagartijas y aves nativas, y una tercera parte de las poblaciones de murciélagos. Debido a esto, puede servir como vector de virus que usualmente se encontraban en sus presas y con mordeduras en humanos pueden transmitir esos gérmenes. Tienen la habilidad de pasar desapercibidas en cargamentos de aviones y barcos para llegar a otros lugares lejanos (45,51).

En Europa sus poblaciones crecen rápidamente y ha desplazado y disminuido a las poblaciones del amenazado visón europeo (*Mustela lutreola*). Es un cazador oportunista y agresivo que se alimenta de especies protegidas de anfibios, aves y mamíferos. En España se le atribuye la disminución drástica de las poblaciones del cangrejo de río (*Austropotamobius pallipes*) y la rata de agua (*Arvicola pyrenaicus*). También, puede transmitir enfermedades a la fauna nativa (52).

Causan daños a cultivos agrícolas y propagan malas hierbas. Se les considera que pueden transmitir Leptospirosis y Fiebre aftosa. Son omnívoros, en su dieta incluyen a juveniles de otros vertebrados. La erradicación no es posible del todo pues comunidades indígenas lo consideran alimento, pero aun así la población sigue aumentando (53,54).

Forma grandes alfombras impenetrables suprimiendo el crecimiento de otras plantas y del fitoplancton, causando eutrofización de los cuerpos de agua; en Sudamérica, alrededor del 41% de los lagos presentan este problema, y en la década de 1980 llegó a ocupar el 80% de la superficie del lago Victoria, el segundo más grande del mundo. Una vez establecido genera mal olor y es hospedero de larvas de mosquitos transmisores de enfermedades a los humanos. En Florida, los gastos de gestión por controlar esta planta rondan los USD \$5 millones (55,56).

3. *Sobreexplotación de recursos*

La sobreexplotación se refiere cuando la demanda sobre uno o varios recursos supera la capacidad de los ecosistemas para satisfacerla de forma sostenible. Los más comunes son el uso desmedido del agua y suelo, la industria maderera, la pesca y el tráfico ilícito de vida silvestre (57).

El consumo del agua ha aumentado 1% anualmente desde 1980 debido a la demanda de los países en desarrollo para la agricultura (irrigación de cultivos, ganadería y acuicultura), el cual es el sector que más presión ejerce sobre este recurso con alrededor del 69% de las extracciones; la industria representa el 19% y los hogares el 12% (58). Para satisfacer esta demanda, en al menos el 50% de los ríos mundiales se han construido presas para extraer entre el 40 y 50% de sus aguas. Como ejemplo de esta grave situación, en cierto periodo del año, grandes ríos como el Nilo o el Colorado no llegan a su desembocadura. El Mar de Aral, que un día fue el cuarto lago más extenso del mundo, se estima que desaparecerá en un corto plazo. La extracción desmedida de las aguas de los ríos y lagos, pone en riesgo a cerca del 50% de los peces de agua dulce (57).

La población mundial en aumento continuará consumiendo cantidades mayores de productos agrícolas, que para el 2050, la producción de alimentos, forraje y productos industriales deberá incrementarse en un 50% en comparación a 2012. Esto implica una mayor presión sobre los suelos que, en la actualidad, más de un tercio de las tierras están en categoría de moderado o altamente degradados, puesto que la intensificación y mala práctica de la agricultura conlleva a que anualmente se pierdan 40 000 millones de toneladas de suelo fértil. Lo preocupante es que quedan pocas áreas en las que se podría expandir la superficie de tierras agrícolas y en muchos casos, esas nuevas áreas son el resultado de la sustitución del bosque nativo por monocultivos (59–61).

De lo anterior, se tiene en juego las más de 360 000 especies que habitan los suelos, en su mayoría aún desconocidas. El 80% de los antibacterianos que provienen del suelo y la mayoría de macroinvertebrados relacionados con la fertilización y estabilización de los suelos, son muy sensibles a la intensificación y uso de los fertilizantes sintéticos (59). También, la disminución de la productividad de los suelos y de polinizadores, puede generar pérdidas económicas de unos USD \$577 000 millones anualmente (12). Al mismo tiempo, se tiene el

riesgo de que los desiertos aumenten su extensión por procesos combinados de deforestación y sobreexplotación de los suelos y acuíferos (59).

Otro aspecto de sobreexplotación es el tráfico de flora y fauna silvestre, el cual es un problema frecuente en los países en desarrollo donde usualmente se tiene una mala administración, débil gobernanza, insuficiente recurso económico, corrupción o incluso conflictos violentos para controlar la explotación de la riqueza natural. El origen y las rutas de tráfico ilícito de las especies se ubica en el sudeste asiático, África y Latinoamérica que buscan llegar mayormente a China, Estados Unidos y países desarrollados de Medio Oriente y Europa (62–66).

La demanda de productos derivados de la vida silvestre como pieles, huevos, carne, medicina, plantas, plumas, concha de moluscos, animales vivos y muertos, productos a base de pieles y madera, equivale a unos USD \$23 000 millones anuales (67), ubicándose por encima del tráfico de armas, diamantes y oro (68). Los fines más comunes son para experimentación biomédica, exhibición en museos y minizoológicos, mascotas, alimentos exóticos y colecciones particulares. Aproximadamente 20 000 elefantes son cazados cada año en África (67). En Sudáfrica en 2015 se casaron furtivamente más de 1 700 rinocerontes, y se estima que hay más tigres en instalaciones de cría en cautiverio que en sus hábitats naturales. Similar situación se presenta en Guacamayo de Spix, protagonista de la película animada Río, en ese año, sólo se contabilizaban 80 individuos a nivel mundial, pero la mayoría estaba en manos de coleccionistas de Alemania, España y Qatar. Desde 2014 semanalmente en los controles de mercancías de puertos y aeropuertos se decomisan en promedio dos especímenes de chimpancés, gorilas y orangutanes (67,69). El pangolín se considera el mamífero que más se trafica en Asia y África, su alta demanda en China y Vietnam es con fines alimenticios y medicina tradicional; en los decomisos entre 2013 y 2013 murieron más de 200 000 individuos, que, según expertos, solo representa el 10% de la cifra real (70).

