

La Biodiversidad: Conceptos, estatus actual y amenazas



Autores: Alfredo Romero Santos, Mgtr.
e Iris Pérez Almeida, Ph.D.



LA BIODIVERSIDAD: CONCEPTOS, ESTATUS ACTUAL Y AMENAZAS

AUTORES

Alfredo Romero Santos, Mgtr.

Iris Pérez Almeida, Ph.D.

2023

TÍTULO**LA BIODIVERSIDAD: CONCEPTOS, ESTATUS ACTUAL Y AMENAZAS****AUTORES:**

Alfredo Romero Santos, Mgtr.

Iris Pérez Almeida, Ph.D.

AÑO

2023

EDICIÓN

Lcda. Alejandra González Andrade. -Departamento de Publicaciones Universidad ECOTEC

ISBN

978-9942-960-87-0

No. PÁGINAS

103

LUGAR DE EDICIÓN

Samborondón –Ecuador

DISEÑO DE CARÁTULA¹Departamento de Relaciones Públicas y Marketing. Universidad ECOTEC**NOTA EDITORIAL:**

Los capítulos del presente libro son resultado de investigaciones realizadas por parte de los autores en busca de contribuir con el desarrollo académico de los estudiantes de grado y posgrado, tributando a la Línea de Investigación de "*Medio Ambiente y Sociedad*", de la Universidad ECOTEC. Los autores del libro tuvieron la responsabilidad de seleccionar dichas investigaciones científicas, tomando en consideración el impacto y relevancia de la información, en virtud de la difusión del conocimiento.

¹ La portada se encuentra sujeta a cambios

CONTENIDO

DATOS DE LOS AUTORES	6
PRESENTACIÓN	8
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	10
1.1 ¿Qué es la Biodiversidad?.....	10
1.2 Componentes de la biodiversidad.....	12
1.3 El suelo: soporte esencial de la biodiversidad terrestre en la biósfera	19
1.4 Biodiversidad y evolución: las extinciones masivas	20
CAPÍTULO 2: EL PAPEL DE LA BIODIVERSIDAD EN LA BIÓSFERA	26
2.1 El interés por la biodiversidad.....	26
2.2. Surgimiento del marco institucional internacional para la biodiversidad.....	28
2.3 El papel de la biodiversidad en el ecosistema	32
2.4 La interacción entre biodiversidad y servicios ecosistémicos.....	34
2.5 El imperativo de conservación de la biodiversidad.....	38
CAPÍTULO 3: LA BIODIVERSIDAD EN LATINOAMÉRICA	44
3.1 Generalidades	44
3.2 Venezuela	46
3.3 Ecuador	50
3.4 Colombia	51
CAPÍTULO 4: ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS DE LA BIODIVERSIDAD	53
CAPÍTULO 5: LAS AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD	60
5.1 El planeta en peligro	60
5.2 El grave problema de la pérdida de biodiversidad por la extinción de especies.....	62
5.3 Impulsores de la pérdida de Biodiversidad en el planeta	64
5.4 Especies invasoras: una grave amenaza para la biodiversidad	67
CAPÍTULO 6: LA BIODIVERSIDAD EN DIFERENTES ECOSISTEMAS	72
6.1 La biodiversidad en agroecosistemas.....	72
6.2 El papel de la biodiversidad en la polinización de bosques y cultivos	76
6.3 Biodiversidad de bosques y selvas	77
6.4 Biodiversidad en los océanos	85
CAPÍTULO 7: LA BIODIVERSIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Magnitud de la biodiversidad en los principales países considerados megadiversos	45
Tabla 2. Riqueza de especies de varias familias de Angiospermas en países de mayor biodiversidad en Latinoamérica	46
Tabla 3. Distribución de las especies animales en riesgo en Venezuela, de acuerdo con las categorías establecidas por la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (2008)	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice de Integridad de la Biodiversidad en 2020, resolución 0,25°. La media mundial es de 77%.....	11
Figura 2. Una pequeña muestra de la diversidad de especies de frutos que el hombre utiliza en su alimentación.....	15
Figura 3. La diversidad genética dentro de una especie es muy grande, permitiendo al hombre seleccionar y utilizar las más adecuadas a sus necesidades.	17
Figura 4. Distribución de la biodiversidad de vertebrados en los grandes reinos biogeográficos.....	18
Figura 5. Las cinco extinciones masivas y la era geológica en la que ocurrieron	21
Figura 6. Magnitudes de extinción de los taxones evaluados por la IUCN, en comparación con el 75% de la extinción masiva referencial.....	23
Figura 7. Venezuela ocupa el 9º lugar entre los países megadiversos.	47
Figura 8. Una muestra de la biodiversidad de la flora en Venezuela	48
Figura 9. A la izquierda, un jardín familiar en los valles altos del estado Yaracuy. A la derecha, un conuco típico de las zonas altas del estado Carabobo.	57
Figura 10. El Índice Planeta Vivo global (1970 a 2018).	62
Figura 11. Distribución de 47.677 especies estudiadas por la UICN en el mundo, de acuerdo con las categorías que definen el estatus de vulnerabilidad, amenaza o peligro de extinción. ..	63
Figura 12. Algunas de las especies que se clasifican dentro de la categoría de amenaza crítica	66
Figura 13. Bancos de germoplasma de musáceas y girasol, mantenidos en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del INIA en Maracay.....	73
Figura 14. Mapa global de distribución de los bosques, de acuerdo con las zonas climáticas. .	78
Figura 15. Mapa de la cobertura de vegetación del territorio venezolano, donde se puede apreciar la gran proporción de bosques que el país posee.	80
Figura 16. Resumen de la distribución porcentual de las categorías de la Lista Roja de las especies marinas hasta ahora estudiadas por el IUCN. Para cada categoría se señalan los valores absolutos entre paréntesis.....	87

DATOS DE LOS AUTORES

Alfredo Romero Santos, Mgtr.

Ingeniero Agrónomo graduado en la Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela (1970). Magister Scientiarum en Comunicación y Transferencia de Tecnología de la Universidad de Wisconsin (EE. UU.) (1974). Editor jefe del Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias-FONAIAP (Hoy Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas-INIA), ha compilado y editado numerosas publicaciones monográficas, informes anuales institucionales y publicaciones corporativas. Fue el coordinador de la Comisión Nacional de Publicaciones del FONAIAP hasta el año 2001 y es autor o coautor de numerosos artículos y publicaciones técnico-divulgativas. Ha sido Editor de la Revista FONAIAP DIVULGA y fundador de la primera Revista digital del INIA (CENIAP HOY). Compilador y editor de la Serie Paquetes Tecnológicos para la producción, que incluyen los paquetes para Naranja, Sorgo, Café, Cebolla, Hortalizas, Cachama, y Palma Aceitera, así como de la serie Manuales de Cultivo del INIA, compilando y editando los manuales de Arroz, Hortalizas, Caraota, Merrey y Papa.

Ha ejercido como coordinador del Proyecto Nacional de Capacitación del INIA, coordinador de subproyectos de Transferencia de Tecnología y Redes en Arroz, Leguminosas de grano, Sanidad Animal y Nutrición de Rumiantes del proyecto Nacional BID/FONACIT II de Fortalecimiento de la Biotecnología Agrícola de Venezuela.

Adicionalmente, ha sido Profesor Agregado de las cátedras de 'Metodología de Investigación Científica y Documental' y de 'Comunicación Científica y Redacción Técnica' en los Posgrados de las facultades de Agronomía y Ciencias Veterinarias de la Universidad Central de Venezuela y de la Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos, y Profesor invitado de la Escuela Superior de Agricultura Tropical del INIA, en la cátedra de Comunicación Oral y escrita del doctorado de Biotecnología.

Iris Betzaida Pérez Almeida, Ph.D.

Ingeniero Agrónomo y Magister Scientiarum en la facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Doctora en Filosofía (PhD) en el Departamento de Botánica y Fitopatología de la Universidad Purdue, campus principal West Lafayette, Indiana (USA).

Actualmente Docente-investigadora en el Centro de Estudios para el Desarrollo Sostenible en la Universidad ECOTEC, Samborondón (Ecuador), imparte materias profesionales en la Facultad de Ingenierías. También ha sido docente de la Maestría en Agropecuaria, mención Agronegocios, de la Universidad de Guayaquil, y de la Maestría en Agronomía, mención Agricultura Agrosostenible de la Universidad Técnica de Manabí. Ha sido asesora del Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (República Dominicana). Desde 2019, es profesora visitante de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja (Perú).

Es autora o coautora de numerosos artículos científicos indexados, artículos divulgativos especializados, varios libros o capítulos de libros, y forma parte del Consejo de Revisores de prestigiosas revistas científicas en el área de biología molecular. También ha asesorado tesis doctorales, tesis de maestría en ciencias, y de pregrado, así como recibido y capacitado numerosos pasantes en el laboratorio.

Ha sido directora de varios proyectos de investigación I+D dedicados a la investigación agrícola; ha participado en numerosos proyectos de investigación nacionales e internacionales, tres financiados por el BID, y dos de ellos como Investigadora Prometeo, financiados por la SENESCYT (Ecuador).

En las obras publicadas y proyectos de investigación sus líneas de estudio se han centrado en el uso de marcadores moleculares para la selección asistida en el mejoramiento de plantas para la resistencia a estreses bióticos y abióticos, y el incremento de la eficiencia de la metodología de trabajo con el ADN.

PRESENTACIÓN

Este libro es el resultado de varios años de trabajo de los autores, tanto en la investigación y la práctica profesional, como en el ejercicio docente. En él exponen conceptos acerca de la Biodiversidad, su estatus actual y las amenazas a su integridad, apoyándose en las publicaciones más recientes. En el ámbito de la Universidad ECOTEC, supremamente interesada en el desarrollo sostenible, este libro viene a ser de gran utilidad para sus estudiantes y docentes, así como del público en general.

El interés de los autores es que este libro, de fácil lectura y comprensión, se convierta en un alimento para despertar en sus lectores la preocupación por la conservación de la biodiversidad en el Ecuador, en Venezuela y en Latinoamérica, en general. Puede ser utilizado en las sesiones académicas de las asignaturas de Ecología, Biología, Botánica, en pregrado. Asimismo, es útil como libro de apoyo y de consulta para numerosas carreras universitarias o cursos de posgrado. Es un interesante y detallado análisis de la situación de la biodiversidad y sus cambios a través del tiempo. Por tal motivo, al escribir el texto se han analizado minuciosamente numerosas publicaciones clave y autores reseñados en las referencias bibliográficas.

El contenido del libro se divide en siete capítulos. En el Capítulo 1 se describe el concepto de la Biodiversidad, sus componentes, el papel fundamental del suelo como soporte de la biodiversidad terrestre en la biósfera; los cambios que conllevaron a la evolución, y las extinciones masivas. En el Capítulo 2 se analiza el papel de la biodiversidad en la biósfera, se detalla el interés por la biodiversidad, como surge el marco institucional mundial para la conservación y manejo de la biodiversidad; el papel de la biodiversidad en el ecosistema; la importante interacción entre la biodiversidad y servicios ecosistémicos; destacando el imperativo de ejercer acciones necesarias para la conservación de la biodiversidad y su uso sostenible.

En el Capítulo 3 se detalla la biodiversidad a nivel mundial, con énfasis en Latinoamérica, sus generalidades; y luego se toman como ejemplo los países Venezuela y Ecuador. En el Capítulo que sigue se enfatizan algunos aspectos importantes del estado actual y tendencias de la biodiversidad en varios contextos relevantes, y se ofrecen datos y evidencias acerca de la crítica situación actual, así como de las amenazas potenciales para la conservación de la biodiversidad.

En el Capítulo 5 se consideran las amenazas a la biodiversidad, el planeta en peligro, y el grave problema que supone la pérdida de biodiversidad debido a la extinción de especies. Se analizan asimismo las llamadas especies invasoras como grave amenaza para la biodiversidad. En el Capítulo 6 se trata la biodiversidad en diferentes ecosistemas, como los agroecosistemas; la biodiversidad en bosques y selvas, el contraste entre casos de servicio de los bosques y selvas, y la degradación de estos. Se dedica un aparte a la biodiversidad en los océanos. Finalmente, en el Capítulo 7 se analiza la biodiversidad y el cambio climático, los cuales se encuentran interconectados y son interdependientes, con interacciones muy complejas y consecuencias significativas para la población del planeta.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 ¿Qué es la Biodiversidad?

La parte del planeta ocupada por los organismos vivos puede ser representada como un envoltorio delgado e irregular en torno a la superficie de la Tierra, en su mayor parte de tan sólo unos pocos kilómetros de profundidad, dentro de un radio de más de 6.000 km de la Tierra. Debido a que la mayoría de los organismos dependen directa o indirectamente de la luz del sol, las regiones alcanzadas por la luz del sol forman el núcleo de la Biósfera, es decir, la superficie de la tierra, los pocos centímetros del suelo y la parte superior de las aguas de los ríos, lagos y el océano. Las bacterias, por ejemplo, se reproducen en casi todas partes, incluso a varios kilómetros de profundidad dentro de la corteza terrestre. Los seres vivos en el océano pueden adaptarse para vivir en profundidades de varios miles de metros, sobre el lecho marino. En general los organismos vivos están ausentes donde no hay agua, pero las esporas latentes de bacterias y hongos están en todas partes, desde los casquetes polares hasta muchos kilómetros por encima de la superficie de la Tierra (CDB, 2001). Esto da una idea de la magnitud de la Biósfera.

La biodiversidad, o diversidad biológica, es el grado de variabilidad de las formas de vida en un ecosistema, una ecorregión, un bioma o el planeta como un todo y es considerada como un indicador de la salud de los ecosistemas. El concepto moderno de la ecología contempla los factores bióticos, como un determinante del funcionamiento y procesos en los ecosistemas, junto con los factores abióticos. Dichos factores bióticos se refieren a la biodiversidad. El ecosistema emerge producto de las interacciones entre los recursos del medio ambiente y los organismos que hacen vida en su interior.

Una definición general y aceptada considera la biodiversidad como “la totalidad de genes, especies y ecosistemas en una región”. De acuerdo con la Convención de Diversidad Biológica - CDB (1992), la biodiversidad se define como:

...la variabilidad de seres vivos sobre la Tierra, incluyendo, inter alia, todos los ecosistemas terrestres, marinos y acuáticos continentales y los complejos ecológicos de los cuales forman parte: esto incluye diversidad dentro de especies, entre especies y de los ecosistemas. (CDB, 1992: p. 3).

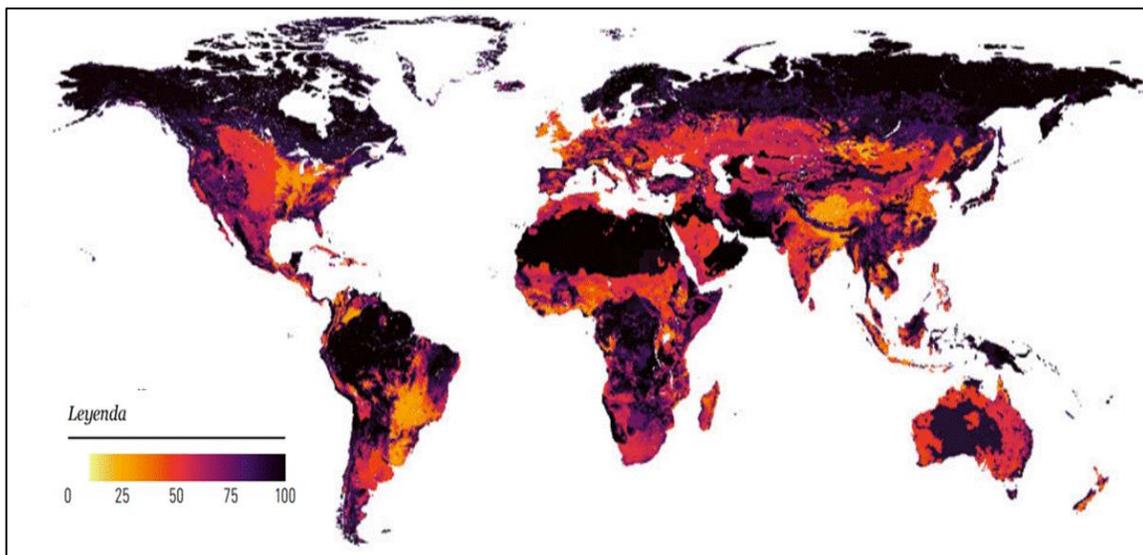
La última definición de consenso de biodiversidad en el espacio intergubernamental, basada en gran medida en la del CDB, ha sido establecida por IPBES (2019):

La variabilidad entre los organismos vivos de todas las fuentes, incluidos los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte. Esto incluye la variación en los atributos genéticos, fenotípicos, filogenéticos y funcionales, así como los cambios en la abundancia y distribución a lo largo del tiempo y el espacio dentro y entre especies, comunidades biológicas y ecosistemas¹.

La biodiversidad es el recurso más valioso de nuestro planeta y si no hay cambios en el patrón y eficiencia de uso de estos, estamos a punto de perder la mayor parte de ella. Durante el siglo XXI, como resultado de un efecto combinado de las presiones de la contaminación, las alteraciones humanas y el cambio climático, la mayoría de los expertos han advertido que se podría perder la mitad de todas las especies que habitan nuestro planeta a finales de este siglo. En la Figura 1 se ilustra el Índice de Integridad de la Biodiversidad, elaborado por el Museo de Historia Natural de Londres, el cual calcula la cantidad de biodiversidad natural que queda en una zona, lo que nos ayuda a comprender los cambios en la naturaleza en el pasado, el presente y el futuro.

Figura 1.

Índice de Integridad de la Biodiversidad en 2020, resolución 0,25°. La media mundial es de 77%



Fuente: WWF (2022)

¹ <https://ipbes.net/glossary/biodiversity>.

Las comunidades biológicas pueden sufrir cambios en sus poblaciones, fundamentalmente a causa de la presión humana, en comparación con el estado en que se encontrarían en condiciones prístinas, incluso si no se hubiera extinguido ninguna especie localmente. El Índice de Integridad de la Biodiversidad (IIB) va de 100% a 0%, donde 100 representa un entorno natural sin alteraciones y sin huella.

Cada organismo tiene un papel específico que desempeñar en los complejos ecosistemas de la Tierra que han alcanzado el equilibrio a través de millones de años. En la actualidad, muchos de estos ecosistemas están al borde del colapso, con consecuencias a menudo desconocidas para los humanos, tal y como lo señala la Convención de Biodiversidad Biológica, cuando reconoce que el ritmo de pérdida de la biodiversidad no ha disminuido y que las metas planteadas para el 2010 no se lograron cumplir:

No se ha alcanzado la meta acordada en 2002 por los gobiernos del mundo, de lograr para el año 2010 una reducción significativa del ritmo actual de pérdida de la biodiversidad, a nivel mundial, regional y nacional, como contribución a la reducción de la pobreza y en beneficio de todas las formas de vida en la tierra. (CDB, 2010: p. 9).

Existe un amplio consenso en la literatura de que la biodiversidad es multidimensional y abarca diferentes ángulos desde los cuales examinar y analizar el tejido de la vida: dentro de las especies; entre especies dentro de un área determinada y a través de diferentes escalas, desde parches locales hasta paisajes, biomas y toda la Tierra. La diversidad a nivel del organismo o de la comunidad se puede ver desde la perspectiva de la taxonomía, la filogenia o los rasgos funcionales y dentro de cada una de estas facetas y perspectivas, uno puede centrarse en la riqueza de entidades o componentes presentes, la distribución de la abundancia entre estas entidades: equidad o su contraparte, dominancia, medida como número de individuos, biomasa o productividad, o la identidad de entidades particulares (composición) (Díaz y Mahli, 2022).

1.2 Componentes de la biodiversidad

De acuerdo con Gaston (2010), existen tres tipos de biodiversidad:

- La **diversidad de especies** abarca la totalidad de la jerarquía taxonómica y sus componentes, incluyendo los individuos, poblaciones, especies, géneros, familias, clases, órdenes, phyla y reinos. La diversidad de especies se mide en función del número de especies existentes. De tal diversidad el hombre obtiene beneficios que le son esenciales:

alimentos, fibras, combustible, polinización de cultivos, mejora del suelo, entre tantos otros (Figura 2). La cuantificación del número de especies incluidas en la biodiversidad de microorganismos, plantas y animales es difícil, pues no existe una base de datos unificada, completa y mantenida de registros con nombres válidos y formales, aunque se considera que la ciencia ha identificado aproximadamente 2,1 millones de especies de organismos, incluyendo arqueo-bacterias, eubacterias, protistas, plantas, hongos y animales (EOL, 2022). Chapman (2009) estima que sólo entre los invertebrados existen 1.359,365 especies, de las cuales, aproximadamente, 1.164.200 son artrópodos, incluyendo 970.700 insectos. Sin embargo, la carencia de registros documentados precisos, así como la existencia de muchas especies individuales clasificadas con nombres distintos, o *viceversa*, muchas especies con características similares, clasificadas como una sola, hace muy difícil una estimación real. Sin embargo, si se toma en cuenta la cantidad de nuevas especies clasificadas (aprox. 13.000 a 15.000 por año), se puede inferir que la diversidad total es muy grande, y que sólo conocemos una proporción más bien pequeña de ella. Igual sucede con el número total de individuos vivos de una misma especie en un momento dado.

La FAO (2023)² apunta que, en 2021, de un total mundial de 8.771 razas de mamíferos y aves utilizadas para la alimentación y la agricultura, 2.281 se clasificaron como en peligro de extinción y 619 como extintas. Hay casi 400.000 especies de plantas y más de 60.000 especies de árboles. Hay más de 160.000 especies de peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas. Los microorganismos y los invertebrados son los grupos de especies más numerosos de la Tierra. Sin embargo, 99% de las especies de bacterias y protistas siguen siendo desconocidas e inexploradas.

El CDB (2010) estima en 15 millones el número total de especies de animales, vegetales y microorganismos, aunque señala que uno de los principales obstáculos para el conocimiento y el manejo racional de la biodiversidad reside en el *impedimento taxonómico*, un vacío de conocimiento en nuestro sistema taxonómico, incluyendo los relacionados con la genética, la falta de personal capacitado para la labor taxonómica y la deficiencias en nuestras habilidades para conservar, utilizar y compartir los beneficios de nuestra biodiversidad.

² Ver: <https://www.fao.org/genetic-resources/en/>

Esto es especialmente cierto en la mayoría de las especies que componen la biodiversidad: insectos, plantas y microorganismos. Mientras que 90% de los vertebrados ha sido descrito y clasificado, no obstante, es muy poco lo que se conoce acerca de su distribución, biología y genética. Se estima que poco más de 50% de los artrópodos terrestres y 95% de los microorganismos no han sido clasificados. De manera conservadora, se estima que hay muchas otras especies desconocidas, estimadas en más de 5 millones, que las conocidas actualmente. Por ejemplo, el Censo de la Biodiversidad Marina realizado entre 2000 y 2009, en un esfuerzo internacional e interdisciplinario, descubrió más de 30.000 nuevas especies marinas, para totalizar a la fecha cerca de 446.000, de las cuales 85% pertenecen al reino animal, de acuerdo con el Registro Mundial de Especies Marinas (Applestan *et al.*, 2011). Dentro de los animales, destacan en orden decreciente los *phyla* artrópodos, moluscos y cordados, que abarcan poco más de 50% de las especies del reino animal.³

Los científicos consideran que todavía existen aproximadamente entre 300.000 a un millón de especies marinas desconocidas. El Censo realizó las primeras comparaciones regionales y mundiales de la diversidad de especies marinas, contribuyendo con la creación de la primera lista integral de especies marinas conocidas, que ya superan las 190.000 (a septiembre de 2010), y con la descripción y taxonomía de más de 80.000 de ellas, cuya información taxonómica se encuentra disponible en la *Encyclopedia of Life*⁴ (EOL, 2022). El Censo revela que los mares y océanos que rodean Japón y Australia son los más ricos en biodiversidad marina, con aproximadamente 65.000 especies. Más recientemente, una expedición de dos años y medio y un recorrido de 70.000 km en el Atlántico y el Pacífico, auspiciada por la Fundación Tara-Oceans (2015), ha reportado preliminarmente el descubrimiento de más 1,5 millones de nuevas especies en el plancton oceánico. Sin embargo, apenas 400 especies vegetales son utilizadas por el hombre, esencialmente como recursos alimenticios.