Con la operación Thunderball de junio 2019 realizada en más de 100 países, se logró incautar 23 primates vivos, 30 felinos y piezas de animales, 440 colmillos de elefantes, 545 kg de marfil, más de 4 300 aves, 5 cuernos de rinocerontes, 10 000 tortugas y 1 300 de otros reptiles, más de 2 500 m³ de madera, más de 10 000 especies marinas (corales, caballitos de mar, delfines,

etc.) y 2 500 plantas (71). Un aspecto lamentable es que, en la comercialización de la fauna su bienestar durante el cautiverio, transporte y sacrificio no es el mejor, miles de individuos mueren antes de ser entregados a los compradores (72).

El problema no es solo los 350 millones de plantas y animales comercializadas anualmente en el mercado negro (73) que provoca la disminución de sus poblaciones en sus hábitats naturales, sino que, la comercialización ilícita ha sido relacionada con enfermedades emergentes, capaces de poner en problemas la salud humana con alcance global. Por ejemplo, algunos virus de la familia de coronavirus han causado epidemias; en lo que lleva este siglo, se tiene el brote en 2003 del Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SARS por sus siglas en inglés), causado por el virus SARS-CoV, que produjo la muerte a 774 personas; el brote en 2012 del Síndrome Respiratorio del Medio Oriente (MERS, causado por el virus MERS-CoV) y a finales de 2019, el brote de COVID-19 causado por el SARS-CoV-2, preliminarmente se maneja que este último virus pudo provenir a raíz del tráfico de fauna silvestre que se comercializaba en un mercado de Wuhan, China (74).

Los animales pueden servir como vectores para la propagación de patógenos, así a los ejemplos anteriores se suman la encefalopatía espongiiforme bovina (EEB) o enfermedad de las vacas locas, la enfermedad exótica de Newcastle, la viruela del mono, la salmonelosis asociada a reptiles, la fiebre aftosa, aviar y porcina, entre otras (72,75). La mayoría de estos casos tienen algo en común, el patógeno que se encuentra exclusivamente en animales silvestres, se adapta a nuevas condiciones o sufre mutaciones, ingresa en personas y se producen contagios de persona a persona (76).

El comercio ilegal de madera es de aproximadamente USD \$100 000 millones anuales y es responsable de la deforestación del 90% de ciertas zonas boscosas de Brasil y del sudeste asiático; y en cuanto a la pesca, la extracción ilegal ocurre en 16 de las 39 áreas marinas y costeras identificadas mundialmente, la extracción abarca especies de extinción como tiburones y rayas (77). Solo en Latinoamérica entre 2012 y 2016 se exportó hacia Asia 1 800 toneladas de aletas de tiburón sin declaración en las aduanas y, seguramente, esta cifra es mucho mayor (78). El tráfico de vida silvestre también es el responsable de que entre 2009 y 2014 más de 550 guardaparques murieran a manos de cazadores por cumplimiento de su deber, la mayoría cuidaban reservas

de biosfera (77).

4. Contaminación ambiental

La contaminación se ha intensificado progresivamente desde el desarrollo industrial en el siglo XIX (79). Entre los contaminantes emitidos al ambiente están los fertilizantes sintéticos, herbicidas, venenos, detergentes hidrocarburoados, aguas residuales, plásticos, gases tóxicos, polvo y cualquier sustancia que, añadida a la atmósfera, suelo y agua cause un daño sobre la humanidad y/o al sistema natural. Además de la actividad industrial, la contaminación es producto de la agricultura, minería, concentraciones humanas en áreas urbanas, transporte, actividades militares y los modos de vida de las personas (80,81).

En ambientes terrestres, la contaminación del suelo se perfila como un problema grave y con variedad de causas. Las zonas industriales y agrícolas de países del primer mundo y países emergentes tienen serios problemas de contaminación de suelos. Por ejemplo, China tiene el 19,4% de sus tierras agrícolas contaminadas con cadmio, arsénico y níquel (59). Los impactos de la contaminación se manifiestan en la degradación de los servicios ecosistémicos que provee el suelo tales como la reducción de la seguridad alimentaria, que debido a contaminantes de cualquier tipo puede generar que las cosechas no sean aptas para consumo humano e incluso para los animales, lo que implica millones de dólares en pérdidas (82). De igual forma, al combinarse la sobreexplotación y la contaminación del suelo, repercute en la biodiversidad edáfica, reduciendo la materia orgánica y la capacidad de actuar como filtro y fertilizantes (83). Otro aspecto de este tipo de contaminación es que no solo afecta a la estructura externa o visible, sino también al agua contenida en los poros del suelo y subterránea, provocando desequilibrio en los procesos ecológicos globales (84).

En los océanos, el 80% de los contaminantes proviene de las actividades en el continente, entre los que figuran los vertidos industriales, escorrentías de la actividad agrícola y de las ciudades, que en el último caso, más de 8 millones de plásticos de todo tipo y cerca del 80% de las aguas residuales municipales son vertidas sin tratamiento en ríos que luego son arrastrados a las zonas costeras (85,86); además se tiene la contaminación que ocurre lejos de las costas por vertimientos de los barcos cargueros. De esta manera, una es la contaminación por rutina que ocurre cuando los buques descargan sustancias residuales de forma arbitraria en relación a

las normas internacionales, y otra es la contaminación accidental por derrame, explosión, fuga o colisión entre barcos que transportan petróleo, productos sintéticos, aguas residuales, entre otros (87,88).

Independientemente de la fuente, cada año se vierten en los océanos cerca de 5 millones de toneladas de hidrocarburos, cuando sucede en aguas de cierto país, las acciones de limpieza y de evitar mayores problemas pueden ser de forma inmediata; pero, cuando ocurre en aguas internacionales, usualmente nadie se responsabiliza, lo que conlleva a que se expanda la contaminación. Lo más grave es que por sus propiedades, los hidrocarburos se acumulan en el fondo del mar y aunque se realice limpieza y la superficie oceánica pareciera limpia, la contaminación en el fondo puede continuar generando estragos en el sistema ecológico (89).

Los impactos de la contaminación oceánica en las especies, y por consiguiente en los ecosistemas, se relacionan con: a) efectos directos letales, cuando produce alta mortalidad de individuos al impedir la respiración o atoramiento del cuerpo en cierto material sin ingerirlo; b) efectos directos subletales, cuando se producen gradualmente alteraciones fisiológicas o morfológicas que reducen la viabilidad de las poblaciones tras la ingesta de ciertas sustancias o materiales, ejemplo de ello pueden ser cambios reproductivos o comportamiento de los individuos; y c) efectos indirectos, tales como la perturbación de los procesos ecológicos, alteración del hábitat, cambios en las redes tróficas y en niveles de la productividad (89).

5. El Cambio climático

A lo largo de la historia de la Tierra, el clima por diferentes razones ha presentado variaciones, influyendo en la distribución de la biodiversidad; y hace parte trascendental para el funcionamiento de los ecosistemas y la humanidad (90). Se denomina cambio climático cuando ocurre un cambio gradual y sostenido en el estado del clima global, cuyas causas pueden ser naturales y antrópicas. Las primeras tienen que ver las variaciones en la cantidad de radiación solar que llega a la Tierra, fenómenos como la Oscilación del Sur y el efecto in-

vernadero, erupciones volcánicas, movimientos de las placas tectónicas, variación de la órbita terrestre y los impactos de meteoritos; y las causas antrópicas se relacionan con las emisiones de gases de efecto invernadero por quema de combustibles fósiles en el sector transporte, producción de alimentos, industria y generación de energía; así como la tala de bosques, tratamiento de residuos, uso de fertilizantes y la ganadería (91).

Si bien en el pasado han ocurrido cambios climáticos, para el caso actual la causa principal son las actividades humanas y los modos de vida de la población. Y es precisamente que el aumento de la población mundial que demanda cada vez más recursos, y las formas de producción desde la revolución industrial han generado aumentos significativos en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tales como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozono, vapor de agua y otros gases fluorados; y por consiguiente, se ha fortalecido y alterado el fenómeno natural del efecto invernadero, el cual es el responsable de mantener las condiciones apropiadas para el desarrollo de la vida. El fortalecimiento de este fenómeno se traduce en mayor retención de la radiación solar y la temperatura del planeta. La evidencia muestra una relación directa entre el aumento de GEI y el aumento de temperatura. En la actualidad hay mayores niveles de dióxido de carbono en la atmósfera que en los últimos 650 000 años, mientras que la temperatura entre 1880 y 2012 aumentó 1,06 °C (91,92).

Las expresiones del cambio climático ocurren por medio cuatro fenómenos o efectos particulares: variación extrema de la temperatura, cambio en los patrones de precipitación, aparición de fenómenos hidrometeorológicos extremos y cambios en la composición de la atmósfera (93). De estos fenómenos, el de mayor percepción y el precursor de otros fenómenos es el calentamiento global, en este sentido para 2050 se proyecta un incremento de hasta 4° C; luego están las inundaciones, aumento del nivel de los océanos, derretimiento de los glaciares, sequías y huracanes intensos, etc. los cuales impactan en la estructura y función de todas las formas de vida y estas responden de diferentes maneras, ya sea para cambiar, moverse o desaparecer (Tabla 3) (94,95).

Tabla 3. Respuestas ecológicas de los distintos niveles de vida debido a los efectos del cambio climático (93,95,96).

Nivel	Cambios o modificaciones
Individuo	Cambios fenológicos que se expresan en la alteración de los tiempos para la migración, floración y reproducción.
Especies	Desplazamiento de la distribución de especies ya sea en altitud o latitud.
Poblaciones	Cambios en el tamaño poblacional, morfología y comportamiento habitual de las poblaciones como respuesta a los cambios ambientales
Comunidades	Modificación de las interacciones y cambios en la composición y estructura por cambios físicos y químicos del ambiente.
Ecosistemas	Sustitución de ecosistemas y cambios en los patrones de perturbación.

De igual manera al presentarse situaciones combinadas como altas temperaturas, sequías prolongadas y déficit de lluvias, se tiene el riesgo de que se produzcan incendios forestales en zonas no habituales y no adaptadas a la interacción con el fuego (97). De tal forma, este fenómeno se perfila como una causa irreversible de la transformación del hábitat y acelera la extinción de especies, que ya presentan amenazas (98). Se ha documentado que los impactos serán diferentes de una región a otra, entre ellas, la de mayor preocupación son los sitios con mayor endemismo (99,100), así como a las especies que no tienen a donde ir, como por ejemplo las que viven en la cumbre de las montañas, fragmentos de bosques aislados y archipiélagos (96), a tal punto que se considera que el fenómeno del cambio climático ya ha causado las primeras extinciones en este siglo.