³ <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=stats>

⁴ <http://eol.org/> (2022)

Figura 2.

Una pequeña muestra de la diversidad de especies de frutos que el hombre utiliza en su alimentación 1. *Averrhoa carambola*; 2. *Anacardium occidentale*, 3. *Annona muricata*; 4. *Citrus* sp; 5. *Bixa orellana*; 6. *Musa paradisiaca*; 7. *Solanum betaceum*; 8. *Manilkara huberi*; 9. *Persea americana* MILL.



Nota. (Fotos: A. Romero S.)

- La **diversidad genética** incluye los componentes del código genético o genoma que estructuran los seres vivos (nucleótidos, genes y cromosomas) y las variaciones en la conformación genética entre individuos y entre poblaciones. Los servicios derivados de la diversidad genética incluyen los usos medicinales, la resistencia a enfermedades y la capacidad adaptativa de las especies.

La medida básica de la diversidad genética es el tamaño del genoma –la cantidad de ADN en un cromosoma de un individuo–, el cual es inmensamente variable. Hughes *et al.* (2008) concluyen que la diversidad genética tiene efectos ecológicos –tan significativos como la diversidad de especies o de ecosistemas– en la productividad primaria, la dinámica de poblaciones, las competencias interespecíficas, la estructura de las comunidades y los flujos de energía y nutrientes.

La biodiversidad intraespecífica se mide mediante la diversidad genética, referida a la variedad de alelos y su combinación (genotipos) presente en una especie. Aunque los individuos de una especie tienen semejanzas esenciales entre sí, no son iguales. Las poblaciones de una determinada especie son diferentes genéticamente, existiendo variedades y razas distintas dentro de la especie, producto de la evolución en el tiempo, debido a la frecuencia relativa de diferentes alelos para adaptarse a diferentes condiciones ambientales. Esta diversidad es una gran riqueza específica que facilita su adaptación a medios cambiantes y su evolución. La abundante diversidad genética de numerosas especies de plantas y animales ha permitido al hombre la explotación y aprovechamiento de las mismas, mediante la selección artificial y el cruzamiento o hibridación controlada (Figura 3).

De allí la importancia de mantener la diversidad genética de las especies utilizadas en los cultivos o en la ganadería. La magnitud y distribución de la diversidad genética depende de los efectos de las interacciones de diversas fuerzas evolucionarias, tales como mutaciones, selecciones artificiales, migraciones y deriva genética (MEA, 2005).

- La **diversidad del ecosistema** se refiere a las escalas de diferencias ecológicas de poblaciones a través de hábitats, ecosistemas, ecorregiones o provincias, y biomas o reinos biogeográficos. Proporciona servicios que incluyen: secuestro del carbono, regulación de las aguas y recreación. La diversidad ecológica es la más aparente para el observador, aunque su demarcación responde a reglas arbitrarias, además de la existencia de componentes abióticos y bióticos que interactúan en la definición de los ecosistemas y ecorregiones. Éstas son grandes unidades geográficas que contienen ensambles de diferentes especies bajo

condiciones ambientales y geográficas distintivas. En la actualidad, se han establecido 825 ecorregiones terrestres, 426 de aguas dulces agrupados en 14 biomas terrestres y 232 ecorregiones marinas, a su vez integrados en 8 reinos biogeográficos terrestres y 12 marinos. Tales demarcaciones, aun cuando basadas en criterios climáticos y bióticos, en la realidad son difusas y no están separadas de manera precisa, especialmente entre ecorregiones.

Figura 3.

La diversidad genética dentro de una especie es muy grande, permitiendo al hombre seleccionar y utilizar las más adecuadas a sus necesidades. Arriba: diversidad de ajíes dulces y picantes (Capsicum sp). Abajo: diversidad de Phaseolus vulgaris y Zea mayz.

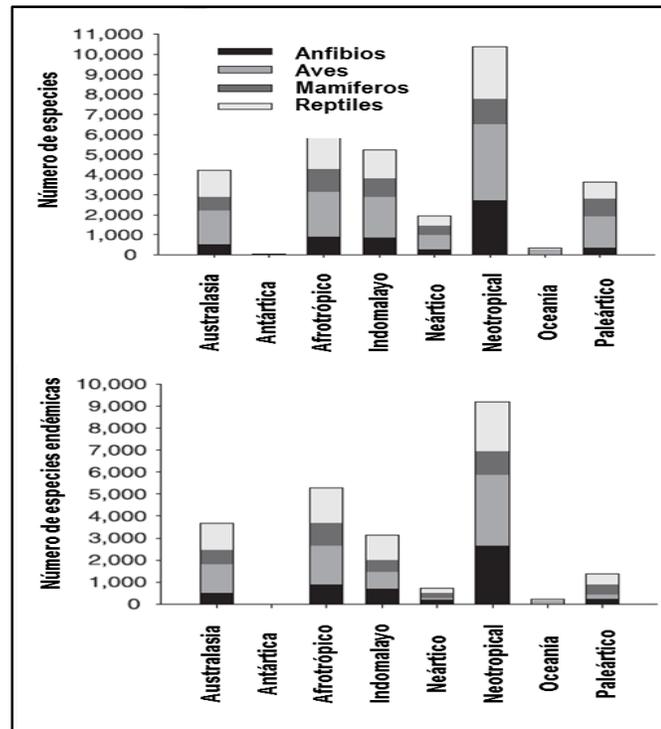


Nota. (Fotos: J. Fernández y A. Romero S.).

Una de las características fundamentales de la biodiversidad es que no está distribuida uniformemente a lo largo de las distintas regiones del globo, debido a la influencia de factores climáticos (radiación, temperatura, humedad y vientos), factores geográficos y a la existencia de otras especies con las cuales pueden ocurrir interacciones competitivas. Se observa un gradiente latitudinal de la biodiversidad del Ecuador hacia los Polos, explicándose la mayor abundancia de especies por el factor temperatura. De allí que la mayor proporción de biodiversidad se encuentra en la zona intertropical, al menos en los ecosistemas terrestres, pues en los océanos no siempre se cumple este gradiente (Figura 4).

Figura 4.

Distribución de la biodiversidad de vertebrados en los grandes reinos biogeográficos



Fuente: UNEP (2007).

La biodiversidad abarca más que una simple variación en apariencia y composición. Incluye la diversidad en abundancia (como el número de genes, individuos, poblaciones o hábitats en una ubicación en particular), distribución (a través de las diferentes ubicaciones y a lo largo del tiempo) y comportamiento, inclusive las interacciones entre los componentes de la biodiversidad, como por ejemplo entre las especies de polinizadores y las plantas o entre los depredadores y sus presas (UNEP, 2007).

La biodiversidad también incorpora la diversidad cultural humana, que puede verse afectada por los mismos factores y que tiene impacto sobre la diversidad de los genes, sobre las demás especies y los ecosistemas en general. La biodiversidad y la diversidad cultural son mutuamente dependientes y se refuerzan entre sí (Ibisch *et al.*, 2010).

1.3 El suelo: soporte esencial de la biodiversidad terrestre en la biósfera

Por encima del suelo y en los cuerpos de agua, es evidente y fundamental la presencia y abundancia de los seres vivos en sus diversas formas, tamaños y manifestaciones. Pero para que haya tal grado de desarrollo de las plantas y la producción primaria que representan en el ecosistema, así como para el funcionamiento de las de las redes y cadenas tróficas, es necesario el sustrato en el cual dicha producción se inicia: el suelo. El suelo es una mezcla compleja de elementos minerales, agua, aire y seres vivos de muy diversas clases, los cuales en su conjunto componen lo que se denomina fauna del suelo. En ella se incluyen más de veinte tipos diferentes de seres vivos, desde bacterias, hongos, protozoarios, nematodos, rotíferos, ácaros, colémbolos, hasta hormigas, isópteros, termitas y gusanos de tierra (Colleman *et al.* 2018).

En realidad, el suelo no podría cumplir su función de ser soporte de la producción primaria autotrófica que realizan los organismos vegetales, sin que al mismo tiempo tenga lugar el proceso de transformación de los componentes minerales del suelo con estructura y capacidad biofísica, en el cual se desarrollan los organismos que componen la micro, meso y macrobiota del suelo: seres vivos que conviven en elaboradas redes alimentarias que a veces contienen varios niveles tróficos. Algunos animales del suelo son verdaderos herbívoros, pero la mayoría subsiste con materia vegetal muerta y/o los microbios asociados. Otros son carnívoros, parásitos o depredadores superiores. La producción heterótrofa real por la fauna del suelo es poco conocida; debido a la rotación de la biomasa de la fauna, las tasas de alimentación y las eficiencias de asimilación son difíciles de evaluar. Todo ello es posible por las cadenas alimentarias del suelo, que materializan el flujo de energía y el reciclaje de nutrientes en el ecosistema. Concretamente, la simbiosis de algunos microorganismos con las raíces de las plantas, como es el caso de la formación de nódulos en las raíces de las leguminosas con bacterias *Rhizobium*, fijadoras del nitrógeno atmosférico, así como los hongos micorrízicos arbusculares, cuya simbiosis con las raíces de numerosas especies de plantas de bosques, selvas y otros ecosistemas permiten el mejor aprovechamiento de nutrientes como el fósforo, y la utilización eficiente del agua (Colleman *et al.* 2018).

En relación con la microbiota del suelo, Turbé *et al.* (2010) consideran que los ecosistemas del suelo y su biodiversidad incluyen, entre otros servicios, los siguientes:

- Reciclaje de la materia orgánica del suelo, mejora de la fertilidad, e incluso la formación del suelo: una básica función que soporta el ciclo de nutrientes y la producción primaria que luego contribuye con la producción de biomasa.

- Regulación del flujo de carbono y el control climático mediante el almacenamiento de carbono.
- Regulación del ciclo del agua, la infiltración, el almacenamiento, la purificación, la transferencia a los acuíferos y efluentes superficiales, prevención de la erosión y la regulación de los flujos de efluentes (inundación o desecación de los ríos).
- Descontaminación y biorremediación: mediante la neutralización química y física de contaminantes.
- Control de plagas: control biológico de plagas y patógenos en plantas, animales y seres humanos.
- Salud humana: esto incluye servicios directos (por ejemplo, la provisión de moléculas y especies con potencial farmacéutico) y los servicios indirectos (por ejemplo, evitando los impactos vinculados a la no prestación de los servicios antes mencionados).

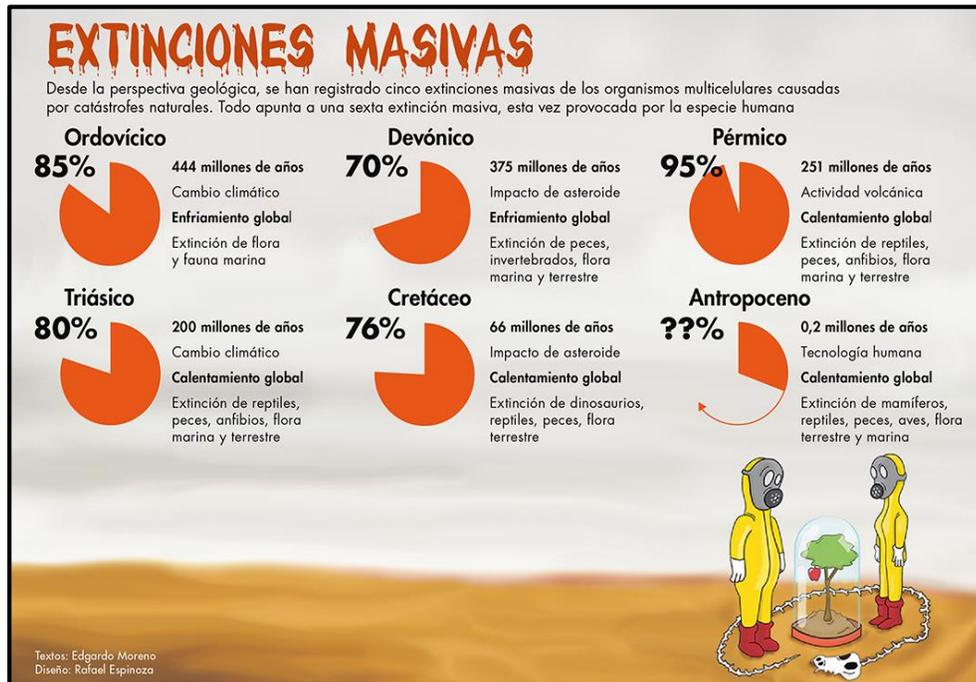
1.4 Biodiversidad y evolución: las extinciones masivas

La biodiversidad es el resultado de la evolución de la vida durante más de tres mil millones de años, determinada por numerosos procesos y factores geológicos y climáticos. Según la evidencia acumulada por los científicos durante los últimos dos siglos, la vida ha evolucionado –a lo largo de los últimos 540 millones de años transcurridos– a través de etapas sucesivas en la que han ocurrido al menos cinco **extinciones masivas** y subsecuentes recuperaciones. Las probables causas de estas extinciones incluyen movimientos geotectónicos de la corteza, grandes erupciones volcánicas, cambios o alteraciones en los ciclos biogeoquímicos y procesos de calentamiento, glaciación, probables impactos de asteroides, entre otros (Figura 5). Dichas extinciones han sido identificadas y descritas por los especialistas como sigue:

1. *Extinción del Ordovícico-Silúrico (450-440 millones de años a.C.)*. Dos hechos ocurrieron que eliminaron a 27% de todas las familias de plantas y animales, 57% de todos los géneros y 60%-70% de todas las especies. En conjunto, se clasifica por muchos científicos como la segunda más grande de las cinco grandes extinciones en la historia de la Tierra en términos de porcentaje de los géneros que se extinguieron.
2. *Extinción del Devónico: (375-360 millones de años a.C.)*. Al final del período Devónico, una prolongada serie de extinciones (durante 20 millones de años) eliminó alrededor de 19% de todas las familias, 50% de todos los géneros y 70% de todas las especies.

Figura 5.

Las cinco extinciones masivas y la era geológica en la que ocurrieron



Fuente: <https://www.ucr.ac.cr/medios/fotos/2018/apocalipsis-015b48f7659a82b.png>

3. *Extinción del Pérmico-Triásico: (251 millones de años a.C.).* La mayor extinción de la Tierra: desaparecieron 57% de todas las familias vegetales y animales, 83% de todos los géneros y 90% de todas las especies, principalmente especies marinas e insectos.
4. *Extinción del Triásico-Jurásico: (200 millones de años a.C.).* Alrededor de 23% de todas las familias, 48% de todos los géneros (20% de las familias marinas y 55% de los géneros marinos) y 75% de todas las especies se extinguieron. La mayoría de los no-dinosaurios arcosaurios y la mayor parte de los grandes anfibios se extinguieron, dejando a los dinosaurios con poca competencia terrestre.
5. *Evento de extinción del Cretácico-Paleógeno: (75-65 millones de años a.C.).* Alrededor de 17% de todas las familias, 50% de todos los géneros y 75% de todas las especies se extinguieron.

En años recientes diversos autores coinciden en señalar que hubo un evento de extinción denominado '*transición Eoceno-Oligoceno*', entre el final del Eoceno y el comienzo del Oligoceno. Este evento de extinción y recambio faunístico ocurre entre los 33,9 y 33,4 millones de años, marcado por la extinción a gran escala y el recambio de flora y fauna, aunque menor, en comparación con las extinciones masivas de períodos previos (Hutchinson *et al.*, 2021; de Vries *et al.*, 2021).

La mayoría de los científicos (biólogos, ecólogos, paleontólogos y paleobiólogos) están convencidos de que la *sexta extinción masiva de plantas y animales está en marcha en nuestra época* y representa una gran amenaza para los seres humanos en el próximo siglo, pero la mayoría de los ciudadanos desconoce o está desinformado sobre esta posibilidad. El dodo (*Raphus cucullatus*), el tilacino (*Thylacinus cynocephalus*), los dinornítidos o moas (*Dinornithidae*) y el delfín de río chino (*Lipotes vexillifer*) son ejemplos emblemáticos de la extinción reciente, causada enteramente por los humanos (Cowie, Bouchet y Fontaine, 2022).

Algunos expertos consideran que la aparición y posterior distribución del hombre (*Homo sapiens*) sobre la tierra, hace aproximadamente 150-200 mil años, ha dado inicio a una nueva era: el **Antropoceno**, y a una nueva etapa de extinción, en tanto que su evolución y consolidación como especie dominante ha implicado la modificación y alteración progresiva de los patrones naturales vigentes durante cientos de millones de años. Otros opinan que el Antropoceno comenzó junto con la revolución industrial del siglo XVIII, e incluso hay quienes consideran que se inicia en 1945, con la detonación de la primera bomba atómica.

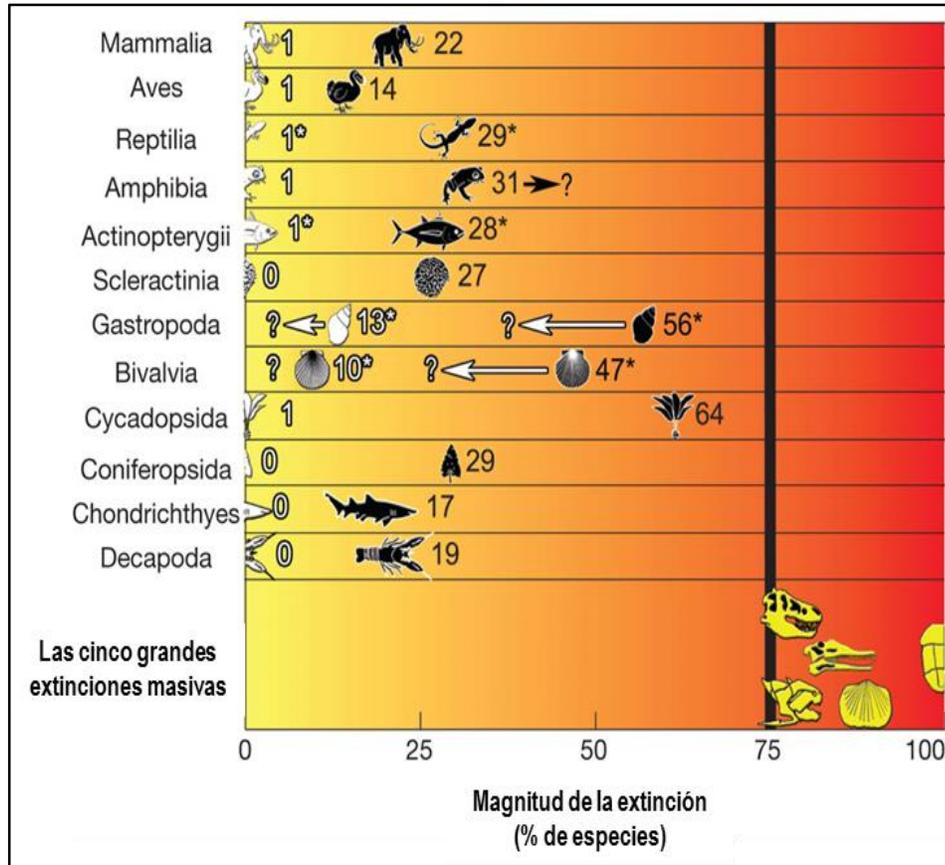
Sin embargo, más recientemente, en la segunda mitad del siglo XX, el impacto del hombre y la tecnología se ha hecho sentir con mucha mayor intensidad sobre los ecosistemas y su biodiversidad, afectando negativamente el sistema climático global, el equilibrio y la estabilidad de los procesos biogeoquímicos y energéticos y las funciones esenciales de los ecosistemas.

La rápida desaparición de especies durante los siglos XIX y XX ha sido clasificada como una de las más graves preocupaciones ambientales del planeta, superando a la contaminación, el calentamiento global y el adelgazamiento de la capa de ozono (UNEP/GEO5, 2012; IPBES, 2019). Barnosky *et al.* (2011) coinciden con esta apreciación y analizan la magnitud de las distintas extinciones del pasado con las extinciones recientes señaladas por la IUCN, con base en registros paleontológicos y estudios de biología comparada, contrastando las estimaciones de las extinciones de especies de los últimos 500 años. Tomando en cuenta que en las extinciones

anteriores la desaparición se ha estimado a lo largo de una progresión de varios centenares de miles de años, las magnitudes de las desapariciones recientes (últimos 500 años) están ocurriendo a una tasa muy alta, comparadas con las primeras, sobre la base referencial de 75% (Figura 6).

Figura 6.

Magnitudes de extinción de los taxones evaluados por la IUCN, en comparación con el 75% de la extinción masiva referencial



Nota. Los números al lado de cada icono indican el porcentaje de especies. Los íconos blancos indican especies extintas y extintas en estado silvestre en los últimos 500 años. Los íconos negros suman actualmente las especies "amenazadas" a los que ya están "extintas" o "extintas en estado silvestre". Los íconos amarillos indican las pérdidas de especies en las cinco grandes extinciones del Cretácico Devónico, Triásico, Ordovícico y Pérmico (de izquierda a derecha).

Fuente: Barnosky *et al.* (2011).

Específicamente, autores como Dirzo *et al.* (2014), señalan que estamos transitando a través de una ola global de pérdida de biodiversidad impulsada antropogénicamente: la extirpación de especies y poblaciones, y lo que es más importante, la disminución de la abundancia de especies locales. En particular, los impactos humanos sobre la biodiversidad animal son una forma poco reconocida de cambio ambiental mundial. Entre los vertebrados terrestres, 322 especies se extinguieron desde 1500, y las poblaciones de las especies restantes muestran una disminución media de 25% en su abundancia. Los patrones de invertebrados son igualmente nefastos: 67% de las poblaciones monitoreadas muestran una disminución de la abundancia media de 45%. Tales declinaciones animales caerán en cascada sobre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. Todavía desconocemos bastante sobre esta “defaunación del Antropoceno”; lo que dificulta la capacidad de los científicos para predecir y limitar su impacto.

Adicionalmente, debe considerarse las pérdidas de la biodiversidad cultural, especialmente de muchos grupos y sociedades aborígenes, fenómeno que está afectando a ciertas etnias indígenas en Meso y Suramérica, África y el sur de Asia.

Por su parte, Cowie, Bouchet y Fontaine (2022) consideran que, si nos enfocamos en los moluscos, el segundo *phylum* más grande en número de especies conocidas y, extrapolando audazmente, estimamos que, desde alrededor del año 1500 de nuestra era, las especies conocidas ya se han extinguido, en órdenes de magnitud superiores a las 882 (0,04%) de la Lista Roja de la UICN. Al revisar las diferencias en las tasas de extinción según los reinos, las especies marinas enfrentan amenazas significativas, pero, aunque las extinciones masivas anteriores fueron definidas en gran medida por los invertebrados marinos, no hay evidencia de que la biota marina haya alcanzado la misma crisis que la biota no marina. Las especies insulares han sufrido tasas mucho mayores que las continentales. Las plantas enfrentan sesgos de conservación similares a los de los invertebrados, aunque hay indicios de que pueden haber sufrido tasas de extinción más bajas. Igualmente, dichos autores opinan señalan que hay quienes no niegan una crisis de extinción masiva, sino que la aceptan como una nueva trayectoria de evolución, porque los humanos somos parte del mundo natural; algunos incluso lo abrazan, con el deseo de manipularlo el para beneficio humano.

Luego de tales eventos de extinción masiva, a partir los linajes de las pocas especies supervivientes, se conformaron nuevas especies, por la radiación adaptativa de la evolución, que les permitió adaptarse a los hábitats no ocupados o utilizar nuevos recursos, y evolucionar en su estructura o funciones para ocupar dichos hábitats.

En la actualidad se estima que, en los últimos 100 millones de años, ha ocurrido la mayor proporción de toda la biodiversidad desde la aparición de la vida (CDB, 2010), aunque los seres vivos en la actualidad solo representan un 1% de toda la vida que ha tenido lugar en el planeta desde que apareció hace 3.500 millones de años.

Históricamente son conocidas las desapariciones de sociedades como la antigua Mesopotamia hace 7.000 años, y la de los Mayas, las culturas de Groenlandia y de Isla de Pascua en los últimos 1.000 años. Se considera que algunos fenómenos climáticos como la sequía y el agotamiento de los recursos fueron los principales detonantes de tales colapsos civilizatorios (Diamond, 2006). En el ámbito más actual, el Índice Planeta Vivo global 2022 muestra una disminución media de 69% en las poblaciones analizadas de animales salvajes entre 1970 a 2018.