También se ha registrado una disminución en los glaciares de la cordillera de los Andes, el Himalaya y los montes altos de África Oriental. Por ejemplo, el Monte Kilimanjaro además de perder un tercio de sus glaciares, en los últimos años se han registrado déficits de precipitaciones, impactando en los ecosistemas y especies de tierras medias y bajas que dependen de los arroyos que nacen en la cumbre de esta montaña, entre ellos, mamíferos emblemáticos como elefantes africanos (*Loxodonta africana*), el rinoceronte negro (*Diceros bicornis*) y otras especies (96). Así mismo, el derretimiento del hielo en el Ártico que en 2008 fue una superficie similar a México, con ello se tiene la reducción del hábitat del oso polar (*Ursus maritimus*) generando dificultad para conseguir alimento y por consiguiente están propensos a sufrir desnutrición, reducción de la talla corporal, dificultad para alimentar apropiadamente a las crías y mayor aislamiento poblacional (101,102). Al otro extremo, en la Antártida, el Krill representa el principal alimento del pingüino de Adelia (*Pygoscelis adeliae*), pero con el aumento de la temperatura se ha desplazado hacia zonas más frías y alejadas donde los

pingüinos no pueden llegar, estimándose que entre 1990 y 2004 se redujo de 320 a 54 parejas de pingüinos por esta situación adversa (96).

Los arrecifes de coral son otro ejemplo de cómo el cambio climático influye en los ecosistemas, ya que estos ambientes han sido impactados por casi todos sus efectos (acidificación, desoxigenación y calentamiento de las aguas, cambio en los patrones de precipitación y frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales), generando el famoso blanqueamiento de los corales por la ruptura de la simbiosis con las algas y la posterior muerte de los corales, en el Mar Caribe ya se registra un impacto de entre 40 y 50% de sus arrecifes por esta causa (103,104). El primer caso de extinción causado debido al cambio climático actual es el sapo dorado (*Bufo periglenes*), que vivió en una zona helada del bosque nuboso de Monteverde, Costa Rica, el cual fue visto por última vez en 1988. El aumento de la temperatura, déficits de lluvias, la modificación de otros factores físicos y la intensificación del fenómeno del Niño en esos años, también pudieron influir en el decrecimiento población y luego la extinción de esta especie. Otra hipótesis sostiene que el anuro pudo desaparecer por la enfermedad Chytridiomycosis causada por el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis*, en donde con el aumento de la temperatura pudo ser una condición para que el hongo se propagara fácilmente e infestara a toda la población del sapo dorado (105).

En la costa Este de Estados Unidos se ha registrado que al menos 22 especies de pájaros migratorios en periodos de cuatro años se distribuyen 55 km más al norte de lo habitual, patrones similares también ocurren en Europa. En Holanda en la década de 1980 entre abril y junio arribaban gran cantidad de mosqueteros (*Ficedula hypoleuca*) para la reproducción, luego cuando nacían los polluelos la alimentación no era problema porque coincidía con la salida de grandes cantidades de orugas

de sus huevos; sin embargo, para el 2000 con el aumento de la temperatura provocó que las orugas salieran unos 15 días antes de lo habitual, lo que produjo que los polluelos no pudieran ser alimentados por sus padres por falta de alimento. En ese periodo la población de mosqueteros se redujo un 90% (106,107).

En China el panda gigante (*Ailuropoda melanoleuca*) está en peligro de extinción pues sólo se contabilizan unos 1 864 individuos, su dieta 99% a base de bambú puede estar en peligro, puesto que el bambú florece y se reproduce entre los 15 y 120 años, pero se adapta lentamente a los cambios del clima, lo que supone además la reducción del hábitat para la especie (108).

La pica americana (*Ochotona princeps*) tuvo que adaptar su estilo de vida, pues hasta hace unos años se le consideraba sedentario, pero con el aumento de la temperatura, las poblaciones en tierras bajas tuvieron que desplazarse a nuevos sitios, mientras que las de sitios elevados aún mantienen su distribución histórica (109). En el caso de los reptiles, la temperatura es importante a la hora de la incubación de los huevos en al menos 500 especies, a temperaturas arriba del promedio óptimo, en tortugas se favorece el nacimiento de hembras y en cocodrilos la cría de machos; si no se revierte esta situación, el exceso de machos o hembras y la desaparición paulatina del otro sexo, puede llevar a la extinción de ciertas especies (110,111).

Consideraciones finales

La biodiversidad no se trata únicamente de la concepción humana de disfrutar de una naturaleza diversa y apasionante, sino también, es la base del sustento humano a través de la provisión de bienes y servicios ecosistémicos. La utilización irresponsable de los recursos

naturales ha conllevado a destruir a la biodiversidad directa o indirectamente. Es por esta razón que el declive actual no tiene precedentes, es posible que algunas especies desaparezcan aún sin ser descubiertas. Los próximos años serán críticos, pues los desequilibrios ambientales seguirán agudizándose a medida que la población mundial en pleno crecimiento se vuelva más consumista, esto a expensas de ejercer mayor presión sobre los bienes y servicios ecosistémicos.

Las principales causas expuestas del deterioro de la biodiversidad son complejas y en constante estudio científico. Por lo cual, es imprescindible generar información a nivel local para conocer las respuestas de las especies ante los factores de amenazas a fin de tomar acciones oportunas para su conservación.

Si bien, como se ha reiterado de que el panorama de la biodiversidad global no pasa por su mejor momento, ciertas medidas pueden ayudar a disminuir la velocidad del declive, tales como la creación y mantenimiento de áreas protegidas, establecimiento de corredores biológicos, restauración de sitios degradados, fomento de la educación ambiental, reducción del consumismo y uso de energías limpias; de igual manera, es importante un mayor control del tráfico y tenencia ilícita de especies, estrategias de gestión de incendios forestales, fomento de la investigación y facilitar la participación social en tareas de conservación.

Agradecimientos

A Yesica Rico Mancebo del Castillo y a los revisores anónimos por las sugerencias y comentarios para mejorar este trabajo.

Referencias

1. Diéguez-Uribeondo J, Valdecasas AG. ¿Qué queremos decir cuando hablamos de biodiversidad? [Internet]. Fundación Española para la Ciencia y Tecnología; 2011 [citado 29 de abril de 2020]. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/80452>
2. Pugnaire FI. La crisis global de la biodiversidad. *Ecosistemas*. 2006;15(2):1-2.
3. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estado de la biodiversidad para la alimentación y la agricultura en el mundo. Roma: Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura; 2019 p. 16.
4. Marín M, Baptiste B, Andrade G. Comunicación en el laberinto de la biodiversidad. Bogotá, D.C, Colombia: Puntoaparte Bookvertising; 2018. 198 p.
5. Gaston KJ. Biodiversity. En: *Conservation Biology for All*. Nueva York: Oxford University Press Inc.; 2010. p. 27-44.
6. Moncada-Rojas JR. Líneas estratégicas para la conservación de la biodiversidad. *Rev Cien Tecn Agro-Illanía*. 2019;18(3):49-55.
7. Normander B. Biodiversidad: combatir la sexta extinción masiva. En: *La situación del mundo 2012: Hacia una prosperidad sostenible informe anual del Worldwatch Institute sobre el progreso hacia una sociedad sostenible*. Barcelona, España: Icaria; 2012. p. 16.
8. Butchart SH, Walpole M, Collen B, van Strien A, Scharlemann JPW, Almond REA, et al. Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. 2010;328:1164-8.
9. Magurran AE. Q&A: What is biodiversity? *BMC Biol*. diciembre de 2010;8(145):1-4.
10. World Wildlife Fund. Informe planeta vivo: 2018. Apuntando más alto, Resumen. Gland, Suiza: WWF; 2018 p. 36.
11. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. The IUCN red list. Summary Statistics [Internet]. 2020 [citado 28 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org/resources/summary-statistics>
12. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystems services of the Intergovernmental Science-Platform on Biodiversity and Ecosystems Services. Bonn, Alemania: IPBES Secretariat; 2019 p. 60.
13. Ramsar. Perspectiva mundial de los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas. Gland, Suiza: Secretaría de Convención de Ramsar sobre Humedales; 2018 p. 88.
14. Tollefson J. One million species face extinction. *Science*. 2019;569:171.
15. Adebayo O. The loss biodiversity: the burgeoning threat to human health. *Ann Idaban Postgrad Med*. 2019;17(1):5-7.
16. Comisión Europea. Intensificar la actuación de la UE para proteger y restaurar los bosques del mundo. Bruselas: Comisión Europea; 2019 p. 24.
17. Haddad NM, Brudvig LA, Clobert J, Davies KF, Gonzalez A, Holt RD, et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Sci Adv*. 2015;1(2):e1500052.
18. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El Estado de los bosques del mundo. Las vías forestales para el desarrollo sostenible. 2018.
19. Weisse M, Dow E. La pérdida de cobertura arbórea mundial ascendió al 51 porcentaje en 2016 [Internet]. World Resources Institute. 2017 [citado 6 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.wri.org/blog/2017/11/la-p-rdida-de-cobertura-arb-rea-mundial-ascendi-al-51-porcentaje-en-2016>
20. Rybicki J, Hanski I. Species-area relationships and extinctions caused by habitat loss and fragmentation. Enquist B, editor. *Ecol Lett*. 2013;16:27-38.
21. Thompson PL, Rayfield B, Gonzalez A. Loss of habitat and connectivity erodes species diversity, ecosystem functioning, and stability in metacommunity networks. *Ecography*. 2017;40(1):98-108.
22. Otavo S, Echeverría C. Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Rev Mex Biodivers*. 2017;88(4):924-35.
23. Zurita GA, Bellocq MI. Pérdida y fragmentación de las selvas paranenses: efecto sobre las aves rapaces diurnas. *Hornero*. 2007;22(2):141-7.