El Índice Planeta Vivo actúa como un indicador de alerta temprana mediante el seguimiento de las tendencias en la abundancia de mamíferos, peces, reptiles, aves y anfibios en todo el mundo. América Latina muestra la mayor disminución regional en la abundancia de población promedio (94%). Las tendencias poblacionales de las especies de agua dulce monitoreadas también están cayendo abruptamente (83%) (WWF, 2022).

CAPÍTULO 2: EL PAPEL DE LA BIODIVERSIDAD EN LA BIÓSFERA

2.1 El interés por la biodiversidad

Aunque durante los últimos 50 años se ha generado un volumen creciente de investigación biológica y ecológica relacionada con la vida y los millones de especies que la conforman, el punto de inflexión lo marca la puesta en marcha de la Convención sobre Diversidad Biológica en 1992, en la conferencia mundial de Rio, aunque el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA o UNEP, por sus siglas en inglés) ya había establecido comisiones y proyectos relacionados durante la década de los años 1980.

Un primer esfuerzo concreto y sistemático fue el proyecto de **Evaluación de los Ecosistemas del Milenio**, iniciado a principios del siglo XXI, auspiciado en 2001 y ejecutado durante 2002 al 2004, y finalmente publicado el informe en 2005 por la UNEP, con el apoyo del World Resources Institute (MEA, 2005)⁵. El estudio tuvo como objetivo evaluar las consecuencias de los cambios en los ecosistemas para el bienestar humano y las bases científicas para las acciones necesarias para mejorar la conservación y el uso sostenible de los mismos.

La EEM (también conocido como MEA, por sus siglas en inglés) involucró el trabajo de más de 1.360 expertos de todo el mundo a lo largo de tres años. Sus conclusiones, contenidas en cinco volúmenes técnicos y seis informes de síntesis, proporcionan una valoración científica de punta sobre la condición y las tendencias en los ecosistemas del mundo y los servicios que proveen (tales como agua, alimentos, productos forestales, control de inundaciones y servicios de los ecosistemas) y las opciones para restaurar, conservar o mejorar el uso sostenible de los ecosistemas.

El impacto de la EEM, a partir de su publicación en 2005, ha sido muy significativo y sus resultados han permitido el establecimiento un marco de conocimiento certero y amplio, el cual ha servido de base para los esfuerzos de investigación y análisis que posteriormente se han realizado y se están realizando en el ámbito global. Por considerar que tales resultados deben ser conocidos por quienes se interesan en este tema, a continuación, se resumen los cinco aspectos relacionados con la biodiversidad de los ecosistemas en el mundo:

⁵ <https://www.millenniumassessment.org/es/index.html>

- 1) *Las acciones humanas modifican fundamentalmente, y en gran medida de manera irreversible, la diversidad de la vida en la Tierra, y la mayoría de estos cambios representan una pérdida de biodiversidad.* Los cambios en componentes importantes de la diversidad biológica fueron más rápidos en los últimos 50 años que en cualquier otro momento de la historia humana. Las proyecciones y los escenarios indican que estas tasas continuarán o se acelerarán en el futuro.
- 2) *La biodiversidad contribuye directamente (mediante el suministro, la regulación y los servicios ecosistémicos culturales) e indirectamente (mediante el apoyo a los servicios ecosistémicos) a muchos componentes del bienestar humano, incluida la seguridad, el material básico para una buena vida, la salud, las buenas relaciones sociales y la libertad de expresión. elección y acción.* Muchas personas se han beneficiado durante el último siglo de la conversión de ecosistemas naturales a ecosistemas dominados por humanos y la explotación de la biodiversidad. Al mismo tiempo, sin embargo, estas pérdidas de biodiversidad y los cambios en los servicios ecosistémicos han causado que algunas personas experimenten una disminución del bienestar, y se ha exacerbado la pobreza en algunos grupos sociales.
- 3) *Los impulsores de la pérdida de biodiversidad y los impulsores de los cambios en los servicios de los ecosistemas son constantes, no muestran evidencia de disminución con el tiempo o aumentan en intensidad.* Los impulsores directos más importantes de la pérdida de biodiversidad y el cambio en los servicios de los ecosistemas son: el cambio de hábitat, como el cambio en el uso de la tierra, la modificación física de los ríos o la extracción de agua de los ríos, la pérdida de los arrecifes de coral y el daño a los fondos marinos debido a la pesca de arrastre, el cambio climático, la invasión de especies exóticas, la sobreexplotación de especies y la contaminación.
- 4) *Muchas de las acciones que se han tomado para conservar la biodiversidad y promover su uso sostenible han tenido éxito en limitar la pérdida y la homogeneización de la biodiversidad a tasas más bajas de lo que hubieran sido en ausencia de tales acciones.* Sin embargo, un mayor progreso significativo requerirá una cartera de acciones que se basen en iniciativas actuales para abordar importantes impulsores directos e indirectos de la pérdida de biodiversidad y la degradación de los servicios de los ecosistemas.
- 5) *Se necesitarían esfuerzos adicionales sin precedentes para lograr, hacia el año 2010, una reducción significativa en la tasa de pérdida de biodiversidad en todos los niveles (MEA, 2005).*

En la segunda década del presente siglo se ha potenciado el interés y se ha hecho más evidente la importancia de la biodiversidad como componente determinante de la biósfera que da sustento a la vida. Una muestra de ello es la emergencia de un grupo de científicos y formuladores de política, formalmente establecido en el año 2012 como un cuerpo intergubernamental independiente, pero basado en la asociación colaborativa de otros organismos multilaterales como UNEP, UNESCO, FAO y UNDP, dando origen a la **Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES)**. Más adelante se presentan los aspectos más resaltantes de la evaluación global del estado de los ecosistemas realizado por la IPBES en 2019⁶. Pero antes es conveniente entender el contexto institucional en el que se ha desarrollado el creciente interés por la biodiversidad.

2.2. Surgimiento del marco institucional internacional para la biodiversidad

La problemática sobre la biodiversidad y el medio ambiente adquirió relevancia política y económica, además de científica, a partir de la década de los años 70 del siglo pasado. Ya en 1972, el informe del Club de Roma (*Límites del crecimiento*), alertaba sobre los peligros y amenazas del acelerado crecimiento en ese momento, así como el reporte de la WWF al presidente Carter en los EE UU, sobre la necesidad de conservar y proteger la diversidad de especies. Posteriormente, aparece el *Informe Bruntland*, producto del trabajo de Comisión Mundial sobre el Ambiente y el Desarrollo, designada por la Naciones Unidas en 1983, y publicado finalmente en 1987 con el título *Nuestro Futuro Común*. A partir de entonces, las organizaciones multilaterales inician un conjunto de programas y acciones, incluyendo la designación de un grupo de trabajo *ad hoc* en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA (UNEP, por sus siglas en inglés) en 1988, cuyo trabajo de tres años fue discutido y analizado en la Conferencia de Río sobre Ambiente y Desarrollo o Cumbre de la Tierra (1992), de cuyo seno surge:

- a) una nueva versión del informe *Nuestro Futuro Común* actualizado y ampliado,
- b) la firma de la Convención sobre Diversidad Biológica (CDB), el cual entró en vigencia en diciembre de 1993, con firma de 168 países signatarios (hoy cuenta con 193 países miembros).

⁶ https://www.ipbes.net/documents?f%5B0%5D=documents_library_page_document_category%3A249

El CDB es gestionado y evaluado por la Conferencia de las Partes (COP), que se reúne bianualmente, incorporando a lo largo del tiempo diversos temas de gran importancia, relacionados con los ecosistemas y la biodiversidad en el mundo. Dos protocolos de gran alcance se han establecido como producto de las actividades de la CDB⁷:

- El *Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología para el Convenio sobre Diversidad Biológica*. Es un acuerdo internacional que busca asegurar el manejo seguro, el transporte y el uso de organismos vivos modificados (OVMs) que resultan de la aplicación de la tecnología moderna que puede tener efectos adversos en la diversidad biológica, considerando al mismo tiempo los posibles riesgos para la salud humana. Fue adoptado el 29 de enero de 2000 y entró en vigencia el 11 de septiembre de 2003.
- El *Protocolo de Nagoya sobre el Acceso a los Recursos Genéticos y Participación Justa y Equitativa en los Beneficios que se Deriven de su Utilización en el Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Es un acuerdo internacional que tiene como objetivo compartir los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos en forma justa y equitativa, incluyendo el acceso adecuado a esos recursos y una transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, tomando en cuenta todos los derechos sobre esos recursos y tecnologías, mediante un financiamiento apropiado, contribuyendo así a la conservación de la diversidad biológica y a la utilización sostenible de sus componentes. El Protocolo fue adoptado por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica en su décima reunión, el 29 de octubre de 2010 en Nagoya, Japón.

Esta consolidación de la relevancia científica, política, social y económica de la biodiversidad ha llevado a la ONU a declarar el 2010 como año internacional de la Biodiversidad, y dentro de las resoluciones recientes estuvo la designación de la Década de la biodiversidad 2011-2020.

A todo esto, se suma el esfuerzo colaborativo de más de una veintena de organizaciones, tratados o convenios internacionales —multilaterales y/o no gubernamentales— las cuales trabajan coordinadamente en diferentes programas y proyectos adicionales o complementarios a los del CDB, enfocados total o parcialmente en el tema de la biodiversidad.

⁷ Amplia información sobre este tema disponible en: <http://www.cbd.int/convention/>

Entre ellos, cabe destacar los siguientes:

- *Convenio para la conservación de Especies Migratorias y Animales salvajes (CMS*, por sus siglas en Ingles). Como tratado ambiental bajo los auspicios del Programa de las Naciones Unidas, la CMS ofrece una plataforma global para la conservación y el uso sostenible de especies migratorias y sus hábitats. La CMS reúne a los Estados por los que pasan los animales en sus migraciones, y establece las bases legales para medidas de conservación coordinadas internacionalmente a través de un área de migración. Como la única convención global especializada en la conservación de las especies migratorias, sus hábitats y sus rutas de migración, la CMS complementa y coopera con varias organizaciones internacionales, ONGs y socios tanto en los medios de comunicación como en el sector empresarial.
- *Convenio Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas – CITES* (por sus siglas en Ingles) (ONU-UNEP), es un acuerdo internacional entre gobiernos. Su objetivo es garantizar que el comercio internacional de especímenes de animales y plantas silvestres no amenace la supervivencia de la especie. CITES se redactó como resultado de una resolución adoptada en 1963 en una reunión de miembros de la IUCN (Unión Internacional para la Naturaleza). El texto de la Convención fue finalmente acordado en una reunión de representantes de 80 países en Washington, DC, Estados Unidos de América, el 3 de marzo de 1973, y el 1 de julio de 1975 entró en vigor.
- *Programa Mundial de las Reservas de Biósfera* (UNESCO). En 1971 la Unesco empezó el Programa sobre *el Hombre y la Biósfera* (comúnmente abreviado por sus siglas en inglés, *MaB*), con el objeto de conciliar la mentalidad y el uso de los recursos naturales, esbozando el concepto de desarrollo sostenible. Como parte de ese proyecto se seleccionarían lugares geográficos representativos de los diferentes hábitats del planeta, abarcando tanto ecosistemas terrestres como marítimos. Estos lugares o áreas se conocen como reservas de la biósfera, las cuales están reconocidas internacionalmente, aunque permanecen bajo la soberanía de sus respectivos países, y no están cubiertas ni protegidas por ningún tratado internacional. La función de estos espacios es la conservación y protección de la biodiversidad, así como el desarrollo económico y humano de estas zonas, la investigación, la educación y el intercambio de información entre las diferentes *reservas*, que forman una red mundial. A fecha de 2019, existen 701 reservas de la Biósfera en 124 países diferentes.

- La *Convención sobre Humedales, conocida como la Convención de **Ramsar***, es un tratado ambiental intergubernamental establecido en 1971 por la UNESCO, que entró en vigor en 1975. Proporciona la base para la acción nacional y cooperación internacional con respecto a la conservación de humedales y el uso racional y sostenible de sus recursos. La Convención de Ramsar identifica humedales de importancia internacional, especialmente aquellos que proporcionan hábitat para aves acuáticas. Hasta 2021 se han designado 2421 sitios Ramsar, protegiendo 254.589.858 hectáreas, en las cuales se protege la biodiversidad ecosistémica del planeta.
- El *Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación –**TIRFAA*** (FAO). Se adoptó durante la Trigésima Primera Sesión de la Conferencia de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura el 3 de noviembre de 2001, con el objeto de: (1) reconocer la enorme contribución de agricultores de todas las regiones del mundo en el uso milenario de la biodiversidad de las especies vegetales que alimentan el mundo; (2) establecer un sistema mundial para proporcionar a los agricultores, fitomejoradores y científicos acceso gratuito y fácil a los materiales fitogenéticos y (3) garantizar que los usuarios compartan los beneficios que obtienen de los germoplasmas utilizados en la mejora de las plantas con las regiones de donde son originarios.
- *Programa Mundial de Áreas Protegidas (**IUCN/UNEP**)*. Nace como una comisión en 1958, en una asamblea general de la IUCN, adquiriendo luego carácter permanente en 1975. En 1996 se establece formalmente como programa mundial, con la misión de desarrollar y proveer políticas y asesoría técnico-científica que promuevan un sistema global de áreas protegidas terrestres y marinas gobernado equitativamente y gestionado de manera representativa y efectiva, incluyendo especialmente áreas de particular importancia para los servicios de la biodiversidad y el ecosistema.
- La *Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (**IPBES**)* formalmente establecida, en el año 2012 como un cuerpo intergubernamental independiente, pero basado en la asociación colaborativa de otros organismos multilaterales como UNEP, UNESCO, FAO y UNDP. El objetivo de IPBES es fortalecer la interfaz científica-política en biodiversidad y servicios ecosistémicos para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, la salud humana a largo plazo y el desarrollo sostenible. Actualmente cuenta con el apoyo de 130 Estados nacionales que

son miembros de la plataforma. En sus primeros 10 años ha generado su propio cuerpo de metodologías de investigación y análisis. Habiendo publicado hasta la fecha 10 informes de evaluación sectoriales o regionales, así como una evaluación global, en 2019, del estado de la biodiversidad y los ecosistemas.

2.3 El papel de la biodiversidad en el ecosistema

Los servicios del ecosistema aprovechables por el hombre se apoyan en la biodiversidad y las redes que emergen de las interacciones entre las especies, especialmente las redes alimentarias. El flujo de energía y el reciclaje de nutrientes se materializan a través de la vida y muerte de la infinitud de especies que componen la biodiversidad. Estas funciones se refieren a los procesos esenciales de producción y descomposición de biomasa, en una compleja cadena de interacciones, mediante el flujo de energía y el reciclaje de la materia, incluyendo plantas, animales y microorganismos, a la vez que participando activamente en los ciclos biogeoquímicos esenciales para la vida.

Veamos algunos aspectos específicos relacionados con dichos servicios, desde la perspectiva del papel que juegan y los beneficios que brinda la biodiversidad. Se ha convenido internacionalmente (MEA, 2005) que son cuatro los servicios principales que se derivan de la biodiversidad:

- 1) Servicios de apoyo: servicios que son necesarios para la producción de todos los servicios de los ecosistemas:
 - El ciclo de nutrientes y del agua
 - Formación y retención del suelo
 - Dispersión de semillas
 - Producción primaria (fotosíntesis terrestre y acuática)
- 2) Servicios de aprovisionamiento: los productos obtenidos de los ecosistemas:
 - Alimentos, mediante los cultivos los cultivos y la ganadería, las pesquerías, la caza, especias y alimentos silvestres
 - Agua para uso doméstico e industrial
 - Minerales
 - Productos medicinales
 - Energía (hidroeléctrica, combustibles de biomasa, eólica, solar)

- 3) Regulación de los servicios: los beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos:
 - El secuestro de carbono y regulación del clima
 - Eliminación de residuos de descomposición y detoxificación
 - Resistencia a las especies invasoras
 - Purificación del agua y del aire
 - Polinización de cultivos
 - Control de plagas y enfermedades
- 4) Servicios culturales: beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas a través del enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación (ecoturismo) y las experiencias estéticas.

Como puede observarse en esta lista, el papel de la biodiversidad es esencial en todos los servicios que brinda el ecosistema a la humanidad. A largo plazo, el valor de los servicios perdidos puede superar con mucho los beneficios que se obtienen a corto plazo al transformar los ecosistemas. Pero en los últimos 70 años se ha producido un impacto sin precedentes humana sobre los ecosistemas y su biodiversidad.

Sekercioglu (2010) resume el papel de los seres vivos en los diferentes servicios ecosistémicos como sigue a continuación:

- Los servicios del ecosistema se evidencian a partir del nivel más fundamental: la creación del aire que respiramos. A través de la fotosíntesis de las bacterias, algas, plancton y plantas, el oxígeno atmosférico es mayormente generado y mantenido por el ecosistema y sus especies constituyentes, permitiendo al hombre y a otras innumerables especies sobrevivir mediante la respiración. El oxígeno también ayuda a limpiar la atmósfera, oxidando sustancias como el monóxido de carbono y formando el ozono que nos protege contra los rayos ultravioleta.
- Cada organismo vivo en el planeta es parte del ciclo global del carbono, pues contribuye con la fijación del CO₂ atmosférico y su almacenamiento en los bosques y selvas.
- Uno de los aportes vitales del ecosistema es la provisión, suplencia y distribución del agua para el consumo humano. Las plantas (bosques y selvas y otros vegetales) redistribuyen el agua a través del ciclo hidrológico, al evaporar grandes cantidades a través de la evapotranspiración y regular la circulación del agua precipitada sobre las cuencas.

- Los suelos sirven de apoyo y sustento a las plantas debido a la macrobiota y microbiota que albergan, cuya influencia en el reciclaje del nitrógeno, fósforo y otros elementos es determinante.
- En las cadenas tróficas, los carnívoros alteran la abundancia y distribución de las presas, con efectos complementarios beneficiosos para el ecosistema. Por ejemplo, la repoblación de lobos en el parque Yellowstone (EE UU), ha alterado la abundancia y distribución de los alces, lo que ha disminuido el ramoneo de ciertas especies vegetales, que a su vez han permitido el incremento de otras poblaciones como castores, aves y otras plantas, recuperando el ecosistema que existía hace 150 años, cuando los ganaderos alrededor del parque llevaron a los lobos a la extinción, para defender sus rebaños ganaderos (Ripple y Bechsta, 2011).
- Las especies móviles, como insectos, aves, murciélagos y primates frugívoros transportan genes y semillas a través de diferentes regiones, promoviendo así la regeneración y restauración de ecosistemas perturbados o degradados y una mayor diversidad. La resiliencia del ecosistema se ve así favorecida por estas especies con capacidad de desplazamiento.
- Los ingenieros del ecosistema son especies que aportan valiosos servicios, como por ejemplo el castor, que contribuye con la creación de humedales y lagos pequeños y facilita cambios significativos en la composición florística de una zona determinada.
- Numerosas especies de plantas, especialmente en las zonas intertropicales, son utilizadas por las poblaciones locales e indígenas en el tratamiento y cura de muchas enfermedades.

Puede deducirse que la biodiversidad es esencial en la integración de ecosistemas y en su funcionamiento y procesos básicos. En pocas palabras, la biodiversidad es la base sobre la cual se ha desarrollado la civilización humana y de la cual continuará dependiendo para su sustentabilidad y evolución futura.

2.4 La interacción entre biodiversidad y servicios ecosistémicos

De expuesto hasta ahora se desprende la necesidad de mantener la capacidad de los ecosistemas para brindar estos servicios que son esenciales para la sociedad humana. De allí que sea necesario comprender el papel que juega la biodiversidad en la prestación de estos servicios y la necesidad impostergable de su conservación.

Los organismos vivos que interactúan con su entorno en las complejas relaciones que caracterizan a los ecosistemas (autoorganización, autoregulación, recursividad, sinergia), ofrecen importantes beneficios a la humanidad, en algunos casos decisivos e insustituibles. Los organismos no sólo proporcionan productos en forma de alimentos, combustible y materiales para la construcción, sino que entregan también otros servicios, menos evidentes. Por ejemplo, los insectos, especialmente abejas, juegan un papel importante en la polinización de las plantas, incluidos los cultivos de alimentos básicos, y los microorganismos (bacterias y hongos) reciclan o neutralizan los residuos producidos por la sociedad. Tanto las abejas como los microbios funcionan dentro de y dependen del funcionamiento los ecosistemas para su supervivencia (Fitter *et al.*, 2010).

Los ecosistemas funcionan a través de tres ciclos básicos de la materia y la energía: **ciclos extraespecíficos** (ciclos biogeoquímicos), los **ciclos intraespecíficos** (historias y ciclos de vida), y los **ciclos interespecíficos** (redes alimentarias). Estos ciclos mantienen a su vez una compleja interacción que es la que de hecho permite el reciclaje de la materia y el flujo de energía. En un marco evolutivo, la ecología se caracteriza por el cambio: los procesos evolutivos nunca se detienen. El cambio puede ser estructural, funcional o ambos a la vez.

La Paleontología y las series ecológicas a largo plazo muestran que los ecosistemas estables no existen, por lo menos en su estructura. En sistemas no lineales, como los ecosistemas, incluso los pequeños cambios en la biodiversidad pueden causar cambios bruscos en su funcionamiento, cambiando la forma de los *atractores*⁸ del medio ambiente. La definición convencionalmente aceptada del funcionamiento de los ecosistemas (la eficiencia de los ciclos biogeoquímicos) es insuficiente por sí misma para explicar la salud de los ecosistemas. La eficiencia de los ciclos externos (ciclos biogeoquímicos) y los intra e interespecíficos (riqueza abundancia, rasgos específicos de las especies y redes tróficas) deben tenerse en cuenta para saber "quién hace qué" (Boero y Bonsdorff, 2007).

⁸ En las Ciencias de la Complejidad, el **atractor** es el conjunto de condiciones o factores espacio temporales hacia el cual evoluciona un sistema dinámico para alcanzar un estado de equilibrio y estabilidad. La interacción compleja entre tales factores tiene como meta el atractor, el cual deberá modificarse en la medida de la intensidad de las perturbaciones en los factores. En el ecosistema, los atractores dependen de factores muchas veces impredecibles, dentro de los sistemas dinámicos que, en un momento dado, crean estados lejanos del punto de equilibrios (caóticos o turbulentos), provocando la emergencia de los llamados atractores extraños, los cuales determinarán los nuevos estados de equilibrio dinámico (auto-organización) del ecosistema.

De acuerdo con la revisión de Cardinale *et al.* (2006) sobre el tema, la pérdida de biodiversidad —especialmente la disminución de su riqueza y abundancia—, tienen efectos negativos sobre la cantidad de biomasa de los grupos tróficos involucrados. Las interacciones tróficas tienen un fuerte impacto en las relaciones entre la diversidad y funcionamiento de los ecosistemas, tanto si la propiedad ecosistémica considerada es la biomasa total, como al considerar la variabilidad temporal de la biomasa en los diferentes niveles tróficos (Hooper *et al.*, 2005). En ambos de los casos, la estructura de la red alimentaria y las ganancias o pérdidas que afectan las fuerzas de interacción tienen efectos importantes en estas relaciones. En las interacciones multitróficas, las relaciones funcionales entre el ecosistema y la biodiversidad son más complejas y no lineales, en contraste con las redes con un solo nivel trófico (Thébault y Loreau, 2006).

La Interconexión espacial mantiene los vínculos y el intercambio genético entre poblaciones de especies y el funcionamiento del ecosistema se sustenta directamente a través de conexiones físicas. Esto es evidente cuando se consideran los balances de energía y de nutrientes, por ejemplo, donde los nutrientes que se mueven aguas abajo provocan cambios en las llanuras inundables y ecosistemas fluviales, especialmente debido a los eventos de inundación. De esta manera, las poblaciones de peces de los ríos africanos se benefician de la materia orgánica y nutrientes depositados por los herbívoros tanto silvestres como domésticos que pastan las llanuras de inundación durante la estación seca. La materia orgánica "alóctona" (es decir, la materia orgánica muerta producida que se exporta fuera del ecosistema) puede ser importante para la estabilidad de los ecosistemas. A escala local, las partículas de materia orgánica disueltas se dispersan por los ríos durante la inundación. A mayor escala, la migración anual de salmones del Pacífico (*Oncorhynchus* spp.) desempeña un papel clave en el reciclaje de nutrientes entre el agua dulce y la marina, a través de grandes distancias, así como las dependencias conocidas para las comunidades de insectos acuáticos en los ríos de Alaska, los osos y las aves depredadoras. Todo ello pone de relieve la importancia de comprender el impacto de las transferencias de nutrientes a través de los límites del ecosistema en la comprensión de la dinámica de estos sistemas (TEEB, 2010).

Similarmente, Duffy *et al.* (2007) plantean la necesidad de comprender el papel de la biodiversidad en el funcionamiento de los ecosistemas, a través de la integración de la diversidad dentro de los niveles tróficos (diversidad horizontal) y entre los niveles tróficos (diversidad vertical, incluyendo la longitud de la cadena alimentaria y los omnívoros). La diversidad horizontal implica la riqueza y uniformidad dentro de un nivel trófico determinado, donde la especificidad de los recursos requeridos determina la competencia interespecífica. La diversidad vertical se refiere a la longitud

de la cadena trófica y a la presencia de especies omnívoras (que se alimentan de varios niveles tróficos al mismo tiempo) creando interacciones más complejas que potencialmente pueden hacer difuso el límite entre varios niveles tróficos. Experimentalmente se ha demostrado que la biomasa y la utilización de los recursos aumentan de manera similar con la diversidad horizontal de productores y consumidores. Entre las presas, una mayor diversidad a menudo aumenta la resistencia a la depredación, debido a una mayor probabilidad de inclusión de especies no comestibles y la reducción de la eficiencia de un predador especialista frente a diversas presas. Entre los depredadores, la diversidad cambiante puede afectar en cascada de la biomasa vegetal, pero la fuerza y dirección de este efecto depende del comportamiento del omnívoro y de la presa. La diversidad horizontal y vertical también interactúan: la adición de un nivel trófico puede cambiar cualitativamente efectos de la diversidad en los niveles adyacentes. Las interacciones multitróficas también producen una variedad más rica de relaciones en el funcionamiento del ecosistema, cuya complejidad depende del grado de generalismo de la dieta del consumidor, el equilibrio entre la capacidad competitiva y la resistencia a la depredación, la interdepredación, y la movilización o migración de especies.

Lo expuesto hasta ahora evidencia la complejidad implícita en la biodiversidad y su influencia determinante en gran medida del funcionamiento y los procesos ecosistémicos, como lo señalan Scherer-Lorenzen (2005) y Hillebrand and Matthiessen (2009), quienes consideran muy necesario abordar el análisis bajo una perspectiva que no sólo incluya la diversidad y abundancia de especies, sino también sus rasgos característicos: morfología, fenología, fisiología, uso de recursos y las interacciones entre las diferentes especies de una comunidad (simbiosis, competencia o antagonismo), puesto que las mismas determinan la capacidad de adaptación para la supervivencia, crecimiento y reproducción de las mismas, como lo ha propuesto Norberg (2004). Ello conduce a la emergencia de patrones de multifuncionalidad, heterogeneidad espacio temporal, dinámicas poblacionales espaciales y alteraciones en las cadenas tróficas que pueden alterar las condiciones y resultados de los emergentes atractores ecológicos.

Como lo señalan Naeem (2002) y Hooper *et al.* (2005), ha emergido un nuevo paradigma —cada vez más determinante en la evolución de las ciencias ecológicas— que considera a la biodiversidad como el factor que gobierna el funcionamiento y los procesos de los ecosistemas, por lo que es necesario integrar conocimientos que permitan dilucidar con mayor certeza la interacción entre los factores bióticos y abióticos y el desempeño ecosistémico.

No obstante, se ha determinado que la mayor riqueza de diversidad de especies está asociada con la estabilidad o equilibrio del ecosistema y con una mayor producción primaria —aunque no se ha determinado la fracción de pérdida de diversidad que provoque una disminución de la producción primaria—. De la misma manera, la complementariedad de nichos, y la partición de recursos en comunidades muy diversas, permiten el uso más eficiente de los mismos. También, la riqueza de especies de una comunidad la hace más resistente a la entrada de especies exóticas, hasta un cierto grado (Mittelbach, 2012).

La somera revisión sobre el tema de este epígrafe pretende destacar los aspectos más resaltantes a través de los cuales pueda entenderse el complejo proceso de la vida en la biósfera, reseñando sólo unos pocos de los miles de estudios e investigaciones, altamente citados, que se han realizado en los últimos 35 años, especialmente luego de la publicación de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM) en 2005 (Stork & Astrin, 2014; Pauna *et al.*, 2018).

Stork y Astrin (2014) contabilizaron cerca de 69.000 artículos que mencionan el término '*biodiversidad*' publicados entre 1982 y 2013, aunque la mayor parte de ellos (70%) fue publicado entre 2007 y 2013. Alrededor de 5.000 investigadores aparecen como autores y la mayoría de los trabajos son compartidos por 2, 3 o 4 autores. Los artículos se distribuyen en más de 500 revistas científicas alrededor del mundo, pero la gran mayoría, más de 85% de los mismos, se publican en una decena de revistas, dos de ellas generalistas (Science y Plos One) y el resto especializadas en el tema ecológico.

Por su parte, Pauna (2018) revisan la Web of Science para el período 1990-2018, extrayendo registros con incluyeran el término 'servicios del ecosistema', y obtuvieron 24.400 artículos, con la particularidad de que 22,915 de ellos fueron publicados entre 2006 y 2018, luego de la aparición de la EEM, evidenciando la gran influencia de ésta en la comunidad de investigadores del área ecológica. Similarmente al estudio sobre biodiversidad, los trabajos están publicados mayormente en cinco revistas, dos generalistas (NAS Proceedings y Plos One) y 3 especializadas, una de ellas (Ecosystem Services) creada en 2012.

2.5 El imperativo de conservación de la biodiversidad

En los epígrafes 2 y 3 de este capítulo se ha hecho evidente la relevancia de la biodiversidad y su indudable papel en el funcionamiento de los centenares de ecorregiones y ecosistemas que componen la biósfera del planeta. Para los estudiosos de la aparición y evolución de la vida, sin los millones de seres capaces de adquirir formas, estructuras y procesos que les permitiesen

autorreplicarse, compartir, competir, eliminar y cooptar con otros similares, la naturaleza que caracteriza la delgada capa externa de la Tierra no existiría. Pero también asumen y entienden que sin el aporte de ésta y su transitar por más de 3 mil millones de años, no habríamos llegado al nivel de desarrollo y sofisticación que existe en la actualidad.

Porque la naturaleza, con toda su riqueza, belleza, esplendor y abundancia ha estado creciendo y transformándose por varias centenas de millones de años, incluso permitiendo la evolución, transformación, aniquilación, renacimiento y emergencia de nuevas y evolucionadas formas de vida, incluyendo especies como *Homo sapiens*.

Lo más reciente publicado sobre la situación mundial de la biodiversidad es el denominado **Informe de la Evaluación Mundial sobre la Diversidad Biológica y los Servicios de los Ecosistemas**, publicado por el IPBES (2019), realizado por un grupo de 150 expertos seleccionados y haber revisado cerca de 15.000 publicaciones científicas relevantes, así como un conjunto importante de conocimientos indígenas y locales. El mismo sirve de base para ofrecer una síntesis de sus principales consideraciones y resultados.

Algunas de las consideraciones relevantes del IPBES (2019) incluyen las siguientes:

- a) La naturaleza cimienta la calidad de vida al prestar un apoyo vital básico para la humanidad (regulador), así como al brindarle bienes materiales (material) e inspiración espiritual. La mayoría de las contribuciones de la naturaleza a las personas se producen conjuntamente a través de procesos biofísicos e interacciones ecológicas con activos antropógenos como el conocimiento, las infraestructuras, el capital financiero, la tecnología y las instituciones que los respaldan. El acceso a las contribuciones de la naturaleza es desigual, y también lo es su efecto en los diferentes grupos sociales.
- b) Muchas de las contribuciones de la naturaleza a las personas son esenciales para la salud humana, por lo que su declive plantea amenazas para una buena calidad de vida. La mayoría de las contribuciones de la naturaleza no son del todo reemplazables, y algunas son incluso irremplazables.
- c) La humanidad es una influencia predominante a nivel mundial en la vida sobre la Tierra, y ha ocasionado el declive de los ecosistemas naturales terrestres, de agua dulce y marinos. En los ecosistemas marinos, desde las zonas costeras hasta la alta mar, se percibe ya la influencia de la actividad humana, los ecosistemas costeros mostrando a la vez grandes pérdidas históricas de extensión y deterioro rápido que continúa en la actualidad.

- d) El ritmo mundial de extinción de especies es ya, como mínimo, entre decenas y cientos de veces superior a la media de los últimos diez millones de años y se está acelerando.
- e) El número de variedades de plantas y razas de animales domesticados locales, así como de sus parientes silvestres, se ha reducido significativamente como resultado del cambio de uso de la tierra, la pérdida de conocimientos, las preferencias del mercado y el comercio a gran escala.
- f) Los cambios inducidos por los seres humanos en la diversidad de especies dentro de las comunidades ecológicas locales varían ampliamente en función del balance neto entre la pérdida de especies y la afluencia de especies exóticas, especies tolerantes a las perturbaciones, otras especies adaptadas al hombre o especies migrantes por motivos climáticos.
- g) Muchos organismos están evolucionando biológicamente en respuesta a factores antropógenos a tal velocidad que es detectable en tan solo unos pocos años o incluso antes. Las decisiones en materia de gestión que tengan en cuenta dicha evolución serán notablemente más eficaces.
- h) Hoy día, los seres humanos extraen más de la Tierra y producen más desechos que nunca. A nivel mundial, los cambios en el uso de la tierra son el impulsor directo que tiene las repercusiones relativas más profundas en los ecosistemas terrestres y de agua dulce, mientras que la explotación directa de peces y mariscos tiene los impactos relativos más importantes en los océanos. El cambio climático, la contaminación y las especies exóticas invasoras han tenido un menor impacto relativo hasta la fecha, pero se está acelerando. (Jaureguiberry, Titeux, Wiemers et al., 2022).
- i) El cambio de uso de la tierra se ha visto impulsado principalmente por la agricultura, la silvicultura y la urbanización, todo lo cual guarda relación con la contaminación del aire, el agua y el suelo.
- j) En los sistemas marinos, la pesca ha tenido el mayor impacto en la diversidad biológica (especies objetivo y no objetivo, y hábitats) en los últimos 50 años, junto con otros importantes impulsores.
- k) El impulsor directo con el segundo mayor impacto relativo en los océanos son los numerosos cambios ocurridos en el uso del mar y las tierras costeras.

- l) El uso insostenible de los recursos de la Tierra se fundamenta en un conjunto de impulsores indirectos, económicos y demográficos, que han ido en aumento, y que además interactúan de manera compleja, en particular por medio del comercio.
- m) Debido a la expansión de la infraestructura, extensas zonas del planeta están quedando expuestas a nuevas amenazas (IPBES, 2019).

El detallado análisis de los 150 científicos colaboradores del IPBES (2019), de estos y otros antecedentes explicados y detallados en su amplio informe, conduce a conclusiones o 'mensajes clave', algunos de los cuales se reproducen a continuación:

- A. *La naturaleza y sus contribuciones fundamentales a las personas, que en conjunto incorporan la diversidad biológica y los servicios y funciones de los ecosistemas, se deterioran en todo el mundo.*

Para las diferentes personas, la naturaleza incorpora conceptos diferentes, como la diversidad biológica, los ecosistemas, la Madre Tierra, los sistemas de vida y otros conceptos análogos. Las contribuciones de la naturaleza a las personas representan diferentes conceptos tales como los bienes y servicios de los ecosistemas y los dones de la naturaleza. La naturaleza y sus contribuciones para las personas son esenciales para la existencia humana y la calidad de vida (el "bienestar humano", "vivir en armonía con la naturaleza", "vivir bien en equilibrio y armonía con la Madre Tierra" y otros conceptos análogos). Hoy día se suministran más alimentos, energía y materiales que nunca a las personas en la mayoría de los lugares, pero se hace hipotecando cada vez más la capacidad de la naturaleza para hacer esas contribuciones en el futuro y con frecuencia en detrimento de muchas otras de esas contribuciones, desde la regulación de la calidad del agua hasta el sentido de pertenencia. La Biósfera, de la que depende la humanidad en su conjunto, está sufriendo alteraciones sin precedentes en todos los niveles espaciales. La diversidad biológica –la diversidad dentro de las especies, entre especies y la diversidad de los ecosistemas– está disminuyendo a un ritmo más rápido que nunca en la historia humana.

- B. *Durante los últimos 50 años, los impulsores directos e indirectos de cambio se han acelerado.*

El ritmo del cambio global en la naturaleza durante los últimos 50 años no tiene precedentes en la historia de la humanidad. Los impulsores directos de este cambio con mayor repercusión mundial han sido (en orden decreciente): el cambio de uso de la tierra y el mar, la explotación directa de los organismos, el cambio climático, la contaminación y la invasión de especies invasoras. Estos cinco impulsores directos son el resultado de una serie de causas subyacentes –los impulsores indirectos del cambio–, respaldadas a su vez por valores y comportamientos sociales entre los que se incluyen los hábitos de producción y consumo, las dinámicas y tendencias de la población humana, el comercio, las innovaciones tecnológicas y los sistemas de gobernanza, desde los locales hasta los mundiales. La velocidad del cambio de los impulsores directos e indirectos difiere entre regiones y países.

- C. *Las trayectorias actuales no permiten alcanzar los objetivos para conservar y utilizar de manera sostenible la naturaleza, ni lograr la sostenibilidad, y los objetivos para 2030 en adelante solo serán factibles mediante cambios transformadores en las esferas económica, social, política y tecnológica.*

El rápido declive pasado y actual de la diversidad biológica, las funciones ecosistémicas y muchas de las contribuciones de la naturaleza a las personas indica que, teniendo en cuenta las trayectorias actuales, no se lograrán la mayoría de los objetivos sociales y ambientales internacionales, como por ejemplo los consagrados en las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Ese deterioro socavaría también otros objetivos, como los estipulados en el Acuerdo de París aprobado en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y la Visión 2050 para la Diversidad Biológica. Las proyecciones muestran que las tendencias negativas en la diversidad biológica y las funciones ecosistémicas continuarán empeorando en varios escenarios futuros en respuesta a impulsores indirectos como el rápido crecimiento de la población humana, la producción y el consumo insostenibles y el desarrollo tecnológico asociado. Por el contrario, los escenarios y vías que contemplan los efectos de un crecimiento demográfico entre moderado y bajo; los cambios transformativos en la producción y el consumo de energía, alimentos, piensos, fibra y agua; el uso sostenible; la distribución equitativa de los beneficios derivados de la utilización; y un enfoque respetuoso con la naturaleza en la adaptación al cambio climático y su mitigación contribuirán mejor a lograr futuros objetivos sociales y ambientales.

- D. *Es posible conservar, restaurar y usar la naturaleza de manera sostenible a la vez que se alcanzan otras metas sociales mundiales si se emprenden con urgencia iniciativas coordinadas que promuevan un cambio transformador.*

Las metas sociales –incluidas las relativas a la alimentación, la energía, la salud y el logro del bienestar humano para todos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a sus efectos y la conservación y el uso sostenibles de la naturaleza– pueden alcanzarse mediante vías sostenibles si los instrumentos normativos existentes se utilizan de manera rápida y mejorada y se promueven iniciativas nuevas que sean más eficaces en concitar el apoyo individual y colectivo para impulsar el cambio transformador. Puesto que las estructuras actuales a menudo van en menoscabo del desarrollo sostenible, y en realidad impulsan de manera indirecta la pérdida de diversidad biológica, ese cambio estructural y fundamental es ineludible. Cabe prever que, por su naturaleza, el cambio transformador deba enfrentarse a la resistencia de quienes están interesados en mantener el estado actual de las cosas, pero dicha oposición puede superarse para promover el bien público general. Si se consigue superar esos obstáculos, el compromiso con objetivos y metas internacionales de apoyo mutuo, el apoyo a las acciones de los pueblos indígenas y las comunidades locales en el ámbito local, el establecimiento de nuevos marcos que promuevan las inversiones y la innovación del sector privado, la aplicación de enfoques y arreglos de gestión inclusiva y de adaptación, el impulso de la planificación multisectorial y el recurso a combinaciones normativas estratégicas pueden contribuir a transformar los sectores público y privado y acercarlos a la sostenibilidad a escala local, nacional y mundial (IPBES, 2019).

CAPÍTULO 3: LA BIODIVERSIDAD EN LATINOAMÉRICA

3.1 Generalidades

El continente latinoamericano, incluyendo Sur y Centroamérica, es una de las regiones con mayor diversidad biológica en el planeta. Por ejemplo, la Amazonía es el bosque tropical más grande y con mayor diversidad biológica y cultural del mundo. Los expertos en taxonomía vegetal y de insectos y microorganismos predicen que más de la mitad de las especies vivas en la Amazonia son desconocidas todavía. Es el hogar de más de 500 grupos de pueblos indígenas, incluyendo a 66 grupos en aislamiento voluntario y contacto inicial. El sistema fluvial del Amazonas contiene casi el 20 % del agua dulce del mundo (WWF, 2022). La biodiversidad amazónica incluye 18 % de las especies de plantas vasculares, 14 % de las aves, 9 % de los mamíferos, 8 % de los anfibios y 18 % de los peces que viven en los trópicos (datos calculados para los límites biogeográficos del Panel Científico por la Amazonía en base a datos de Raven *et al.* y Mittermeier *et al.*, citados por WWF, 2022). Sin embargo, las investigaciones recientes muestran que cerca de 26 % de la Amazonía se encuentra en estado de perturbación avanzada, por causa de la degradación de los bosques, incendios recurrentes y deforestación. Esto no es un escenario futuro, es lo que estamos viviendo actualmente en la región: un nivel continuo de destrucción con repercusiones devastadoras a nivel local e implicaciones negativas para la estabilidad climática del planeta (WWF, 2022).

Otras grandes ecorregiones como las zonas xerófitas y semixerófitas al norte de México, la región patagónica en el sur del continente y la franja montañosa de Los Andes que atraviesa a todo lo largo el continente suramericano, son sin duda reservorio de una abundante diversidad animal y vegetal.

Llorente-Bousquets y Ocegueda (2008) reportan cifras de la biodiversidad en los países considerados megadiversos, como se muestra en el Tabla 1.

Tabla 1.

Magnitud de la biodiversidad en los principales países considerados megadiversos

País	Plantas vasculares	Mamíferos	Aves	Reptiles	Anfibios
Brasil	56,215	648	1,712	630	779
Colombia	48,000	456	1,815	520	634
China	32,200	502	1,221	387	334
Indonesia	29,375	670	1,604	511	300
México	23,424	564	1150	864	376
Venezuela	15.820	353	1,392	293	315
Ecuador	21,000	271	1,559	374	462
Perú	17,144	441	1,781	298	420
Australia	15,638	376	851	880	224
Madagascar	9,505	165	262	300	234
Congo	6,000	166	597	268	216

Reproducido de: (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008)

Hochke (2020) destaca que la diversidad de plantas vasculares presente en Venezuela muestra similitud con la de otras naciones suramericanas, al comparar la abundancia de especies de algunas familias de plantas angiospermas en los distintos países (Tabla 2).

3.2 Venezuela

Al estar ubicada en la franja intertropical, Venezuela es uno de los países con mayor biodiversidad en las Américas, hecho reconocido por las organizaciones internacionales especializadas y comprobado por los estudios científicos realizados (Figura 7). De acuerdo con VITALIS⁹, Venezuela ocupa el 9º lugar con mayor biodiversidad en el mundo, y el 7º en cuanto a diversidad de aves, con al menos 1.417 especies, de las cuales 50 son endémicas.

Tabla 2.

Riqueza de especies de varias familias de Angiospermas en países de mayor biodiversidad en Latinoamérica

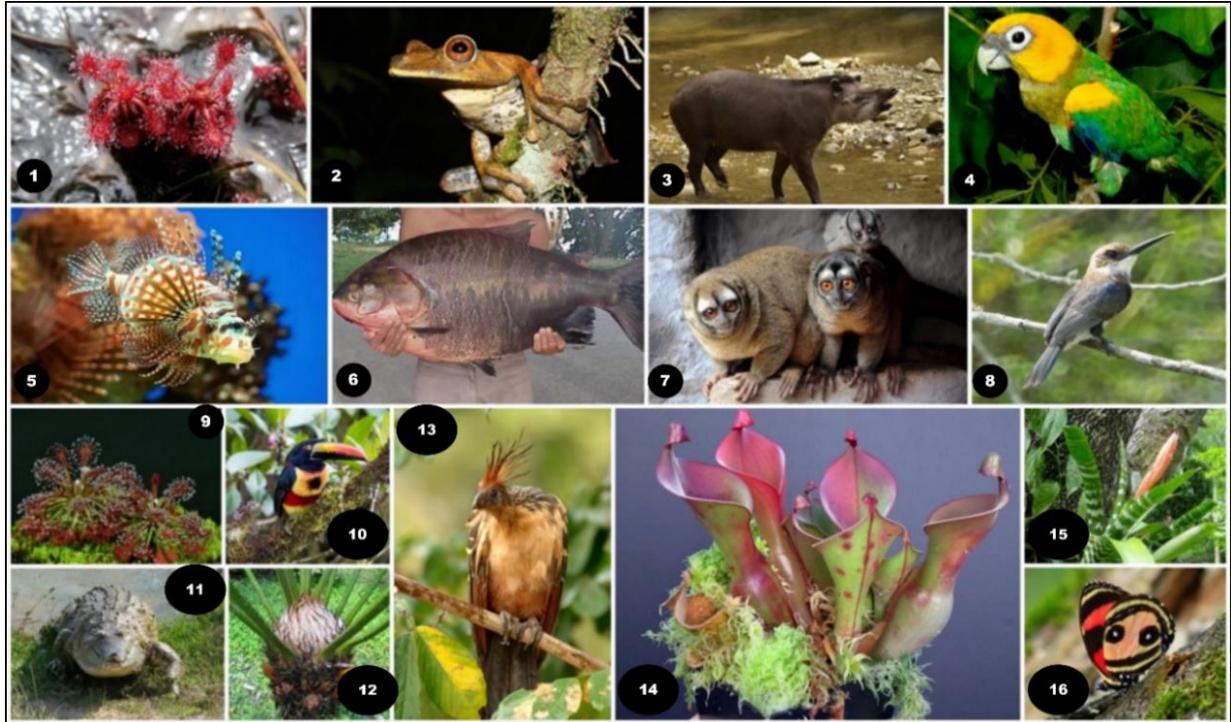
Familias	Venezuela	Argentina	Bolivia	Brasil	Colombia	Ecuador	Perú
Orchidaceae	1.506	239	844	2.419	3.588	3.630	2.057
Fabaceae	996	737	999	3.694	1.082	601	1024
Asteraceae	784	1.498	1.361	1.966	1.420	966	1655
Rubiaceae	777	123	444	1.347	1.214	658	822
Poaceae	740	1.204	840	1.401	813	560	755
Melastomataceae	650	23	354	1.312	948	572	663
Cyperaceae	430	300	312	594	328	222	234
Bromeliaceae	374	110	327	1.207	493	514	465
Euphobiaceae	356	219	371	769	394	221	285
Araceae	281	22	139	458	591	443	283
Solanaceae	210	328	400	452	441	368	614

Adaptado de Hokche (2020)

⁹ <http://www.vitalis.net/2013/05/venezuela-ocupa-7mo-lugar-en-el-mundo-en-mayor-diversidad-de-aves/>

Figura 7.

Venezuela ocupa el 9º lugar entre los países megadiversos. 1. *Drosera roraimae*; 2. *Hypsoboas calcaratut*; 3. *Tapirus terrestres*; 4. *Pyrilia pyrilia*; 5. *Pterois antennata*; 6 *Colossoma macropomum*; 7. *Aotum vociferans*; 8. *Brachygalba goeringi*; 9. *Drosera capillaris*; 10. *Pteroglossus frantzii*; 11. *Crocodilus spp*; 12. *Cyca spp*; 13. *Opisthocomus hoazim*; 14. *Helianphora minor*; 15. *Vriesea splendens*; 16. *Callicore pitheas*.