24. Crooks KR, Burdett CL, Theobald DM, King SR, Di Marco M, Rondinini C, et al. Quantification of habitat fragmentation reveals extinction risk in terrestrial mammals. *Proc Natl Acad Sci*. 2017;114(29):7635-40.
25. Schüttler E, Klenke R, Galuppo S, Castro RA, Bonacic C, Laker J, et al. Habitat use and sensitivity to fragmentation in America's smallest wildcat. *Mamm Biol*. 2017;86:1-8.
26. Zanin M, Palomares F, Brito D. What we (don't) know about the effects of habitat loss and fragmentation on felids. *Oryx*. 2014;49(1):96-106.
27. Quesnelle PE, Fahrig L, Lindsay KE. Effects of habitat loss, habitat configuration and matrix composition on declining wetland species. *Biol Conserv*. 2013;160:200-8.
28. Capdevila-Argüelles L, Zilletti B, Álvarez VÁ. Causas de la pérdida de biodiversidad: Especies Exóticas Invasoras. *Mem Real Soc Esp Hist Nat*. 2013;10:55-75.
29. Capinha C, Essl F, Seebens H, Moser D, Pereira HM. The dispersal of alien species redefines biogeography in the Anthropocene. *Science*. 2015;348(6240):1248-51.
30. Seebens H, Blackburn TM, Dyer EE, Genovesi P, Hulme PE, Jeschke JM, et al. No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nat Commun*. 2017;8(14435):1-9.
31. Alonso A, Castro-Diez P. Las invasiones biológicas y su impacto en los ecosistemas. *Ecosistemas*. 2015;24(1):1-3.
32. Cardador L, Blackburn TM. Human-habitat associations in the native distributions of alien bird species. *J Appl Ecol*. 2019;56:1189-99.
33. Blackburn TM, Bellard C, Ricciardi A. Alien versus native species as drivers of recent extinctions. *Front Ecol Environ*. 2019;17(4):203-7.
34. Kumschick S, Gaertner M, Vilà M, Essl F, Jeschke JM, Pyšek P, et al. Ecological Impacts of Alien Species: Quantification, Scope, Caveats, and Recommendations. *BioScience*. 2015;65(1):55-63.
35. Bellard C, Cassey P, Blackburn TM. Alien species as a driver of recent extinctions. *Biol Lett*. 2017;12:1-4.
36. Duncan RP, Cassey P, Pigot AL, Blackburn TM. A general model for alien species richness. *Biol Invasions*. 2019;21(8):2665-77.
37. Early R, Bradley BA, Dukes JS, Lawler JJ, Olden JD, Blumenthal DM, et al. Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. *Nat Commun*. 2016;7(12485):1-9.
38. Dawson W, Moser D, van Kleunen M, Kreft H, Pergl J, Pyšek P, et al. Global hotspots and correlates of alien species richness across taxonomic groups. *Nat Ecol Evol*. 2017;1(7):0186.
39. Martínez JL. El verdadero coste de las especies invasoras [Internet]. iAgua. iAgua; 2019 [citado 10 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/technoymar-soluciones/verdadero-coste-especies-invasoras>
40. Roy HE, Bacher S, Essl F, Adriaens T, Aldridge DC, Bishop JD, et al. Developing a list of invasive alien species likely to threaten biodiversity and ecosystems in the European Union. *Glob Change Biol*. 2018;25:1032-48.
41. Egoh BN, Ntshotsho P, Maoela MA, Blanchard R, Ayompe LM, Rahlao S. Setting the scene for achievable post-2020 convention on biological diversity targets: A review of the impacts of invasive alien species on ecosystem services in Africa. *J Environ Manage*. 2020;261(110171):1-8.
42. De Poorter M, Darby C, Darby J. Amenaza marina, especies exóticas invasoras en el entorno marino. Programa Marino Mundial de la UICN; 2009.
43. Gallardo B, Español C. El mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*, Pallas 1971) en La Rioja: situación actual y evolución potencial. *Zubía*. 2011;23:203-22.
44. Hsu P, Hugel S, Wetterer J, Tseng S-P, Mark C, Lee C, et al. Ant crickets (Orthoptera: Myrmecophiliidae) associated with the invasive yellow crazy ant *Anoplolepis gracilipes* (Hymenoptera: Formicidae): evidence for cryptic species and potential co-introduction with hosts. *Myrmecol News*. 2020;30:103-29.
45. Lowe S, Browne M, Boudjelas S, De Poorter M. 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database. Grupo Especialistas de Especies Invasoras; 2004.
46. Bae M, Murphy CA, García-Berthou E. Temperature and hydrologic alteration predict the spread of invasive Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*). *Sci Total Environ*. 2018;639:58-66.

47. DuBose TP, Ashford K, Vaughn CC. Freshwater mussels increase survival of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in drying pools. *Ecol Freshw Fish*. 2019;29(2):1-10.
48. Aloo PA, Njiru J, Balirwa JS, Nyamweya CS. Impacts of Nile Perch, *Lates niloticus*, introduction on the ecology, economy and conservation of Lake Victoria, East Africa. *Lakes Reserv Res Manag*. 2017;22(4):320-33.
49. Asnake W. Nile Perch (*Lates niloticus*): The Promising White Meat of the World. *J Nutr Food Sci*. 2018;8(2):1-3.
50. Gómez-del Río E, Mendoza-Cuenca L, Caballero-Vásquez JA. Pez león: invasor al descubierto. *Cienc UANL*. 2018;87:46-50.
51. Invasive Species Specialist Group. Global Invasive Species Database [Internet]. *Boiga irregularis*. 2020 [citado 20 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=54>
52. Balmori A, Santos I, Carbonell R. The American mink *Neovison vison* (Schreber 1777) in Spain: possible causes of its spread and interaction with other semi-aquatic mammals. *Ecosistemas*. 2015;24(1):4-11.
53. Hidalgo-Mihart MG, Pérez-Hernández D, Pérez-Solano LA, Contreras-Moreno F, Angulo-Morales J, Hernández-Nava J. Primer registro de una población de cerdos asilvestrados en el área de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Rev Mex Biodivers*. 2014;85(3):990-4.
54. Rosell C, Herrero J. El Jabalí sus hábitos, descripción, reproducción y distribución [Internet]. Trofeo caza y conservación. 2020 [citado 20 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.trofeocaza.com/caza-mayor/fichas-de-especies/jabali/>
55. Guevara MF, Ramírez LJ. Eichhornia crassipes, su invasidad y potencial fitorremediador. *Granja Rev Cienc Vida*. 2015;22(2):5-11.
56. Tejada-Tovar C, Paz-Astudillo I, Villabona-Ortíz A, Espinosa-Fortich IM, López-Badel IC. Aprovechamiento del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) para la síntesis de carboximetilcelulosa. *Rev Cuba Quím*. 2018;30(2):211-21.
57. Dorado A. ¿Qué es la biodiversidad? Madrid, España: Fundación Biodiversidad; 2010. 84 p.
58. United Nations World Water Assessment Programme. Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. Paris: Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO; 2019.
59. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estado mundial del Recurso Suelo. Roma, Italia. 2016 p. 92.
60. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020. San José, Costa Rica: CEPAL, FAO, IICA; 2019 p. 134.
61. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos/Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028. Roma, Italia. 2019 p. 348. (Enfoque especial: América Latina).
62. Esmail N, Wintle BC, t Sas-Rolfes M, Athanas A, Beale CM, Bending Z, et al. Emerging illegal wildlife trade issues: A global horizon scan. *Conserv Lett*. 2020;12715:1-10.
63. Reducing Opportunities for Unlawful Transport of Endangered Species. Runway to extinction. Wildlife trafficking in the air transport sector. USAID; 2019 p. 112.
64. Symes WS, McGrath FL, Rao M, Carrasco LR. The gravity of wildlife trade. *Biol Conserv*. 2018;218:268-76.
65. t Sas-Rolfes M, Challender DWS, Hinsley A, Veríssimo D, Milner-Gulland EJ. Illegal Wildlife Trade: Scale, Processes, and Governance. *Annu Rev Environ Resour*. 2019;44(1):201-28.
66. United Nations Office on Drugs and Crime. Delito ambiental: el tráfico ilícito de fauna silvestre y madera [Internet]. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito; 2012. Disponible en: https://www.unodc.org/documents/toc/factsheets/TOC12_fs_environment_ES_HIRES.pdf
67. Organización de las Naciones Unidas. ¿Qué estamos haciendo para poner fin al tráfico ilegal de vida silvestre? [Internet]. ONU programa para el medio ambiente. 2020 [citado 11 de mayo de 2020]. Dis-