Nota. (Fotos: Vitalis, 2013).

Se estima que existen alrededor de 15.820 especies que conforman la biodiversidad vegetal del país, agrupadas en 275 familias y 2.480 géneros de plantas (Hokche *et al.*, 2008). En Venezuela existe una alta diversidad florística, producto de la gran variedad de paisajes y ecosistemas –22 zonas de vida diferentes en territorio nacional, de acuerdo con Ewel *et al.* (1976) – desarrollados sobre basamentos de diferentes orígenes. Las angiospermas comprenden 87,64% del total de familias y 92,52% de las especies de flora (Figura 8).

Figura 8.

Una muestra de la biodiversidad de la flora en Venezuela. 1. *Heliconia rostrata* 2. *Handroanthus chrysanthus* (JACQ.); 3. *Bromelia* spp; 4. *Agapanthus* sp; 5. *Sinocrassula* spp; 6. *Tagetes* spp; 7. *Hibiscus mutabilis*; 8. *Cordyline fruticose*; 9. *Cattleya* spp; 10. *Neoregelia* sp; 11. *Cosmos caudatus*; 12. *Begonia* sp. 13. *Iris* sp; 14. *Ixora* sp; 15. *Hippeastrum* spp; 16. *Rosa* spp



Nota. (Fotos: A. Romero S.)

Este grupo de plantas incluye las dicotiledóneas con 10.505 (66,41%) especies y las monocotiledóneas con 4.131 (26,11%) (Hokche *et al.*, 2008). La mayor riqueza de especies se encuentra en la región de Guayana con 9.500 a 10.300 especies, seguida de los Andes con 4.500 a 5.000 especies, la Región de la Cordillera de la Costa con 3.000 a 3.500 especies y finalmente la Región de los Llanos con 2.000 a 2.500 especies.

En cuanto al endemismo, se puede afirmar que el número probable de especies vegetales es alrededor de 3.250, especialmente en la región Guayana, donde se ha registrado un total de 2.136 especies, lo que representa 22,7% de su flora y 14% en relación con toda la flora del país (MARN, 2000). En cuanto a la diversidad animal, se han reconocido 1.300 especies de aves que representan 15% del total de las conocidas en el mundo (cerca de 9.000) y 40% de las 3.000

especies existentes en el neotrópico. También, existen 332 especies de reptiles, 113 de anfibios, 1.195 de peces, 328 de mamíferos y un alto número de especies invertebradas. Un porcentaje relativamente elevado de los taxa está constituido por especies endémicas, particularmente en lo referente a aves, mamíferos e invertebrados.

En la América del Sur hay más de 2.400 especies en la ictiofauna de las aguas continentales, siendo los “carácidos” (orden Characiformes) y los “bagres” (orden Siluriformes) los grupos dominantes. En Venezuela, los “carácidos” tienen 12 familias y 248 especies (41,3% del total de la ictiofauna) y los “bagres” 12 familias y 208 especies (34,7% del total de la ictiofauna) indicando que la composición porcentual de nuestra ictiofauna no se diferencia del resto de los países suramericanos. Un estimado de 49 familias presentes, sólo reporta tres de ellas introducidas: *Salmonidae*, *Centrarchidae* y *Cyprinidae* (MARN, 2000). Más recientemente, Machado-Allison (2006) indica que poseemos más de un millar de especies de peces dulceacuícolas incluidas en 11 órdenes, 53 familias y 380 géneros.

Sin embargo, esta riqueza de biodiversidad que posee el país enfrenta problemas de conservación y en los años recientes se ha detectado un aumento en el número de especies amenazadas. En su versión del año 2008, el Libro Rojo de la Fauna Venezolana incluye información sobre 748 especies: 4 extintas global o regionalmente, 199 amenazadas, 138 casi amenazadas y 407 con datos insuficientes. Las aves y los anfibios encabezan la Lista, con 164 (22% del total) y 160 (21%) especies, respectivamente (Tabla 3). Esto representa más del doble que la Lista Roja de la Fauna Venezolana de 1999, que incluyó a 341 especies: 3 posiblemente extintas, 96 amenazadas, 65 NT, 94 DD y 82 en otras categorías (Rodríguez y Rojas-Suares, 2010). La principal causa de riesgo de las especies amenazadas de Venezuela es la pérdida o degradación de los hábitats, afectando a 83% de ellas, seguida por factores intrínsecos (45%) y la cosecha (40%).

Tabla 3.

Distribución de las especies animales en riesgo en Venezuela, de acuerdo con las categorías establecidas por la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (2008)

Clase	Extinto	Extinto a Nivel Regional	En Peligro Crítico	En Peligro	Vulnerable	Casi Amenazado	Datos Insuficientes	Total
Amphibia	1	-	11	5	10	38	95	160
Anthozoa	-	-	-	-	2	-	-	2
Arachnida	-	-	-	-	1	-	12	13
Aves	-	1	4	14	17	38	90	164
Bivalvia	-	-	-	-	-	2	-	2
Chondrichthyes	-	-	-	-	-	2	49	51
Crustacea	-	-	-	1	9	3	17	30
Gastropoda	-	-	-	-	3	-	3	6
Insecta	-	-	-	7	11	18	40	76
Mammalia	-	1	3	14	27	19	64	128
Osteichthyes	1	-	-	14	23	14	29	81
Reptilia	-	-	5	4	13	4	9	35
Total	2	2	23	59	116	138	408	748

Fuente: Rodríguez y Rojas-Suárez (2010).

3.3 Ecuador

En el Catálogo de las Plantas Vasculares del Ecuador (1999)¹⁰, se registró un total de 15.306 especies para Ecuador, incluyendo 1.298 pteridofitas, 17 gimnospermas y 13.991 angiospermas. En julio 2012 la cifra asciende a 17.748 especies nativas confirmadas, incluyendo 1.422 pteridofitas, 18 gimnospermas y 16.308 angiospermas. Este incremento de 2.443 especies en 13 años es el resultado de la publicación de 1.663 especies nuevas para la ciencia, basadas en colecciones botánicas realizadas en Ecuador, y 780 registros nuevos de especies previamente reportadas para otros países neotropicales y recientemente registradas en Ecuador con base en

¹⁰ Consultado en línea: <http://www.mobot.org/mobot/research/Ecuador/welcomesp.shtml>

los inventarios florísticos. Destaca la particularidad de que Ecuador posee la mayor diversidad de la familia Orchidaceae en todo el continente, y que igualmente detenta el mayor número especies de orquídeas. Contrasta el hecho de que tanto Ecuador como Venezuela poseen similares cantidades de especies florísticas, aun cuando el primero posee aproximadamente un tercio de la superficie que posee Venezuela. Igualmente, Ecuador posee mayor diversidad de especies que el país más grande del subcontinente.

3.4 Colombia

De acuerdo con el informe más reciente de la Fundación Humboldt (Moreno, Rueda y Andrade, 2018) se conocen más de 24.500 especies de plantas vasculares que crecen en Colombia, cifra que representa alrededor de 8% de las plantas en el planeta. Colombia cuenta con más de 26.000 especies de plantas y clasificarlas según su estado de conservación requiere de un esfuerzo significativo. Por tal razón, desde el 2002 los esfuerzos se han enfocado en grupos estratégicos como las magnolias, orquídeas, frailejones, palmas, zamias y bromelias. 17,7% de las especies endémicas de Colombia se encuentran en Parques Nacionales Naturales. Las áreas de la región de los Andes albergan el mayor número de especies endémicas, en las que 81,4% de esas especies son exclusivas de los Andes de Colombia: 730 especies de plantas vasculares endémicas de los páramos y de la alta montaña, las cuales representan 3% de las registradas en el país (24.530) y 12 % de las endémicas (6.154).

En Colombia existen aproximadamente 308 especies de fauna exótica y trasplantada, es decir, animales que se encuentran fuera de su distribución natural, algunos de los cuales potencialmente podrían dispersarse y establecerse hasta convertirse en especies invasoras. Su presencia en ambientes naturales puede causar impactos en los ecosistemas y sus servicios asociados, resultando en efectos complejos en los ámbitos económico, social, político y ecosistémico. 26,6% de las especies de plantas invasoras reportadas para Colombia están presentes en áreas de PNN. En su mayoría son especies de pastos o leguminosas, seguidas de especies de la familia de los girasoles y dientes de león (Asteraceae). 90% de las especies invasoras reportadas en el Sistema están concentradas en la región de los Andes.

Colombia es el segundo país más diverso en especies de peces dulceacuícolas, albergando 14.948. Por su gran extensión geográfica, las zonas hidrográficas del Amazonas y el Orinoco concentran el mayor número de especies. Sin embargo, la mayoría de las 374 especies endémicas de Colombia (76%) se encuentran exclusivamente en ríos transandinos.

La expansión de cultivos de uso ilícito, particularmente los cultivos de coca en Colombia, ha sido un motor importante de transformación de ecosistemas y afectación de servicios ecosistémicos en las últimas décadas. Sumado a los problemas sociales y económicos que se derivan por la relación estrecha de este tipo de cultivos con el conflicto armado y el narcotráfico, los cultivos de coca también afectan significativamente a los ecosistemas en los que se encuentran y la biodiversidad que ellos albergan. Esto ocurre debido a la transformación de coberturas naturales (tala de bosques) para la siembra y expansión de cultivos de coca.

CAPÍTULO 4: ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS DE LA BIODIVERSIDAD

Aunque ya han sido mencionados en algunos epígrafes de los capítulos previos, a continuación, se enfatizan algunos aspectos importantes en varios contextos relevantes, que ofrecen datos y evidencias acerca de la situación crítica actual, así como de las amenazas potenciales para la conservación de la biodiversidad.

- La degradación de los servicios de los ecosistemas y la exacerbación de la tensión ambiental tiene consecuencias potencialmente graves para el bienestar humano, especialmente para los grupos pobres y vulnerables de la sociedad, ya que las consecuencias de la pérdida de biodiversidad y de servicios de los ecosistemas no son compartidas por igual. Las áreas de mayor dependencia de los servicios de los ecosistemas están en los países en desarrollo, que son también los más ricos en biodiversidad, donde millones de personas pobres dependen de la biodiversidad para cubrir sus necesidades básicas (UNEP, 2010b). La fragmentación derivada de la destrucción y degradación de los hábitats repercute de maneras muy concretas en la naturaleza: reduce la superficie y la calidad general de un hábitat, aumenta el aislamiento y amplifica el “efecto de borde” en las zonas limítrofes, por ejemplo, aumentando la frecuencia de transiciones abruptas de hábitats naturales a alterados¹⁴. Esto conduce a una espiral de disfunciones ecológicas (WWF, 2022).
- El más reciente informe del IPCC (2022) afirma categóricamente que el incremento observado de 1,1°C en la temperatura media global está afectando, adicionalmente a los arrecifes de coral, los bosques de las zonas templadas y boreales y las regiones árticas (disminución del hielo ártico estacional y derretimiento del permafrost), afectando significativamente la biodiversidad en esas regiones. El cambio climático ha alterado los ecosistemas marinos, terrestres y de agua dulce en todo el mundo. Los efectos se experimentaron antes y están más generalizados con consecuencias de mayor alcance que las anticipadas. Las respuestas biológicas, incluidos los cambios en la fisiología, el crecimiento, la abundancia, la ubicación geográfica y los cambios estacionales, a menudo no son suficientes para hacer frente al cambio climático reciente. El cambio climático ha causado pérdidas de especies locales, aumentos en enfermedades y eventos de mortalidad masiva de plantas y animales, lo que ha dado lugar a las primeras extinciones impulsadas por el clima, reestructuración de ecosistemas, aumentos en áreas quemadas por incendios forestales y la disminución de servicios ecosistémicos clave.

- Se considera que la destrucción de hábitats es uno de los más importantes impulsores de la extinción de especies globalmente. La destrucción de hábitats ocurre cuando un hábitat natural, –un bosque o un humedal, por ejemplo– sufre alteraciones tan significativas que deja de ser hábitat para las especies que inicialmente cobijaba (Laurance, 2010; IPBES, 2019)). Las poblaciones de plantas y animales sufren fuertes alteraciones o desplazamientos, conduciendo a la extinción en algunos casos, con la consecuente pérdida de biodiversidad. Sin embargo, pocos hábitats pueden ser destruidos totalmente, ocurriendo más bien la reducción de su extensión y la fragmentación de este, resultando en una especie de “océano” de tierra degradada con pequeñas islas del hábitat original. Tanto la pérdida como la fragmentación de hábitats es una amenaza grave para la supervivencia de algunas especies.
- La fragmentación de los hábitats es el resultado de la ocurrencia de tres procesos relacionados entre sí: la reducción por completo de la cubierta vegetal original de un área (pérdida de hábitat), la reducción de algunos sectores o parches de vegetación originaria, y la introducción de nuevas formas de uso de la tierra en las zonas intervenidas (Bennet y Saunders, 2010; IPBES,2019). En la práctica resulta difícil determinar el efecto relativo en las comunidades o especies debidas a estas tres alteraciones, normalmente concurrentes. Ante esta situación, se ha establecido el concepto de cambios en el paisaje, en lugar de destrucción o fragmentación de hábitats, el cual tiene lugar especialmente en las zonas planas y semiplanas, con suelos de alta capacidad productiva. La resiliencia de algunas comunidades y especies –por sus atributos o rasgos particulares de movilidad, historia de vida o requerimientos de hábitat– influye en la manera cómo una especie asume el paisaje y su adaptabilidad a los cambios en el mismo. En otras palabras, el grado de vulnerabilidad de las especies de un hábitat a los cambios que se produzcan, alterará con mayor o menor intensidad la estructura de la comunidad y los procesos de interacción entre las especies que la conforman, como las redes alimentarias y las interacciones mutualísticas o competitivas.
- Los bosques cubren 31% de la superficie terrestre del planeta –esto es, 4.060 millones de hectáreas–, si bien esa extensión se está reduciendo: entre 1990 y 2020 se perdieron 420 millones de hectáreas de bosques debido a la deforestación. Aunque la tasa de deforestación está disminuyendo, en el período comprendido entre 2015 y 2020 fue de 10 millones de hectáreas al año. Entre 2000 y 2020 se perdieron alrededor de 47 millones de hectáreas de bosques primarios. Las plantaciones forestales abarcan 294 millones de hectáreas, lo que supone un 7% de la superficie forestal mundial; entre 2015 y 2020 esta superficie aumentó algo menos de un 1% al año, por debajo del 1,4% anual correspondiente al período

comprendido entre 2010 y 2015. La superficie de otras tierras boscosas decreció en casi un 1% entre 2000 y 2020, pero la de otras tierras con cubierta forestal (que comprende los árboles en espacios urbanos, los huertos de árboles, las palmas y las áreas agroforestales) aumentó en más de un tercio entre 1990 y 2020. Existen al menos 45 millones de hectáreas de tierras agroforestales, y se observa una tendencia al alza (FAO, 2022).

- La degradación de tierras se define como la reducción o pérdida de la diversidad biológica o económica y de la productividad de las tierras de cultivo –de secano y de regadío–, los pastizales, pastos, selvas y bosques. Aunque puede tener múltiples causas, es el resultado del uso inapropiado de la tierra o de los sistemas de gestión aplicados. La degradación de la tierra puede resultar en cambios generalizados en los recursos, sobre todo suelos, agua y vegetación, así como a los cambios en la prestación de servicios de los ecosistemas. Estos suelen ser especialmente frecuentes en pastizales nativos, arbustos y bosques que han sido talados y drenados para la producción agrícola, con la consiguiente pérdida significativa de hábitats de vida silvestre.
- En los ecosistemas terrestres y de agua dulce, el cambio de uso de la tierra es lo que mayor efecto negativo ha tenido sobre la naturaleza desde 1970, seguido por la explotación directa –en particular la sobreexplotación– de animales, plantas y otros organismos, principalmente mediante cosecha, explotación forestal, caza y pesca. En los ecosistemas marinos, la explotación directa de los organismos (primordialmente la pesca) ha tenido la mayor repercusión (IPBES, 2019).
- Las actividades de caza, pesca, pastoreo y deforestación son ejemplos de la interacción recurso-consumidor, las cuales tienden a mantener un equilibrio con la productividad intrínseca de un hábitat y la tasa de extracción del recurso. Sin embargo, a largo plazo puede haber alteraciones en las características de las especies; por ejemplo, la densidad de población, su tasa de crecimiento per cápita y la dispersión espacial de su hábitat. Ello ha conducido a una sobreexplotación y ha provocado pérdidas en la biodiversidad del ecosistema.
- A pesar de su importancia crucial como soporte de las sociedades, la agricultura sigue siendo el mayor factor desencadenante de erosión genética, pérdida de especies y alteración de hábitats naturales en todo el mundo (MEA, 2005; IPBES, 2019). La creciente globalización amenaza con disminuir las variedades que se usan tradicionalmente en la mayoría de los sistemas agrícolas. Por ejemplo, 90% de toda la producción de ganado está concentrada en

la actualidad exclusivamente en 14 especies animales, mientras que apenas 30 cultivos dominan la agricultura global, proporcionando una cantidad estimada de 90% de las calorías consumidas por la población (McNeely *et al.*, 2009). Sin embargo, la explotación de unas pocas variedades mejoradas pone en peligro los materiales locales conservados por los pequeños productores.

- Todos los subsectores de la agricultura dependen de la biodiversidad. La selección por los agricultores y ganaderos de muchas especies locales –a lo largo de varias generaciones– en combinación con la selección natural, se han traducido en el desarrollo y el uso de miles de variedades de cultivos y razas de animales. Existe un creciente reconocimiento del papel esencial de esta biodiversidad agrícola y la biodiversidad en general, en el logro de la seguridad alimentaria y las necesidades nutricionales, así como en el mantenimiento de las funciones del ecosistema (descomposición de materia orgánica, el desarrollo del suelo, la retención de humedad, filtraciones de agua, control de la erosión, captura de carbono, polinización y dispersión de semillas). Sin embargo, los sistemas agrícolas intensivos tienden a estar dominados exclusivamente por unas pocas variedades y se asocian habitualmente con altos niveles de inversión, lo que incluye tecnología, productos agroquímicos, mayor energía y uso intensivo del agua para riego. Los tres últimos de ellos, no solo tienen serios impactos negativos sobre la biodiversidad, sino también sobre la salud de los ecosistemas.
- Las regiones tropicales albergan la mayor parte de la biodiversidad en la Biósfera. Los sistemas agrícolas en los trópicos se caracterizan, en primer lugar, por grandes y extensas plantaciones, heredadas de la época colonial, casi siempre alterando radicalmente los ecosistemas naturales. En la actualidad, la producción extensiva e intensiva de las grandes explotaciones, basada en el monocultivo, tiene efectos deletéreos sobre la biodiversidad, al alterar el funcionamiento y los procesos de los ecosistemas circundantes. En segundo lugar, existen diversos sistemas extensivos conformados por pequeñas explotaciones en las que participan un gran número de pequeños y medianos agricultores, realizando actividades productivas de subsistencia, bajo el esquema de conucos, en algunos casos articulados con los mercados locales. El resultado se refleja en ecosistemas altamente alterados y fragmentados, cuya biodiversidad ha mermado o está amenazada, debido a prácticas no sustentables (Perfecto y Vandermeer, 2008; IICA, 2009).

- Los vínculos entre la biodiversidad agrícola y la nutrición se muestran en un estudio preparado por el Centro para la Nutrición de los Pueblos Indígenas y Medio Ambiente (CINE) y la FAO (FAO/CINE, 2010), donde se demuestra que, en muchas partes del mundo, un aumento en el tiempo de los alimentos comerciales resulta a la larga en una disminución de la calidad de la dieta. El estudio también muestra el papel crucial de una dieta equilibrada basada en la biodiversidad local y los alimentos tradicionales para lograr la seguridad alimentaria y la salud humana.

De allí la necesidad de un nuevo paradigma agroproductivo y ecológico (agroecológico) que aproveche, por ejemplo, las costumbres ancestrales de los agricultores de mantener los jardines familiares (*home gardens*), uno de los mecanismos reconocidos por la FAO para la preservación de la biodiversidad, especialmente de la agrobiodiversidad (Figura 9).

Figura 9.

A la izquierda, un jardín familiar en los valles altos del estado Yaracuy. A la derecha, un conuco típico de las zonas altas del estado Carabobo



Nota. (Foto: A. Romero S.).

En este mismo sentido, Bengston *et al.* (2005) destacan los efectos positivos de los sistemas de agricultura orgánica –donde no se utilizan agroquímicos ni fertilizantes inorgánicos y se aplica la rotación de cultivos– sobre la biodiversidad, al incrementar la riqueza de especies en aproximadamente 30%, en comparación con la agricultura tecnificada convencional, mientras que Letourneau y Bothwell (2008) y Hole *et al.* (2005) resaltan los efectos positivos de la agricultura orgánica sobre la riqueza y abundancia de la biodiversidad, aunque consideran que es necesario profundizar los estudios sobre las diversas especies que resultan beneficiadas y su papel en los agroecosistemas orgánicos.

- Los sedimentos y sustancias generados de la erosión del suelo, los pesticidas, combustibles y otras formas de escorrentía de productos químicos **contaminan** los ríos, arroyos, lagunas y lagos, afectando negativamente las especies acuáticas. De la misma manera, algunas especies utilizadas en la agricultura se han convertido en invasoras en algunos lugares, mientras que la agricultura es en sí misma puede verse afectada a su vez por otras especies invasoras (FAO, 2009).
- En cuanto a la biodiversidad de los mares y océanos, se pueden identificar varias amenazas de importancia:
 - La sobrepesca: con los consiguientes problemas de captura incidental (fauna de acompañamiento), tanto de la pesca comercial, pesca deportiva y la pesca ilegal no regulada o no reglamentada;
 - Los daños causados al hábitat, principalmente por artes de pesca, especialmente la pesca de arrastre, pero incluyendo también los efectos del desarrollo costero: la destrucción de los arrecifes de coral, los manglares, los flujos naturales de agua dulce, humedales costeros y estuarios;
 - La contaminación (tanto en el mar como en tierra firme, difusa como puntual), incluyendo nutrimentos, sedimentos, basura (plástico, metales), sustancias tóxicas o radiactivas, la contaminación microbiana y trazas de productos químicos tales como sustancias cancerígenas y alteradores endocrinos;
 - Las alteraciones de los ecosistemas causados por la introducción de organismos exóticos, sobre todo los transportados por el agua de lastre y las incrustaciones en el casco de las embarcaciones.

El mundo natural tiene una fuerte influencia sobre la salud humana, específicamente en la transmisión de enfermedades de animales a personas. Cuando un agente infeccioso responsable de una enfermedad humana también es capaz de infectar a otras especies, éstas pueden actuar como reservorios o los vectores de la enfermedad. Las aves de corral y el ganado son importantes reservorios naturales del virus de la gripe, por ejemplo. Las enfermedades transmitidas por vectores son las que se transmiten de animales a los humanos por un huésped intermediario, por lo general un insecto vector, por ejemplo, la transmisión de la malaria los mosquitos. Las alteraciones de la biodiversidad que afectan la reserva y especies de vectores, por lo tanto, afectará a las enfermedades humanas. La deforestación, la construcción

de presas, la pesca excesiva y el desarrollo de la agricultura tienen grandes impactos en los ecosistemas, en tanto que fomentan cambios naturales en la biodiversidad y la estructura de las comunidades que constituyen importantes reservorios de especies vectoriales de enfermedades (Comisión Europea, 2011).

- El uso de plantas medicinales es la forma más común de tratamiento en la medicina tradicional y un complemento de la medicina convencional en todo el mundo (CDB, 2010), por lo cual su desaparición amenazaría la salud de buena parte de la población. Las plantas medicinales provienen de la colección de las poblaciones silvestres y su cultivo por poblaciones remotas o indígenas. Incluso en los tiempos modernos, la medicina tradicional sigue jugando un papel esencial en el cuidado de la salud, especialmente en atención primaria de salud, y en algunos países se ha incorporado ampliamente en el sistema de salud pública. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estimado que las medicinas tradicionales son utilizadas por 60% de la población mundial.

CAPÍTULO 5: LAS AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD

5.1 El planeta en peligro

Los seres humanos, al igual que todas las otras especies, se han desarrollado en interacción con su entorno. Dicha interacción es impulsada por las actividades humanas cada vez más amplias, influyendo prácticamente en todos los componentes de nuestra biósfera y el sistema climático global. Estas actividades se llevan a cabo en un mundo cada día más globalizado, industrializado e interconectado, impulsadas por la expansión de los flujos de bienes, servicios, capitales, personas, tecnologías, información, ideas y trabajo.

Las consecuencias se han hecho evidentes y, en la actualidad, existe un reconocimiento general del impacto ambiental negativo de todas esas actividades. Entre las consecuencias más graves están la degradación de los ecosistemas, la contaminación del aire y aguas y la pérdida de la biodiversidad. De manera que estamos siendo testigos de intensos cambios en el medio ambiente en todas las escalas, que no tienen precedentes en la historia humana.

La tasa actual de pérdida de biodiversidad terrestre, acuícola y marina es mayor que la experimentada en cualquier etapa de la historia humana y no hay señales que indiquen que pueda disminuir, en las actuales condiciones. A pesar de la abrumadora evidencia científica que apoya las argumentaciones acerca de la inextricable relación entre la biodiversidad y la supervivencia de la humanidad, la degradación de los ecosistemas, la extinción de especies y pérdida de poblaciones y diversidad genética continúa en una trayectoria exponencial.

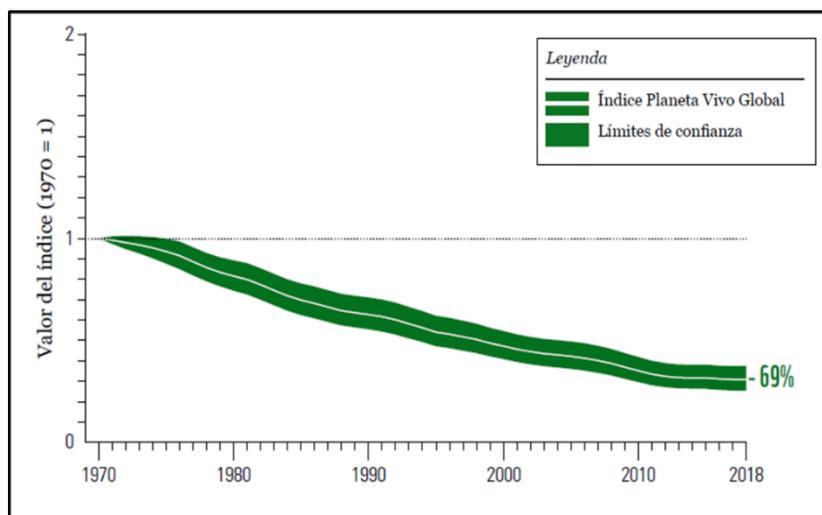
La evaluación del CDB (2010) expresa la preocupación y necesidad de acciones contundentes para enfrentar el problema:

La degradación de los servicios que prestan a las sociedades humanas los ecosistemas en funcionamiento suele guardar una relación más estrecha con los cambios en la abundancia y distribución de las especies dominantes o clave que con las extinciones a nivel mundial; incluso los cambios moderados de la biodiversidad a nivel mundial pueden traer como resultado cambios desproporcionados para ciertos grupos de especies (por ejemplo, los grandes depredadores) que ejercen una poderosa influencia en los servicios ecosistémicos. Podrían prevenirse, reducirse significativamente o incluso revertirse los cambios de la biodiversidad y los ecosistemas (si bien no es posible revertir la extinción de las especies, se puede restaurar la diversidad de los ecosistemas), si se adoptan medidas urgentes, integrales y adecuadas en los planos internacional, nacional y local. Esas medidas deben concentrarse en abordar los factores directos e indirectos que llevan a la pérdida de la biodiversidad y adaptarse al cambio en el conocimiento y las condiciones. (CDB, 2010: p.71).

De otra parte, el Índice del Planeta Vivo, elaborado por la WWF, da muestras de la disminución de la abundancia global de especies silvestres. Este indicador analiza las tendencias de un gran número de poblaciones de especies de forma muy parecida a como un índice bursátil analiza el valor de una serie de participaciones o un índice de precios al consumo el coste de la cesta de la compra, Los datos utilizados para construir el índice son series temporales de tamaño, densidad y abundancia poblacional (Figura 11). La pérdida de biodiversidad tiene graves consecuencias potenciales para el bienestar humano. De hecho, la capacidad de los ecosistemas para prestar servicios a la sociedad, ya se encuentra bajo estrés (Mooney, 2009), comprometiendo su capacidad de adaptación en el futuro. La pérdida de biodiversidad puede reducir, por ejemplo, la capacidad de producción de alimentos, el almacenamiento de carbono en los bosques y los humedales, el abastecimiento de agua limpia y suficiente agua dulce y las oportunidades para la recreación y el turismo.

Figura 10.

El Índice Planeta Vivo global (1970 a 2018). La abundancia relativa media de 31 821 poblaciones de 5 230 especies monitoreadas en todo el planeta ha disminuido un 69%. La línea blanca muestra los valores del índice, mientras que las áreas sombreadas representan la certidumbre estadística de la tendencia (certidumbre estadística de 95%, rango 63 % a 75 %).



Fuente: Informe Planeta vivo 2022 (WWF, 2022)

Las alteraciones causadas por la acción antropogénica, como es el caso de la reestructuración de los ríos y cuerpos de agua mediante presas para la generación de energía, reducen la biodiversidad como resultado de la inundación de variados hábitats, la interrupción de patrones de corrientes, el aislamiento de poblaciones animales y el bloqueo de rutas de migración. Los cambios en el uso de la tierra, al deforestar bosques para implantar agroecosistemas requeridos para la producción de alimentos, o para la expansión urbana, tiene consecuencias en todas las escalas: global regional y local.

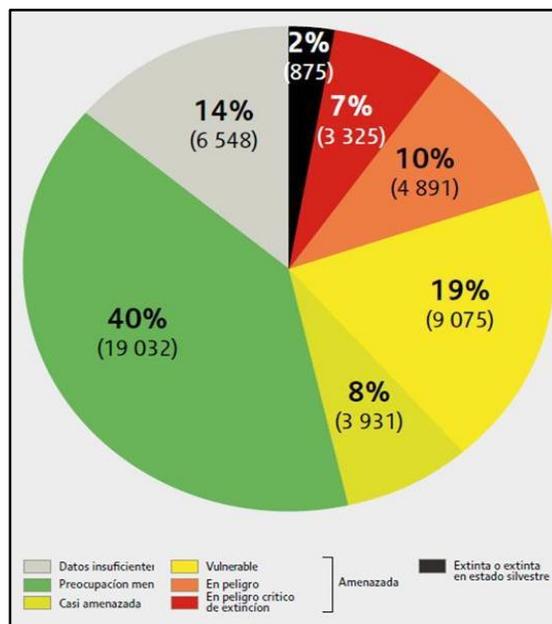
5.2 El grave problema de la pérdida de biodiversidad por la extinción de especies

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), hasta el año 2022, ha registrado como extintas 984 especies, de las cuales 82 se extinguieron en estado silvestre, así como 290 que se supone se encuentran en peligro crítico de extinción, etiquetadas como posiblemente extinguidas. Reconoce que 42.108 especies están amenazadas de extinción, de las cuales 9251 están en peligro crítico, 16.364 amenazadas y 16.493 son vulnerables (IUCN, 2022). Desglosados por grupos destacan 41% de anfibios, 26% de mamíferos, 34% de coníferas, 13% de aves, 37% de rayas y tiburones y 36% de arrecifes coralinos. La Lista

Roja de UICN¹¹, establecida desde 1964, es un indicador crítico de la salud de la biodiversidad del mundo. Mucho más que una lista de especies y su estado, es una poderosa herramienta para informar y catalizar acciones para conservación de biodiversidad y cambios de políticas, que son críticos para proteger los recursos naturales que necesitamos para sobrevivir. La Figura 11 ilustra la situación que se vivía en 2009-2010 con relación a la vulnerabilidad, amenaza o peligro de extinción. De todas las especies amenazadas, los anfibios son los que corren mayor peligro de extinción, junto con los corales constructores de arrecifes, mientras que las especies vegetales medicinales en peligro de desaparecer se ha incrementado en los últimos 10 años, especialmente en África y América Latina. En un análisis específico de la lista roja de la UICN, Cox *et al.* (2022) señalan que 21% de las especies de reptiles (tortugas, cocodrilos, lagartijas, serpientes y tuataras) también se encuentran amenazados con alto riesgo de desaparición, debido a diferentes causas, pero especialmente la cacería que realizan los humanos, tanto para alimentarse como para comerciar su piel o caparazón. Afortunadamente, los esfuerzos de conservación que se realizan para otras especies como mamíferos, anfibios y aves, también benefician a los reptiles.

Figura 11.

Distribución de 47.677 especies estudiadas por la UICN en el mundo, de acuerdo con las categorías que definen el estatus de vulnerabilidad, amenaza o peligro de extinción



Fuente: CDB (2010)

¹¹ <https://www.iucnredlist.org/>

Por su parte, el uso humano de los recursos naturales ha crecido sustancialmente en los últimos 50 años: aproximadamente la mitad de la superficie terrestre utilizable ahora se dedica a la ganadería de pastoreo o a cultivos. Esa expansión ha sido a expensas de hábitats naturales, de manera que entre un cuarto y la mitad de toda la producción primaria es ahora desviada hacia el consumo humano.

Los seres humanos han afectado la biodiversidad global desde tiempos prehistóricos tanto negativamente (p. ej., extinciones de megafauna e islas) como positivamente (p. ej., administración de organismos y ecosistemas, creación de nuevos ecosistemas).

Ahora es evidente la reconfiguración de la vida en la Tierra en todos los niveles, desde los genes hasta los biomas, por parte de los humanos. La tasa de disminución de la biodiversidad se ha intensificado en los tiempos modernos. Las tasas de extinción actuales son mucho más altas que las prehumanas. La extensión e integridad de los recursos naturales ecosistemas; el carácter distintivo funcional, filogenético y rico en especies de biotas locales en todo el mundo; el tamaño de las poblaciones de plantas y animales silvestres; y la diversidad genética intraespecífica de organismos salvajes y domesticados han disminuido.

5.3 Impulsores de la pérdida de Biodiversidad en el planeta

En términos generales, los impulsores directos más importantes de la pérdida de la diversidad biológica —y de las modificaciones en los servicios de los ecosistemas— son los cambios de hábitats, tal y como cambios del uso de la tierra, modificación material de las cuencas hidrográficas (presas, embalses), retiro de agua de los ríos, pérdida de arrecifes de coral, y daños al lecho del mar por causa de la pesca de arrastre), el cambio climático, las especies exóticas invasoras, la explotación excesiva y la contaminación (MEA, 2005; IPBES, 2019; Jaureguiberry, Titeux, Wiemers et al., 2022).

El último informe de las Perspectivas de la Biodiversidad Global (CDB, 2020) reconoce que las metas planificadas y los esfuerzos realizados durante la década de los años 2010 a 2020 no fueron del todo exitosos. Ante esta realidad, se está reconociendo la falta de compromiso por parte de los líderes del Mundo para enfrentar el hecho palpable de que:

...La diversidad biológica disminuye a un ritmo sin precedentes y las presiones que causan esta disminución se intensifican. No se alcanzará totalmente ninguna de las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica, lo que a su vez amenaza el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y socava los esfuerzos para hacer frente al cambio climático (CDB, 2020: p.8)

Los principales impulsores directos de la disminución de la biodiversidad moderna incluyen cambios en el uso de la tierra, la explotación del agua dulce y la sobrepesca en los océanos; la mayor captura y recolección de organismos silvestres; el cambio climático; las diversas formas de contaminación; y las especies invasoras. Hasta la fecha, el cambio climático es un problema relativamente menor en la disminución de la biodiversidad, pero es probable que su impacto aumente considerablemente durante este siglo. Estos impulsores interactúan de manera compleja, a veces mejorando y, a menudo, reforzando los efectos de los demás.

Los impulsores indirectos de la disminución de la biodiversidad están aumentando. Entre ellos destacan las huellas de consumo a nivel mundial, concentradas en determinados países y grupos sociales. Los impulsores indirectos afectan la tasa y la magnitud de los impulsores directos preexistentes y dan lugar a otros nuevos, como la contaminación plástica, la contaminación acústica y lumínica y la exploración y explotación de los fondos marinos (Díaz y Malhi, 2022; Jaureguiberry, Titeux y Wiemers, 2022)

Otras amenazas principales a la diversidad biológica incluyen la contaminación con residuos y sustancias, el cambio climático y la sobreexplotación. En los ecosistemas marinos, esta última ha sido la causa más grave de degradación de los ecosistemas y la extinción de especies. Estos cambios tienen implicaciones considerables para la sociedad humana. Lo grave de esta situación es que las extinciones son irreversibles, a diferencia de otras amenazas que se pueden revertir.

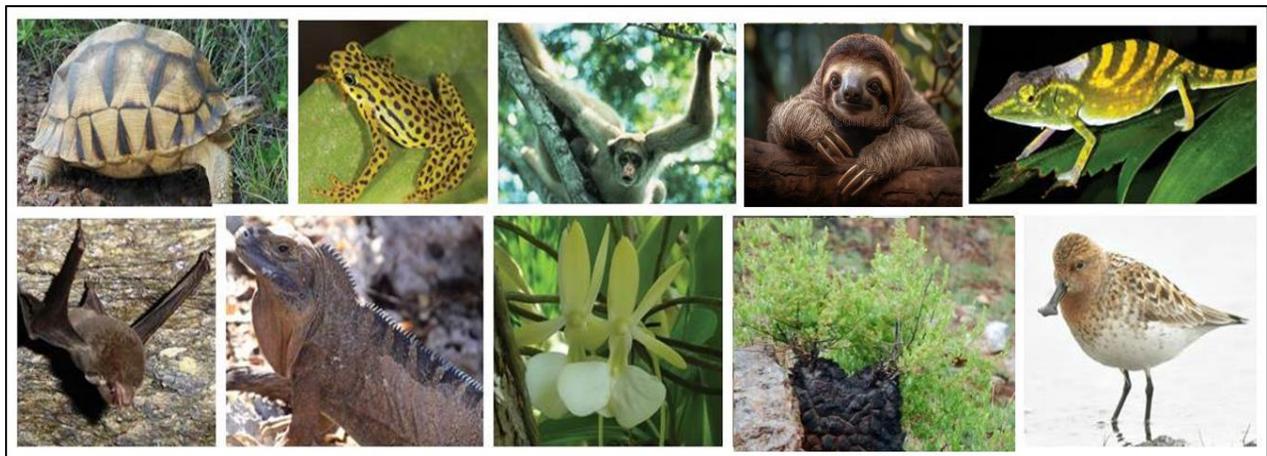
Las tasas de extinción recientes son 100 veces más rápidas que las del pasado. Las especies con mayor posibilidad de extinción son las exóticas o raras, debido a los reducidos rangos geográficos y a la baja densidad de población que las caracteriza, y la propensión a la extinción se acentúa con los impactos antropogénicos sobre sus hábitats, y seguramente se potenciarán por efecto de los cambios en el clima (McNeely *et al.*, 2009).

Cuando el hombre altera un ecosistema para mejorar uno de los servicios que éste proporciona, su acción suele acarrear también cambios para otros servicios de los ecosistemas. Por ejemplo, las medidas para aumentar la producción de alimentos pueden traducirse en menos agua

disponible para otros usos y el cambio de uso de la tierra. Muchas poblaciones de plantas y animales han declinado en número, extensión geográfica o ambas variables (Figura 12) y se encuentran en peligro crítico de extinción. Aunque la extinción de especies forma parte del curso natural de la historia de la Tierra.

Figura 12.

Algunas de las especies que se clasifican dentro de la categoría de amenaza crítica. Arriba, de izquierda a derecha: tortuga excavadora de Madagascar (Astrochelys yniphora), rana moteada (Atelopus balios), mono araña (Brachyteles hypoxanthus), Perea pigmea de tres uñas (Bradypus pygmaeus), Camaleón tarzán de Madagascar (Calumma tarzan). Abajo: murciélago enano de Seychelles (Coleura seychellensis), iguana de Jamaica (Cyclura collei), orquídea fantasma (Dendrophylax fawcettii), Ñame salvaje (Dioscorea strydomiana), correlimos cuchareta (Eurynorhynchus pygmeus).



Fuente: Baillie y Butcher (2012).

La pérdida de biodiversidad tiene efectos negativos sobre varios aspectos del bienestar humano, tales como la seguridad alimentaria, la vulnerabilidad ante desastres naturales, la seguridad energética y el acceso al agua limpia y a las materias primas.

También afecta a la salud del hombre, las relaciones sociales y la libertad de elección. La sociedad suele tener varios objetivos en conflicto, muchos de ellos dependientes de la biodiversidad.

5.4 Especies invasoras: una grave amenaza para la biodiversidad

Las especies exóticas invasoras son aquellas cuya introducción y/o propagación fuera de sus hábitats naturales afectan la diversidad biológica. Mientras que sólo un pequeño porcentaje de los organismos transportados a los nuevos entornos se convierten en invasoras, sus impactos negativos en la seguridad alimentaria, vegetal, animal, en la salud humana y en el desarrollo económico puede ser amplia y sustancial (CDB, 2009). Una especie introducida, exótica, o *alien* (en inglés) es una especie originaria de otra región. Aunque no todas las especies introducidas son invasoras; por ejemplo, la multitud de plantas ornamentales que hay en parques y jardines; o los animales de compañía, incapaces de sobrevivir sin los cuidados que les proporciona el hombre.

Las especies invasoras afectan las reservas biogeoquímicas y los flujos de materiales y energía, alterando así la estructura fundamental y la función de sus ecosistemas. La evidencia acumulada de muchas especies de animales y plantas invasoras sugiere que las especies invasoras a menudo aumentan el tamaño de las reservas, particularmente de biomasa, y promueven tasas de flujo aceleradas, pero se pueden encontrar muchas excepciones. Las especies exóticas invasoras pueden alterar los procesos de los ecosistemas a través de una amplia variedad de mecanismos que se complementan entre sí, en una variedad de escalas espaciales y temporales y en una amplia gama de grados de impacto. Ningún mecanismo de impacto puede dar cuenta de todos los casos de cambios en los ecosistemas. Las consecuencias ecosistémicas de las invasiones exóticas son específicas del sitio y de la comparación, por lo que la misma especie invasora puede tener diferentes efectos en diferentes lugares (Ehrenfeld, 2010)

Las invasiones biológicas se refieren a la introducción, establecimiento y expansión de especies exóticas procedentes de otras áreas geográficas. La mayoría de estas invasiones han sido ocasionadas natural o accidentalmente, pero en otros casos han sido intencionadas (Schüttler y Karez, 2009). Este traslado de especies de unas regiones a otras se ha llevado a cabo desde tiempos inmemoriales, pero, indudablemente, los movimientos humanos, la intensificación del comercio, la creciente globalización, la alteración de los ecosistemas y el mayor desarrollo han acelerado el proceso.

Aunque la gran mayoría de las especies invasoras son introducidas, algunas especies nativas ocasionalmente pueden transformarse en invasoras, expandiéndose rápidamente hacia otros hábitats no ocupados previamente. Esta modalidad de invasión es causada por el hombre cuando, por ejemplo, se introducen nuevos genotipos de una especie cultivada y se convierten en invasoras

por sí mismas o al recombinarse con los genotipos nativos. También se da el caso de que las alteraciones ambientales producidas por la actividad humana, como el caso del pino de Oregon (*Pseudotsuga menziesii*) en el Noroeste de los EE UU, el cual se ha extendido hacia las zonas de praderas y matorrales, y cuando éstas se incorporan a la producción ganadera se eliminan los incendios naturales (Simberloff, 2010).

De las numerosas especies no nativas establecidas en todo el mundo, solo una minoría de ellas son invasoras y nocivas, mientras que la mayoría son benignas o, de hecho, beneficiosas. La agricultura en América del Norte, por ejemplo, se vería dramáticamente diferente si solo se cultivaran plantas nativas como cultivos alimentarios y sin los servicios de la abeja melífera europea como polinizador. Sin embargo, la minoría de especies que son invasoras alteran negativamente los ecosistemas y reducen los servicios que brindan, lo que les cuesta a los gobiernos, las industrias y los ciudadanos miles de millones de dólares al año (Tobin, 2018).

Las plagas o pestes son aquellas especies invasoras que ocasionan un impacto ambiental y económico importante como el desplazamiento o la desaparición de especies nativas, cambios en los ciclos de nutrientes, transmisión de enfermedades o daños en infraestructuras (Vilá, 2006); por tanto, interfieren de forma directa o indirecta en el estado de bienestar del ser humano. Los ecólogos recomiendan que una especie se considere invasora con base en la información existente sobre su capacidad de dispersión. Por ejemplo, estimando si ha aumentado en abundancia o extendido su área de distribución con el tiempo.

Las invasiones biológicas constituyen un componente del cambio global, al igual que la explotación no sostenible de los recursos naturales, los cambios de uso de la tierra y, sobre todo, la destrucción del hábitat (Ehrenfeld, 2010). Las invasiones están muy relacionadas con los cambios de uso de suelo, puesto que muchos de estos cambios conllevan perturbaciones que suponen la apertura de espacios y la liberación de recursos (nutrientes) disponibles para aquellas especies con gran capacidad de establecimiento. Por ejemplo, el abandono de tierras de cultivo ofrece una vía libre tanto para la colonización de especies nativas como para la invasión de especies exóticas.

Los rasgos vegetativos, reproductivos y de tolerancia a distintos tipos de estrés que confieren potencial invasor a una especie, están influenciados principalmente por el lugar de origen donde ha evolucionado la especie y por el grupo filogenético al que pertenecen. Sin embargo, no hay una estrategia común entre todas las plantas que llegan a ser invasoras, ni la misma estrategia es adecuada para vivir en todos los ecosistemas (Amat-García *et al.*, 2011). Una elevada plasticidad

fenotípica, o la habilidad de un genotipo de dar lugar a distintos fenotipos en respuesta a distintos ambientes, así como su capacidad reproductiva, le permite a una planta invasora superar en un corto periodo de tiempo los límites que supone una adaptación con base genética a las nuevas condiciones ambientales del territorio donde ha sido introducida (Barret, 2011).

Un número creciente de estudios está mostrando que las interacciones positivas (mutualismos) entre especies, concretamente las que se establecen entre muchas plantas y animales, promueven la integración de especies invasoras en las comunidades nativas, además de determinar el éxito de muchas de las invasiones vegetales y animales. Una vez integradas en la comunidad receptora, las especies invasoras pueden alterar dramáticamente las interacciones mutualistas en ella presentes, las cuales a su vez pueden retroalimentarse para influir sobre la dinámica de la comunidad.

Las especies invasoras experimentan, tras su introducción en una región fuera de su rango natural, una liberación de la regulación que sobre ellas ejercían sus enemigos naturales (depredadores, herbívoros, parásitos o patógenos), lo que propicia el aumento de su abundancia y la expansión de su rango invasor. Esto representa el fundamento teórico de los programas de control biológico, que se centran en buscar, en su rango de origen, enemigos naturales especializados en la especie invasora que se pretende controlar, con la expectativa de que el escape de los ataques de dichos enemigos haya contribuido de forma significativa a su carácter invasor y, por lo tanto, la invasión será revertida al introducir uno o varios de sus enemigos especializados (CSIC, 2008).

Tales especies invasoras pueden producir cambios radicales en la abundancia y la integridad genética de especies nativas e incluso conducir a su extinción local. El impacto resulta particularmente grave cuando las especies nativas desplazadas están amenazadas o en peligro de extinción. Algunas comunidades, tales como las islas oceánicas tropicales parecen ser particularmente vulnerables a las invasiones, aunque la evidencia puede ser errónea. La hipótesis de los nichos vacantes sugiere que las comunidades isleñas y algunas otras están relativamente empobrecidas en el número de especies nativas y por lo tanto no pueden ofrecer “resistencia biológica” a los recién llegados. Como contrapartida, al llegar a una isla muchos invasores potenciales podrían no encontrar en los organismos nativos las asociaciones biológicas necesarias, como polinizadores, simbiosiontes u otras (Mack, 2000).

A pesar de que no todas las especies exóticas llegan a desencadenar procesos de invasión, la proliferación de algunas de ellas constituye hoy en día la segunda causa de pérdida de biodiversidad, después de la destrucción de los hábitats.