- ponible en: <http://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/que-estamos-haciendo-para-poner-fin-al-trafico-ilegal-de-vida>
68. Valencia-González C. Fauna silvestre en Colombia: entre la ilegalidad y las oportunidades del comercio internacional en la CITES. *Rev Virtual Univ Católica Norte*. 2018;55(4):128-45.
 69. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. El tráfico ilegal de vida silvestre es un crimen. Actuemos con firmeza [Internet]. CITES. 2015 [citado 14 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.cites.org/esp/wwd_2015
 70. World Wildlife Fund. Pangolín [Internet]. World Wildlife Fund. 2020 [citado 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/pangolin>
 71. International Criminal Police Organization. Tráfico de especies silvestres: Duro golpe al crimen organizado en una operación conjunta de INTERPOL y la OMA de alcance mundial [Internet]. Noticias INTERPOL. 2019 [citado 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.interpol.int/es/Noticias-y-acontecimientos/Noticias/2019/Trafico-de-especies-silvestres-Duro-golpe-al-crimen-organizado-en-una-operacion-conjunta-de-INTERPOL-y-la-OMA-de-alcance-mundial>
 72. Baker S, Cain R, Kesteren F, Zommers Z, D'cruze N, McDonald D. Rough Trade: Animal Welfare in the Global Wildlife Trade. *BioScience*. 2013;63(12):928-38.
 73. Defenders. Combatiendo el tráfico ilegal de vida silvestre de América Latina a los Estados Unidos [Internet]. Defenders of Wildlife; 2015 [citado 12 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://defenders.org/sites/default/files/publications/combatiendo-el-trafico-ilegal-de-vida-silvestre.pdf>
 74. Wong G, Bi Y-H, Wang Q-H, Chen X-W, Zhang Z-G, Yao Y-G. Zoonotic origins of human coronavirus 2019 (HCoV-19/SARS-CoV-2): why is this work important? *Zool Res*. 2020;41(3):213-9.
 75. World Wildlife Fund. Piden a gobiernos del Sudeste Asiático el cierre de mercados de especies silvestres, en respuesta al COVID-19 [Internet]. 2020 [citado 12 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://wwf.panda.org/es/?362060/diasalud>
 76. Talavera S. Zoonosis transmitidas por vectores, unos vehículos muy sofisticados. *CRoSAPIENS*. 2014;6(6):12-3.
 77. World Wildlife Fund. No está en venta. Detener el comercio ilegal de especies de la lista CITES provenientes de sitios de patrimonio mundial. Gland, Suiza. 2017 p. 52.
 78. Carrere M. Latinoamérica: más de 1800 toneladas de aletas de tiburón fueron exportadas a Asia sin ser registradas en aduanas [Internet]. Mongabay Environmental News. 2020 [citado 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://es.mongabay.com/2020/01/latinoamerica-toneladas-de-aletas-de-tiburon-exportadas-a-asia-sin-registro-en-aduanas/>
 79. Magi E, Di Carro M. Marine environment pollution: The contribution of mass spectrometry to the study of seawater. *Mass Spectrometry Rev*. 2016;9999:1-21.
 80. Badii MH, Guillén A, Rodríguez CE, Lugo O, Aguilar J, Acuña M. Pérdida de la biodiversidad: causas y efectos. *Int J Good Conscience*. 2015;10(2):156-74.
 81. Bellas J, Hylland K, Burgeot T. Editorial: New Challenges in Marine Pollution Monitoring. *Front Mar Sci*. 2020;6(820):1-3.
 82. Rodríguez-Eugenio N, McLaughlin M, Pennock D. La contaminación del suelo: una realidad oculta. Roma, Italia: Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; 2019 p. 92.
 83. Hafez EE, Elbestawy E. Molecular characterization of soil microorganisms: effect of industrial pollution on distribution and biodiversity. *World J Microbiol Biotechnol*. 2009;25(2):215-24.
 84. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro [Internet]. Seis razones por las cuales debería preocuparnos la contaminación del suelo. 2020 [citado 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/faostories/article/es/c/1126977/>
 85. Bassem SM. Water pollution and aquatic biodiversity. *Biodivers Int J*. 2020;4(1):10-6.
 86. Sheth J, Shah D. Marine Pollution from Plastics and Microplastics. *J Mar Biol Oceanogr*. 2019;8(1):1-3.
 87. Boran M. Editorial: New Challenges in Marine Pollution Monitoring. *Front Mar Sci*. 2017;6(820):1-3.
 88. León-Rodríguez E. La contaminación marina por fuentes terrestres: un problema global. *Rev NEJ*. 2012;17(1):12-24.