Cuando una especie introducida ocupa el mismo nicho ecológico que una especie autóctona, pero con mayor eficacia, la autóctona puede extinguirse localmente. La mayor capacidad competitiva de la especie invasora frente a la nativa puede ser el resultado de la competencia por explotación o por interferencia. En el caso de los animales, la depredación es el mecanismo más frecuente por el que las especies invasoras pueden tener un impacto directo sobre la biodiversidad. Las ratas (*Rattus rattus*) introducidas en muchas islas en el mundo han causado la extinción de al menos 37 especies o subespecies de aves. Los animales introducidos pueden también tener un efecto supresor sobre la vegetación nativa, como el caso de los conejos europeos (*Oryctolagus cuniculus*) introducidos en muchas islas alrededor del mundo (Simberloff, 2010).

En el caso de las plantas, se ha demostrado que la capacidad competitiva de diferentes especies invasoras está en relación con su gran capacidad de crecimiento. En el caso de los animales, la dominancia del invasor sobre el autóctono cuando comparten un mismo nicho a menudo está relacionado con el mayor tamaño y capacidad reproductiva del invasor o bien con la mayor amplitud de su nicho trófico. La competencia por interferencia está muy relacionada con determinadas ventajas de comportamiento respecto a las especies nativas (Mack, 2000).

Las plantas vasculares producen compuestos químicos como resultado de sus procesos metabólicos que en algunos casos pueden resultar tóxicas para las plantas adyacentes. Este mecanismo recibe el nombre de alelopatía, y cuando es ejercido por las plantas invasoras puede producir un impacto sobre la comunidad vegetal nativa.

El cruzamiento entre poblaciones de la misma especie, pero de diferente origen geográfico también puede conllevar cambios genéticos. La hibridación puede ser una amenaza para la integridad genética de las especies nativas, particularmente destacable en el caso de algunas especies endémicas, ya que puede, en casos extremos, implicar la extinción de sus poblaciones. La principal consecuencia negativa de la hibridación es la pérdida de diversidad genética y la pérdida de poblaciones localmente adaptadas (Simberloff, 2010). Las especies invasoras no sólo afectan a especies nativas concretas, sino también pueden reducir la biodiversidad nativa a nivel de la comunidad o del ecosistema.

Cuando el organismo invasor es extremadamente competitivo, puede incluso formar áreas monoespecíficas. En los ecosistemas terrestres donde la producción primaria está limitada por la escasez de nitrógeno, la introducción de especies exóticas capaces de fijar nitrógeno atmosférico –mediante simbiosis con microorganismos– puede incrementar notablemente la producción. Este efecto es especialmente notable cuando las especies nativas carecen de esa capacidad (incorporación de un grupo funcional nuevo) o la realizan con menor eficacia que la invasora.

Muchas situaciones de invasión biológica de especies son consecuencias no deseadas de procesos antropogénicos de introducción dirigida de especies con fines de producción agropecuaria o acuícola (nuevos cultivos o variedades, especies) o con fines ornamentales/paisajísticos, que luego se salen de control y derivan en procesos de invasión, algunas veces perjudiciales para las especies nativas (Bernery, Bellard, Courchamp, *et al.*, 2022).

La IUCN, en cooperación con el Grupo Especialista de Especies, ha identificado las 100 especies invasoras más dañinas del mundo (Lowe *et al.* 2004)¹², entre las cuales destacan las siguientes: hormiga loca (*Anoplolepis gracilipes*), malaria aviar (*Plasmodium relictum*), cerdo silvestre (*Sus scrofa*), caracol lobo (*Euglandina rosea*), jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), perca del nilo (*Lates niloticus*) y el pez león (*Pterois antennata*). En Venezuela, el Ministerio del Ambiente, a través de la Oficina Nacional de Diversidad Biológica, ha reportado que, hasta el año 2002, se habían identificado 1.410 especies exóticas, de las cuales 139 se han tornado invasoras, con consecuencias negativas para los ecosistemas del país. En particular, especies como el corocillo (*Cyperus rotundus* L.) y la paja Johnson (*Sorghum halepense*) se han convertido en malezas de muchos cultivos en las zonas agrícolas del país, al igual que varias especies de insectos plaga como la mosca prieta de los cítricos (*Alerocanthus woglumi*), la cochinilla rosada (*Maconellicoccus hirsutus*), la polilla de la papa (*Tecla solanivora*) y los trips (*Thrips palmi*), que han provocado ingentes pérdidas económicas en los cultivos afectados por ellas.

Los recientes avances en genómica, junto con el desarrollo de sistemas de información geográfica, brindan grandes conjuntos de datos genéticos y ambientales sin precedentes a escala global y local para vincular la genómica de poblaciones, la ecología del paisaje y el modelado de distribución de especies en un marco común para estudiar el proceso de invasión (Sherpa & Després, 2021).

¹² La lista completa puede consultarse en: www.issg.org/bookletS.pdf.

CAPÍTULO 6: LA BIODIVERSIDAD EN DIFERENTES ECOSISTEMAS

6.1 La biodiversidad en agroecosistemas

Desde hace ~11.000 años, el hombre comienza a intervenir los ecosistemas para implantar la agricultura, dando origen los agroecosistemas. La biodiversidad constituye la base de la agricultura y posibilita la producción de alimentos tanto silvestres como cultivados, lo que contribuye a la salud y la nutrición de todos los seres humanos. Sin embargo, en los agroecosistemas la biodiversidad tiende a ser reducida. De entre las aproximadamente 270.000 especies de plantas superiores que se conocen, entre 10.000 y 15.000 son comestibles, pero solo unas 40 de ellas son explotadas intensivamente para la producción de alimentos, mientras que alrededor de 7.000 se han usado o se usan extensivamente en la agricultura tradicional o ancestral, todavía practicada por numerosos grupos y comunidades indígenas aisladas (McNeely *et al.*, 2009). Este conjunto de especies se conoce como agrobiodiversidad, la cual incluye también los recursos genéticos animales domesticados por el hombre, así como las especies silvestres presentes en los agroecosistemas (FAO, 2019).

Mediante la agrobiodiversidad, la agricultura proporciona una amplia gama de energía, proteínas, grasas, minerales, vitaminas y otros micronutrientes necesarios para la seguridad alimentaria y la nutrición, así como otros productos útiles como biocombustibles, remedios naturales, fibras y materiales de construcción artesanal. Sin embargo, la agrobiodiversidad –en el seno de los sistemas agrícolas y de los hábitats naturales– está desapareciendo a un ritmo sin precedentes. Una gran proporción de la producción de alimentos en la agricultura mundial es realizada en pequeñas unidades de producción (agricultura familiar), donde prevalece la diversificación de las especies cultivadas y la combinación de cultivos y cría de rebaños. El resto de los alimentos es generado en explotaciones que practican la agricultura intensiva (en capital, insumos y tecnología), basada en el monocultivo continuo. Mientras que en las primeras la diversificación y la escala de producción favorecen la agrobiodiversidad y aprovechan el funcionamiento de las redes tróficas para el control natural de las plagas, en las segundas se pierde la biodiversidad natural de las tierras utilizadas (y también de los ecosistemas).

La diversidad de cultivos y ganaderías de las pequeñas unidades productivas ha sido desarrollada a través del conocimiento ancestral y los sistemas agrícolas tradicionales. Se mantiene a través de redes sociales informales, instituciones locales y transferencias de una generación a otra. Los agricultores han conservado la agrobiodiversidad mediante la obtención de semillas y propágulos

vegetativos y su siembra continua en un proceso dinámico, donde se selecciona e introduce permanentemente variabilidad, mediante el libre intercambio de materiales entre comunidades (FAO, 2019). De esta manera, se ha logrado el desarrollo de las llamadas variedades locales, folclóricas, primitivas de agricultor, las cuales tienen entre otras ventajas la adaptación a ambientes marginales y a estrés, con una conservación vinculada a su utilización y con un proceso evolutivo en marcha, como respuesta a cambios ambientales y presiones de patógenos y plagas (Lobo y Medina, 2009). Los alimentos y los sistemas agrícolas localmente adaptados, diversos y tradicionales, tienen un gran valor para las comunidades indígenas y locales, así como para la agricultura en general, por el acervo genético del que disponen (IPGRI, 2004).

Desde mediados del siglo pasado, la preocupación por la agrobiodiversidad se ha incrementado a un grado tal que los estados nacionales y varios organismos internacionales se han abocado al fomento y la creación de los llamados bancos de germoplasma, con el fin de coleccionar y conservar la gran diversidad de líneas y variedades locales (recursos fitogenéticos) de los diferentes cultivos utilizados local y comercialmente para la producción de alimentos. En el ámbito internacional, la FAO ya ha publicado dos informes (1998 y 2010) del estado de los recursos fitogenéticos, los cuales señalan que existen, debidamente identificados y registrados, 6,3 millones de accesiones de los principales cultivos, en miles de bancos de germoplasma (Figura 13) y en parcelas de agricultores (FAO/SOWPGR, 2010). De los recursos fitogenéticos en conservación, 40% corresponde a cereales, de las cuales un millón de accesiones son de las tres entidades biológicas de mayor consumo: trigo, maíz y arroz; 15% de leguminosas comestibles y 10% o menos a cada uno de los grupos que comprenden hortalizas, tubérculos, raíces, frutales y plantas forrajeras.

Figura 13.

Bancos de germoplasma de musáceas y girasol, mantenidos en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del INIA en Maracay



Fuente: (Fotos: A. Romero S.)

Infortunadamente, durante los últimos cincuenta años, unas pocas variedades comerciales modernas de los principales cultivos (cereales, leguminosas, oleaginosas, textiles y frutales) ha reemplazado a miles de variedades locales en extensas áreas de producción. Más de 90% de las variedades locales de cultivos han desaparecido en los últimos 100 años y 690 razas de ganado (bovinos, ovinos, caprinos, aves y cerdos) se han extinguido. El remanente se encuentra en estado de vulnerabilidad y en peligro de extinción.

En la evaluación de la biodiversidad para la agricultura y la alimentación que realiza la FAO (2019), la biodiversidad para la alimentación y la agricultura es indispensable para la seguridad alimentaria, el desarrollo sostenible y el suministro de muchos servicios ecosistémicos vitales. La biodiversidad hace que los sistemas de producción y los medios de vida sean más resistentes a las crisis y las tensiones, incluidos los efectos del cambio climático. Es un recurso clave en los esfuerzos por aumentar la producción de alimentos y al mismo tiempo limitar los impactos negativos sobre el medio ambiente. La agrobiodiversidad provee múltiples contribuciones a los medios de subsistencia de muchas personas, a menudo reduciendo la necesidad de que los productores agrícolas y de alimentos dependan de insumos externos costosos o perjudiciales para el medio ambiente.

La agrobiodiversidad se ve afectada por una variedad de impulsores que operan en una variedad de niveles: las principales tendencias mundiales, como los cambios en el clima, los mercados internacionales y la demografía, dan lugar a impulsores más inmediatos, como el cambio en el uso de la tierra, la contaminación y el uso excesivo de insumos externos, la sobreexplotación y la proliferación de especies invasoras. Se informa que los cambios demográficos, la urbanización, los mercados, el comercio y las preferencias de los consumidores tienen una gran influencia en los sistemas alimentarios, con frecuencia con consecuencias negativas para los servicios ecosistémicos que proporciona.

Sin embargo, estos impulsores abren oportunidades para hacer que los sistemas alimentarios sean más sostenibles, por ejemplo, a través del desarrollo de mercados para productos amigables con la biodiversidad. Muchos de los factores que tienen impactos negativos, incluida la sobreexplotación, la recolección excesiva, la contaminación, el uso excesivo de insumos externos y los cambios en la gestión de la tierra y el agua, son causados, al menos en parte, por prácticas agrícolas inadecuadas.

Las interacciones entre los impulsores a menudo exacerbaban sus efectos en la agrobiodiversidad: los cambios demográficos, la urbanización, los mercados, el comercio y las preferencias de los consumidores tienen una gran influencia en los sistemas alimentarios, a menudo con consecuencias negativas para la agrobiodiversidad y los servicios ecosistémicos que proporciona.

La FAO (2019) igualmente señala que muchos componentes clave de la biodiversidad para la alimentación y la agricultura a nivel genético, de las especies y de los ecosistemas están disminuyendo. Existen indicios de que la proporción de razas de ganado en riesgo de extinción está aumentando y, respecto a algunos cultivos y zonas, la diversidad vegetal de los campos de los agricultores está disminuyendo, mientras que las amenazas a la diversidad se están incrementando. Casi una tercera parte de las poblaciones de peces está sobreexplotada y una tercera parte de las especies de peces de agua dulce evaluadas se considera amenazada. Los animales, al igual que las plantas, están sometidos a procesos de estrechamiento en su diversidad genética por destrucción de los hábitats naturales se encuentran, donde las especies silvestres relacionadas con las especies utilizadas por el hombre; lo cual se ve magnificado por la domesticación y desarrollo de conjuntos de animales uniformes y por las preferencias de los productores o consumidores por ciertas razas. Entre los factores que amenazan esta diversidad se encuentran: cruzamiento con razas importadas o su reemplazo por éstas para mejorar la productividad animal; relegamiento por cambios sociales, sistemas de producción o demandas por ciertos productos animales; urbanización y su impacto en la agricultura tradicional de animales; sequía, conflictos civiles y hambre. Así, alrededor de 30% de especies, correspondientes a mamíferos y aves, conectadas a procesos productivos, están en riesgo de pérdida, como consecuencia de la producción comercial que ha conducido a uniformidad genética

Al mismo tiempo, la biodiversidad de las especies de microorganismos que viven bajo la superficie del suelo se ve disminuida o afectada, alterando el desempeño de sus funciones en el ecosistema. En relación con este aspecto, hasta ahora se ha dado muy poca atención a la conservación del germoplasma de microorganismos, el cual representa un enorme recurso genético para ser utilizado en la agricultura y está sometido a pérdida por factores como la destrucción y fragmentación de hábitats, la conversión de ecosistemas a agroecosistemas y la erosión de los recursos animales y vegetales.

6.2 El papel de la biodiversidad en la polinización de bosques y cultivos

Otro aspecto relevante, aunque indirecto, para la agrobiodiversidad lo constituyen los insectos polinizadores, sin los cuales más de un 70% de los campos sembrados con cultivos anuales, frutales y pastos no podrían ser polinizados. La polinización animal es directamente responsable de entre 5 y el 8 por ciento de la producción agrícola mundial actual por volumen (es decir, esta cantidad de producción se perdería si no hubiera polinizadores), tal y como lo destaca la evaluación sobre polinizadores publicada por la IPBES (2016), e incluye alimentos que aportan grandes proporciones de micronutrientes, como la vitamina A, hierro y folato, en las dietas humanas globales. Porque no es sólo la provisión de alimentos, sino también de remedios (medicamentos) naturales madera, fibras, biocombustibles, artesanías, así como esparcimiento e inspiración para el arte, el ocio y la espiritualidad. La polinización animal juega un papel vital como un servicio ecosistémico regulador en la naturaleza. A nivel mundial, casi 90% de las especies de plantas con flores silvestres dependen, al menos en parte, de la transferencia de polen por parte de los animales (abejas de panal, abejorros, mariposas, polillas, abejas solitarias, avispas, coleópteros, aves, murciélagos, entre otras). Estas plantas son fundamentales para el funcionamiento continuo de los ecosistemas, ya que proporcionan alimentos, forman hábitats y ofrecen otros recursos para una amplia gama de otras especies.

La abundancia, diversidad y salud de los polinizadores y la provisión de polinización se ven amenazadas por factores directos que generan riesgos para las sociedades y los ecosistemas. Las amenazas incluyen el cambio de uso de la tierra, la gestión agrícola intensiva y el uso de pesticidas, la contaminación ambiental, las especies exóticas invasoras, los patógenos y el cambio climático. El riesgo para los polinizadores de los pesticidas surge a través de una combinación de toxicidad y el nivel de exposición, que varía geográficamente según los compuestos utilizados y la escala de manejo de la tierra y el hábitat en el paisaje. Se ha demostrado que los plaguicidas, en particular los insecticidas, tienen una amplia gama de efectos letales y subletales sobre los polinizadores en condiciones experimentales controladas (IPBES, 2016).

Los logros alcanzados por la investigación agrícola en los últimos 60 años –en términos de mejoramiento genético, prácticas agronómicas, técnicas de riego, uso de fertilizantes y combate de plagas utilizando agroquímicos–, ha permitido incrementar la producción de alimentos y cubrir la demanda mundial, a través de la intensificación de la agricultura. Sin embargo, los efectos colaterales han tenido un alto costo. La aparición de grandes desiertos biológicos terrestres y de

zonas muertas en los océanos y lagos es una muestra de ello, a las que se agregan la creciente contaminación de los cursos de agua, la disminución de la superficie de bosques y obviamente, la pérdida de biodiversidad.

Ante este panorama, uno de los dilemas principales que enfrenta la humanidad (~8.000 millones de almas, en abril de 2023) es la necesidad de producir alimentos y al mismo tiempo mantener la biodiversidad. Porque es un hecho establecido que los agroecosistemas dedicados a producir dichos alimentos, por lo general, inducen la pérdida de biodiversidad, al sustituir la gran variedad de especies de una parcela con una sola, la que se explota y cosecha. Tal modificación del biotopo conduce a la pérdida de las especies naturales, pero también crea nuevos nichos para otras especies, herbívoros y parásitos en su mayoría, que generalmente se transforman en plagas para el cultivo y afectan su rendimiento negativamente.

En la medida que más superficies de tierra se dedican a la producción de alimentos, el riesgo de pérdida de la biodiversidad aumenta de manera significativa. Como respuesta a este fenómeno, en los últimos 30 años han surgido algunas alternativas de soluciones, entre ellas, la agricultura orgánica, la agroecología, el aprovechamiento y fomento de los jardines familiares (*Home gardens*, por su denominación en inglés) y, muy recientemente, la intensificación sustentable de los sistemas agrícolas locales en las zonas rurales, mediante el amplio aprovechamiento de los recursos intermedios que de otra manera se pierden, la aplicación de principios conservacionistas de suelos y aguas, la cooperación más intensa entre productores de la localidad y la utilización de medios y tecnologías de comunicación para acelerar y hacer más eficiente el mercadeo de los productos agropecuarios.

6.3 Biodiversidad de bosques y selvas

Los bosques son el acervo más importante de la biodiversidad terrestre, donde viven más de la mitad de las especies conocidas. Constituyen depósitos de una amplia gama de recursos genéticos, muchos de los cuales aún no se han descubierto, mucho menos utilizados. Los bosques son componentes importantes de los ecosistemas a todas las escalas y proporcionan una gran variedad de servicios y funciones:

- Regulan el ciclo hidrológico y el suministro de agua,
- Protegen las cuencas hidrográficas
- Atenúan las inundaciones y las sequías,

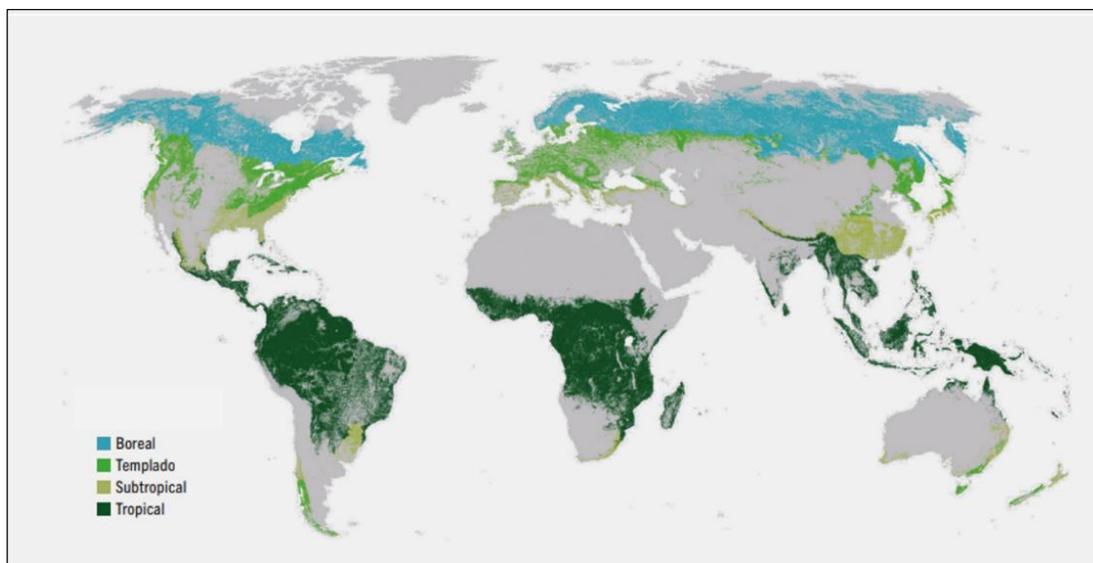
- Ofrecen productos como la madera de uso ornamental y de construcción y como fuente de energía (leña)
- Mitigan los efectos perjudiciales de las emisiones de gei y
- Fomentan la biodiversidad.

Aproximadamente 350 millones de las personas más pobres del mundo, incluidos 60 millones de indígenas, emplean los bosques de manera intensiva para su subsistencia y supervivencia. Estas poblaciones engloban a los sectores más desfavorecidos y vulnerables de la sociedad, y a menudo los más débiles en el plano político, para los cuales los bosques son el principal medio para hacer frente a las contingencias y reducir los riesgos derivados de imprevistos. Estas poblaciones son extraordinariamente competentes, creativas e innovadoras en su uso de los bosques y de sus productos y servicios ecosistémicos (FAO, 2022)

El área boscosa del mundo es de unos 40 millones de km² (Figura 14), cubriendo 31% de la superficie terrestre del planeta —esto es, 4 060 millones de hectáreas—, aunque esa extensión se está reduciendo: entre 1990 y 2020, 420 millones de hectáreas de bosques desaparecieron debido a la deforestación. Aunque la tasa de deforestación está disminuyendo, en el período comprendido entre 2015 y 2020 fue de 10 millones de hectáreas al año (FAO, 2022).

Figura 14.

Mapa global de distribución de los bosques, de acuerdo con las zonas climáticas



Fuente: FAO (2022)

Los cinco países con mayor riqueza forestal (la Federación de Rusia, Brasil, Canadá, Estados Unidos de América y China) representan más de la mitad del total del área de bosque. Diez países o áreas no tienen bosque alguno y otros 54 los tienen en menos de 10% de su extensión total de tierra.

Se calcula que los bosques almacenan unas 289 gigatoneladas de carbono tan solo en su biomasa, por lo que desempeñan un papel decisivo en el equilibrio mundial del carbono y poseen un potencial importante de mitigación del cambio climático.

Dado que los bosques contienen más de 80% de la biodiversidad terrestre mundial (plantas, animales, aves insectos, entre otros), serán un recurso importante en el desarrollo de nuevos medicamentos, variedades vegetales mejoradas e innumerables productos adicionales.

Se estima que los bosques primarios –bosques de especies nativas en los que no hay muestras visibles de actividad humana tanto actual como en el pasado– suman 36% del total de área de bosque. Otros bosques regenerados naturalmente reúnen cerca de 57%, mientras que los bosques plantados representan aproximadamente 7%, del total del área de bosque.

La FAO (2022) estima que, en entre los años 2000 y 2020, alrededor de 47 millones de hectáreas de los bosques primarios del mundo se han destinado a otros usos o se ha perdido. El área promedio de bosque per cápita en todo el mundo disminuyó a la mitad: de 1,2 ha en 1960 a 0,59 ha en 2008. Las causas de la pérdida de bosques y la conversión son muy variadas.