89. Martín R, Monreal I. Contaminación marina por hidrocarburos. Aspectos de práctica jurídico-penal y soluciones químico-ambientales. *Ambiente y Medio*. 2016;5:32-8.
90. Jyothi A. Global climate change and animal biodiversity. *Int J Res Anal Rev*. 2018;5(1):958-61.
91. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Insignia del Cambio Climático. Food & Agriculture ORG; 2016.
92. IPCC. Calentamiento global de 1,5 °C: Resumen para responsables de políticas. Resumen técnico. IPCC; 2019 p. 110.
93. Londoño MC, Saboyá P, Urbina-Cardona JN. Conocimiento científico de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad continental: productividad de las instituciones colombianas y propuesta para un análisis integral. *Biodivers En Práctica*. 2019;4(1):86-110.
94. Pires APF, Srivastava DS, Marino NAC, MacDonald AAM, Figueiredo-Barros MP, Farjalla VF. Interactive effects of climate change and biodiversity loss on ecosystem functioning. *Ecology*. 2018;99(5):1203-13.
95. Rinawati F, Stein K, Lindner A. Climate change impacts on biodiversity. The setting of a lingering global crisis. *Diversity*. 2013;5(1):114-23.
96. Kaeslin E, Redmond I, Dudley N. La fauna silvestre en un clima cambiante. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; 2013.
97. Greenpeace. Imágenes y datos: así nos afecta el cambio climático [Internet]. 2018 [citado 21 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/11/GP-cambio-climatico-LR.pdf>
98. Krause B, Farina A. Using ecoacoustic methods to survey the impacts of climate change on biodiversity. *Biol Conserv*. 2016;195:245-54.
99. He J, Yan C, Holyoak M, Wan X, Ren G, Hou Y, et al. Quantifying the effects of climate and anthropogenic change on regional species loss in China. *PLOS ONE*. 2018;13(7):1-12.
100. Hidas-Neto J, Joner DC, Resende F, Monteiro L de M, Faleiro FV, Loyola RD, et al. Climate change will drive mammal species loss and biotic homogenization in the Cerrado Biodiversity Hotspot. *Perspect Ecol Conserv*. 2019;17(2):57-63.
101. Crompton AE, Obbard ME, Petersen SD, Wilson PJ. Population genetic structure in polar bears (*Ursus maritimus*) from Hudson Bay, Canada: Implications of future climate change. *Biol Conserv*. 2008;141(10):2528-39.
102. Laidre KL, Stern H, Kovacs KM, Lowry L, Moore SE, Regehr EV, et al. Arctic marine mammal population status, sea ice habitat loss, and conservation recommendations for the 21st century: Arctic Marine Mammal Conservation. *Conserv Biol*. 2015;29(3):724-37.
103. Kleypas JA. Climate change and tropical marine ecosystems: A review with an emphasis on coral reefs. *UNED Res J*. 2019;11(1):24-35.
104. Reyna-Fabián M, Espinoza A, Seingier G, Ortiz-Lozano L. De la evaluación ecológica a la socioecológica: la vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante los factores de estrés asociados al cambio climático. *Soc Ambiente*. 2018;6(17):59-92.
105. Anchukaitis KJ, Evans MN. Tropical cloud forest climate variability and the demise of the Monteverde golden toad. *Proc Natl Acad Sci*. 2010;107(11):5036-40.
106. Both C, Bouwhuis S, Lessells CM, Visser ME. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature*. 2006;441:81-3.
107. Hüppop O, Winkel W. Climate change and timing of spring migration in the long-distance migrant *Ficedula hypoleuca* in central Europe: the role of spatially different temperature changes along migration routes. *J Ornithol*. 2006;147(2):344-53.
108. Li J, Liu F, Xue Y, Zhang Y, Li D. Assessing vulnerability of giant pandas to climate change in the Qinling Mountains of China. *Ecol Evol*. 2017;7(11):4003-15.
109. Beever EA, Hall LE, Varner J, Loosen AE, Dunham JB, Gahl MK, et al. Behavioral flexibility as a mechanism for coping with climate change. *Front Ecol Environ*. 2017;15(6):299-308.
110. Pezaro N, Doody JS, Thompson MB. The ecology and evolution of temperature-dependent reaction norms for sex determination in reptiles: a mechanistic conceptual model: Evolution of reaction norms for TSD in reptiles. *Biol Rev*. 2017;92(3):1348-64.
111. While GM, Noble DWA, Uller T, Warner DA, Riley JL, Du W-G, et al. Patterns of developmental plasticity in response to incubation temperature in reptiles. *J Exp Zool Part Ecol Integr Physiol*. 2018;329:162-76.