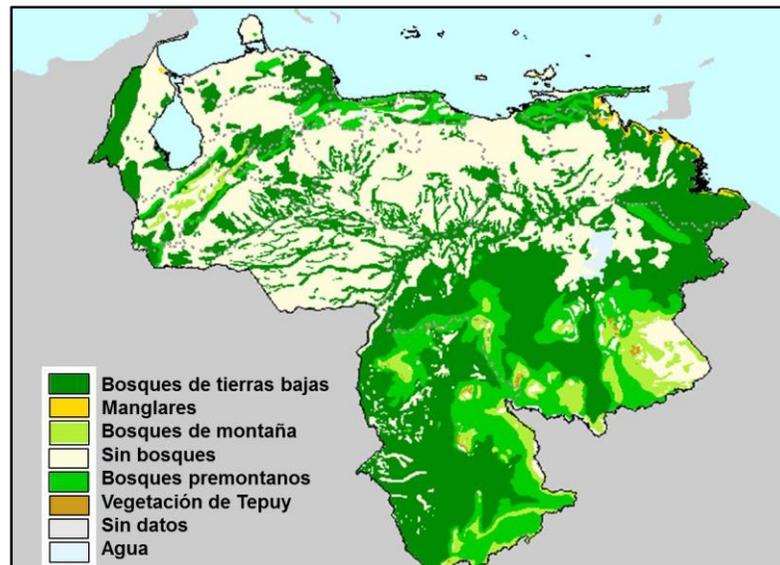
El área de bosques sembrados (secundarios) y/o recuperados está aumentando y es posible que en el futuro estos bosques cubran una mayor proporción de la demanda de madera, aliviando así la presión sobre los bosques primarios y otros bosques naturalmente regenerados.

El área de bosque que tiene como función principal designada la conservación de la diversidad biológica ha aumentado en más de 95 millones de hectáreas desde 1990, de las cuales la mayor parte (46%) fue designada entre los años 2000 y 2005. Estos bosques actualmente representan 12% del área total de bosque, equivalente a más de 460 millones de hectáreas. La mayor parte de estos bosques, aunque no todos ellos, se encuentran en áreas protegidas.

Venezuela posee una extensa superficie de bosques, aproximadamente 53 millones de ha, la mayor parte aún vírgenes, que ofrecen una excelente oportunidad para la conservación y el desarrollo sustentable. Aproximadamente la mitad del país presenta una cobertura vegetal boscosa, con la mayor proporción ubicada al sur del río Orinoco, en la región Guayana y en la zona occidental del país (Figura 15). Entre un quinto y un tercio de las tierras boscosas del país han sido protegidas con fines conservacionistas. Los ecosistemas boscosos de la región Guayana albergan una proporción elevada de la fauna silvestre del país y otros recursos no maderables que ayudan a la subsistencia de los pueblos indígenas.

Figura 15.

Mapa de la cobertura de vegetación del territorio venezolano, donde se puede apreciar la gran proporción de bosques que el país posee



Fuente: Reproducido de: www.Globalforestwatch.org

Los bosques de la región Guayana están en riesgo debido a la extracción de maderas, la minería, la agricultura y las presiones demográficas. La colonización de estos por parte de pequeños agricultores y mineros representa la mayor presión generada sobre los ecosistemas boscosos en la región Guayana. La situación actual se ha exacerbado debido a la apertura de una zona de más de 100.000 km² al sur del Orinoco, para la extracción de oro y otros minerales estratégicos, denominado el Arco Minero por las autoridades gubernamentales.

Las presiones poblacionales y los conflictos por uso de la tierra crean el potencial para la pérdida de bosques. Las prácticas vigentes para el aprovechamiento de maderas y la minería promueven la degradación de los bosques y, donde la presión demográfica es alta, facilitan la deforestación de la región Guayana.

a. El servicio ecosistémico de los bosques y selvas

Además de constituir el principal sustento para muchas poblaciones humanas, especialmente indígenas, pues extraen de ellos alimentos, recursos energéticos y plantas medicinales, los bosques y selvas prestan servicios inmensos a los ecosistemas, ya que además de proteger y enriquecer el suelo, debido a la magnitud de la biomasa que contienen, constituyen el recurso principal para producir el oxígeno de la atmósfera y depositar o secuestrar el carbono. Los bosques del mundo almacenan más de 650.000 millones de toneladas de carbono: 44% en la biomasa, 11% en madera muerta y hojarasca, y 45% en el suelo.

A escala mundial, los ecosistemas en riesgo de deforestación o degradación contienen al menos 260 gigatoneladas de carbono irrecuperable o difícil de recuperar, especialmente en turberas, manglares, bosques maduros y marismas. A menos que se adopten más medidas, se estima que 289 millones de hectáreas de tierras boscosas se desforestarían entre 2016 y 2050 solamente en los trópicos, lo que conllevaría la emisión de 169 GtCO₂e. Los últimos datos confirman que la expansión agrícola es responsable de casi el 90% de la deforestación mundial. Este cambio en el uso de la tierra responde a múltiples causas subyacentes, como la pobreza y las prácticas de producción y hábitos de consumo insostenibles. Estimaciones recientes indican que detener la deforestación podría evitar la emisión de 3,6 +/- 2 GtCO₂e al año entre 2020 y 2050 de forma eficaz en función de los costos, lo que supone el 14% de la mitigación adicional necesaria para 2030 a fin de mantener el calentamiento del planeta por debajo de 1,5 °C, dependiendo de lo rápido que se intensifiquen los esfuerzos (FAO, 2022).

b. La degradación de bosques y selvas

La última gran edad de hielo, que finalizó hace unos 10.000 años, dejó casi 6.000 millones de hectáreas de bosque, lo cual representaba 45% de la superficie terrestre del planeta. Desde entonces, los ciclos de variaciones climáticas y de la temperatura han seguido influyendo en los bosques del planeta, mientras que la actividad humana ha tenido un efecto progresivamente mayor. Se estima que a lo largo de 5.000 años la desaparición total de terreno forestal en todo el mundo ha ascendido a 1.800 millones de hectáreas, lo cual supone un promedio neto de pérdida de 360.000 hectáreas al año (Williams, citado por FAO, 2012).

Los factores más importantes asociados con la disminución de la diversidad biológica forestal son de origen humano, e incluyen:

- La extracción de madera y la conversión de bosques en tierras agrícolas,
- El pastoreo excesivo,
- La prevalencia de la agricultura migratoria,
- Las prácticas no sostenibles de manejo forestal,
- La introducción de plantas y animales exóticas invasoras,
- El desarrollo de infraestructura (construcción de carreteras, por ejemplo, la explotación hidroeléctrica de desarrollo, la expansión urbana),
- La minería y el petróleo,
- Los incendios forestales antropogénicos,
- La contaminación y el cambio climático.

Existen cuatro razones principales de la degradación de los bosques: (a) producción maderera ilegal, (b) incendios, (c) recolección de leña, y (d) agricultura migratoria. Se estima que más de la mitad del producto interno bruto (PIB) mundial (84,4 billones de USD en 2020) depende en forma moderada (31 billones de USD al año) o alta (13 billones de USD al año) de los servicios ecosistémicos, en particular de los que proporcionan los bosques. La riqueza que representan algunos servicios ecosistémicos forestales (recreación y caza, hábitat, suministro de productos forestales no maderables y servicios hídricos) es de 7,5 billones de USD, lo que supone un 21% de la riqueza total en activos de la tierra y cerca de un 9% del PIB mundial. El hecho de que las existencias de activos naturales (capital natural) no se contemplen en el cálculo de la riqueza nacional conlleva el riesgo de que se cometan errores en las políticas, y la disminución de los activos naturales podría afectar a otros activos a largo plazo. En este sentido, es necesario mejorar las estimaciones del valor de la naturaleza, en particular de los bosques. Se cree que alrededor de 33 millones de personas —esto es, el 1% del empleo mundial— trabajan directamente en el sector forestal, tanto formal como informal. El sector aportó (de forma directa, indirecta e inducida) más de 1,52 billones de USD al PIB mundial en 2015 (FAO, 2022).

Desde la perspectiva de la ecología social, es interesante considerar lo señalado por el *Forest Peoples Programme* (Chao, 2012), quienes han investigado y recopilado información acerca de la relevancia de los ecosistemas de bosques y selvas para la población que vive en o depende de ellos, resaltando los siguientes hallazgos:

- De 1.000 a 1.200 millones de habitantes que viven en niveles variables de pobreza dependen de los recursos forestales, totalmente o en parte, para sus medios de subsistencia, proveyéndoles de combustible (leña) para cocinar y de otros recursos que proveen los bosques, entre ellos alimentos, materiales de construcción y sustento de rebaños o cultivos en sistemas silvopastoriles.
- 240 millones de personas viven predominantemente en los ecosistemas forestales y 300-350 millones de personas dependen en gran medida los bosques, pues viven dentro o cerca de densos bosques de los que dependen para su subsistencia e ingresos, de los cuales 200 millones son los pueblos indígenas.

Resulta obvio que la deforestación está relacionada con la pobreza de las poblaciones que dependen de los bosques para su sustento. Es menester reconocer que para los 240 millones de personas que habitan en o cerca de los ecosistemas forestales obtienen un medio de vida que es compatible con la conservación de los bosques, pues la intensidad de deforestación es mínima y el sistema silvopastoril permite la resiliencia del ecosistema boscoso. Sin embargo, cuando la deforestación ocurre en gran escala, para la explotación maderera y la expansión de los agroecosistemas, esos pobladores resultan severamente afectados, pues los beneficios son extraídos fuera del sistema (madera, cosechas) por los inversionistas y el régimen socio-ecológico inicial pierde su capacidad de resiliencia (Chomitz, 2007). Por ejemplo, un 26% de la Amazonía se encuentra en estado de perturbación avanzada, lo cual supone degradación de los bosques, incendios recurrentes y deforestación. Esto no es un escenario futuro, es lo que estamos viviendo actualmente en la región: un nivel continuo de destrucción con repercusiones devastadoras a nivel local e implicaciones negativas para la estabilidad climática del planeta (WWF, 2022).

La degradación de los bosques generalmente se asocia con una reducción de la cubierta vegetal, especialmente de árboles, originada por la tala selectiva de especies de alto valor comercial. La degradación es causada generalmente por alteraciones que varían en términos de extensión, severidad, calidad, origen y frecuencia. El proceso del cambio puede ser natural (causado por incendios, tormentas, sequía, nieve, parásitos, enfermedades, contaminación atmosférica, cambios de temperatura) o puede ser inducido por el hombre (explotación forestal insostenible, recolección excesiva de leña para quemar, agricultura migratoria, pastoreo excesivo, y cacería no sostenible). Este último puede ser intencional (directo) como, por ejemplo, la explotación forestal excesiva, sobrepastoreo, período de descanso entre cultivos demasiado corto, en el caso

de la agricultura migratoria; o puede ser no intencional (indirecto), por ejemplo, con la expansión de especies invasoras o plagas, o la construcción de carreteras que abre un área que antes era inaccesible a la ocupación de bosques.

El proceso de degradación de los bosques puede ser repentino (por ejemplo, debido a la explotación forestal excesiva) o un proceso lento y gradual que puede extenderse por largos períodos de tiempo (por ejemplo, la recolección de leña). El primer tipo, aun siendo importante, es fácilmente detectable por medio de la teledetección, mientras que un cambio del segundo tipo a menudo es difícil de detectar, aun por medio de la observación en campo, ya que implica una pérdida de biomasa o de la productividad a largo plazo que resulta difícil de evaluar, en particular, cuando se trata del suelo, el agua, los nutrientes y el paisaje. La degradación producida por el hombre generalmente se presenta en pequeños claros en la cubierta de copas y pérdidas graduales de biomasa debajo de la cubierta de copas que no son detectables mediante el uso de métodos de teledetección ópticos normales.

La degradación de los bosques disminuye la capacidad de recuperación de los ecosistemas forestales y hace más difícil hacer frente a las cambiantes condiciones ambientales. La degradación de los bosques y selvas del planeta constituye un proceso progresivo muy grave, particularmente en los países en desarrollo. Adicionalmente, la construcción de viviendas campestres, el esparcimiento y el turismo son mencionados como causas de la degradación de los bosques en algunos países desarrollados (FAO, 2010).

Existen también otras causas subyacentes indirectas de la degradación, como la pobreza y las faltas de alternativas y oportunidades económicas, las políticas inadecuadas, las debilidades institucionales, la falta de recursos financieros, la corrupción y otros factores tecnológicos, culturales y demográficos.

La degradación natural y la inducida por el hombre a menudo dependen una de la otra, ya que la acción humana puede influenciar la vulnerabilidad del bosque debida a la degradación por causas naturales (por ejemplo: un incendio forestal natural puede determinar el avance de la agricultura migratoria). La separación entre causas naturales o provocadas por el hombre es difícil de establecer en situaciones en las que los factores abióticos y bióticos son generados por eventos climáticos extremos y por los cambios climáticos causantes de una mayor frecuencia, escala y repercusiones en la degradación de los bosques.

Existen complejas interdependencias y desbalances entre los diferentes aspectos de la degradación de los bosques. Los factores que producen la degradación pueden afectar selectivamente determinadas características forestales específicas (por ejemplo: la explotación maderera que reduce la biodiversidad) o bien una complejidad de funciones o valores forestales (por ejemplo, los devastadores incendios forestales). Los impactos pueden tener escalas de variación espacio temporal que dependen del tipo y de las características del bosque. Los episodios recientes de grandes incendios en California (EE. UU.), Sidney (Australia) y Canadá ilustran esta situación.

6.4 Biodiversidad en los océanos

Si se parte del reconocimiento de que la vida tuvo sus comienzos en los océanos, la biodiversidad marina tiene un papel crucial en la Biósfera. Más de 70% de la biodiversidad que ha poblado la tierra desde hace ~3.500 millones de años, ha habitado en el océano y los cuerpos de agua continentales. La inmensidad de la hidrosfera (72% de la superficie del planeta), así como la no existencia de límites entre los varios ecosistemas acuáticos y su compleja estructura y funcionamiento, conlleva un gran desconocimiento de éstos en la actualidad, habiéndose descrito apenas un 11% de la biodiversidad que contiene (ONU, 2021). Sin embargo, es crucial para la seguridad de los recursos globales, funciones y servicios y la dinámica del clima global de la Tierra. Los océanos regulan los principales ciclos biogeoquímicos, generan gran parte del oxígeno atmosférico, absorben la mayor parte del CO₂ atmosférico, constituyen el reservorio último del agua que circula hacia la superficie terrestre –debido a la formación de nubes– y, lo más importante, son la principal fuente de proteínas de la dieta diaria de miles de millones de seres humanos. La conclusión del Censo 2000-2010 de vida marina estima que, en regiones de alta riqueza de biodiversidad, de 25 a 80% de las especies aún no han sido descritas.

Más de 600 millones de personas viven en regiones costeras que están a menos de 10 m sobre el nivel del mar y casi un 30% de la población mundial vive a menos de 100 km de la costa. Dichas regiones están experimentando tasas de crecimiento demográfico y de urbanización más elevadas que las regiones interiores (ONU, 2021).

Los ecosistemas marinos son en gran parte invisibles y misteriosos para la mayor parte de la población mundial y las comunidades humanas costeras han persistido sobre la base de las expectativas culturales de que siempre habrá otro pez y el mar siempre puede aceptar otra gota de residuos líquidos. Ahora está claro que los impactos humanos sobre los ecosistemas

marinos son omnipresentes, que ninguna zona marina se ve libre de la influencia humana y que casi la mitad de las áreas se ven fuertemente afectadas por múltiples factores de cambio (Costello *et al.*, 2010).

La inmensa importancia de la biodiversidad marina se destaca en un reporte del Instituto de Estudios Avanzados de la Universidad de las Naciones Unidas, donde se señala que los océanos del mundo albergan 32 de 34 phyla descubiertos en la Tierra y una diversidad y abundancia de especies por unidad de área de hasta 1.000 especies/m² en el Océano Indo-Pacífico (Arico y Salpin, 2005). Sin embargo, entre 1970 y 2012 el tamaño promedio de las poblaciones de 1.234 especies de vertebrados marinos ha disminuido en 49% (WWF, 2016).

Debido a su extraordinaria diversidad y propiedades, los organismos marinos ofrecen posibilidades para el desarrollo de fármacos. La relación de componentes naturales potencialmente útiles es significativamente mayor en los seres vivos del océano que los terrestres. Por ejemplo, la utilización de extremófilos en procesos industriales incluye su uso en liposomas para la administración de fármacos y cosméticos, tratamiento de residuos, biología molecular y en la industria alimentaria. Un homólogo eucariota de arqueas halófilas produce un marcador oncogénico, el cual es utilizado para la inspección de los pacientes de cáncer. Las enzimas aisladas o adaptadas de extremófilos también se usan en la química clínica, industrias de papel, procesamiento de alimentos, de limpieza, tecnologías de teñido, del refinado y la biorremediación (MEA, 2005; ONU, 2015).

Entre 67 y 90% de la superficie de los océanos se ven afectados por los seres humanos en diversos grados, pero la sobrepesca constituye el impacto directo dominante y el más extendido para los servicios de provisión de alimentos de las futuras generaciones. Estudios recientes han demostrado que los desembarques mundiales de la pesca alcanzaron su punto máximo a finales de 1980 y ahora están disminuyendo, a pesar del incremento del esfuerzo pesquero, con poca evidencia de que esta tendencia se esté invirtiendo con las prácticas actuales (ONU, 2021).

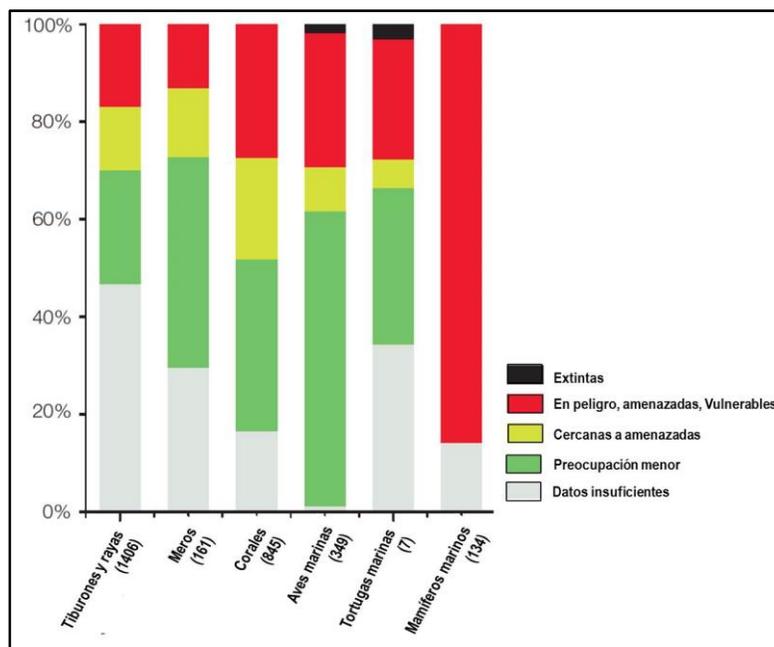
De manera especial, los ecosistemas costeros, o áreas donde se mezcla el agua dulce y salada, se encuentran entre los más biodiversos y productivos, pero constituyen los ecosistemas más severamente afectados en todo el mundo. Estos ecosistemas producen muchos más servicios relacionados con el bienestar humano que la mayoría de los sistemas, incluso aquellos que cubren en total áreas más grandes (UNEP/MEA, 2005).

Las áreas más allá de 50 metros de profundidad son los más afectados directamente por la pesca, e indirectamente por la contaminación. Los peces y otras especies marinas también se ven afectadas por la contaminación costera y la degradación, especialmente cuando parte de su ciclo de vida ocurre en los hábitats costeros, y debido a la dispersión de larvas por las corrientes en los ambientes pelágicos. Sin embargo, las flotas pesqueras de alta mar y en aguas más profundas, extraen las especies con mayor precisión y eficiencia, lo que compromete las áreas que servían de refugios para el desove de muchas especies de interés comercial, tanto para flotas industriales como artesanales (MEA, 2005).

La biodiversidad marina, al igual que la de los ecosistemas terrestres, se encuentra amenazada en diversos grados (Figura 16). De las 1.046 especies de tiburones y sus parientes (clase Chondrichthyes), 17% de los cuales se encuentran en categorías de amenaza (en peligro crítico, en peligro, y vulnerable) y 13% se consideran casi amenazados. Por lo menos 12,4% de las 161 especies de mero del mundo están ahora en la lista de categorías de amenaza (en peligro crítico, en peligro o vulnerable), otro 14% está casi amenazado.

Figura 16.

Resumen de la distribución porcentual de las categorías de la Lista Roja de las especies marinas hasta ahora estudiadas por el IUCN. Para cada categoría se señalan los valores absolutos entre paréntesis



Fuente: Polidoro *et al.* (2008).

De las 845 especies de corales (zooxantelados, orden Scleractinia, más las familias Helioporidae, Tubiporidae y Milleporidae), 27% se ubican en categorías de amenaza, lo que supone un alto riesgo de extinción. La cuarta parte de las especies de mamíferos marinos (ballenas, delfines, leones marinos y focas) se encuentran en categorías de amenaza. Las principales amenazas para estas especies incluyen enmallamiento en artes de pesca, los efectos de la contaminación acústica de sonar militar y sísmicos, y golpes de las embarcaciones. La abundancia mundial de tiburones y rayas oceánicas ha disminuido un 71% en los últimos cincuenta años, fundamentalmente porque la presión pesquera se ha multiplicado por 18 desde 1970 (WWF, 2022).

Los tiburones y las rayas son importantes para la salud de nuestros océanos, pero cada vez se valoran más comercialmente que por su carne, por otras partes usadas por sus supuestas propiedades médicas (p. ej. los platos a base de branquias de manta o mantarraya gigante) o por su uso en cocina, como la sopa de aleta de tiburón (WWF, 2022).

Las aves marinas (27,5%) están amenazadas y cuatro especies se han extinguido en los últimos 500 años. Las principales amenazas para las aves marinas incluyen la mortalidad por consumo de fauna de acompañamiento, el enredado en artes de pesca, derrames de petróleo y el impacto de las especies exóticas invasoras (en particular, la depredación por roedores y gatos) en las colonias de cría. A partir de 2008, seis de las siete especies de tortugas marinas (Orden Testudines) se han incluido en la categoría de amenaza (Polidoro *et al.*, 2008).

CAPÍTULO 7: LA BIODIVERSIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático y la biodiversidad están interconectados y son interdependientes, no sólo por los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad, sino también porque los cambios en el funcionamiento de la biodiversidad y el ecosistema afectan el cambio climático. Ya se han hecho evidentes los efectos de este último, tanto en la extinción de especies, como en alteraciones en las relaciones interespecíficas, especialmente las mutualísticas y las competitivas. Algunas especies tienden a florecer y reproducirse más tempranamente que lo normalmente esperado, mientras que las especies migratorias han modificado sus patrones de movilización hacia otras latitudes, cuando todavía no encuentran en éstas las condiciones requeridas para su alimentación o reproducción (IPCC, 2022).

García *et al.* (2018) demuestran que el calentamiento y la pérdida de biodiversidad interactúan sinérgicamente, afectando el funcionamiento de las comunidades microbianas. A medida que las temperaturas se apartaban de las condiciones ambientales normales, se requerían más especies para mantener el funcionamiento del ecosistema. Lo que sugiere que la complementariedad interespecífica aumentó bajo estrés térmico y las comunidades de alta diversidad que parecían funcionalmente redundantes a la temperatura ambiente, se volvieron funcionalmente más únicas a medida que cambiaban las temperaturas. Por lo tanto, la biodiversidad puede ser aún más importante de lo que se anticipó anteriormente al considerar los impactos de las múltiples facetas del cambio ambiental.

El IPCC (2022) afirma que el cambio climático en marcha, inducido en gran medida por las acciones y decisiones humanas, y cuyos efectos a corto plazo no son totalmente predecibles, debe combatirse manteniendo los ecosistemas capaces de absorber el exceso de CO₂ atmosférico, uno de los impulsores del aumento de las temperaturas globales, como lo son las selvas amazónicas, los bosques boreales y los océanos. En este sentido, Rockström *et al.* (2021) coinciden en destacar la necesidad de “cuidar”, esto es, administrar con sensatez y recelo bajo principios comprobados científicamente, tales ecosistemas. Dichos autores señalan que es hora de un cambio transformativo, similar al que reclama el IPBES (2019), en las políticas y programas de desarrollo, que guarden recelosamente sus objetivos y metas en función de la preservación de los pocos ecosistemas que aún cumplen prístinamente con su función de sumideros de carbono excedente de la atmósfera.

Algunas especies invaden otros ecosistemas, cuando en su hábitat natural ocurren cambios en el régimen de aguas, la temperatura y la concentración de CO₂, o por efecto de desastres climáticos como huracanes o inundaciones, incluso por causas humanas, voluntarias o involuntarias (Lovejoy, 2010). En los nuevos hábitats, las especies invasoras encuentran oportunidades para adaptarse y sobrevivir, afectando la dinámica de poblaciones y ocupando nichos de las especies nativas, incluso alterando las cadenas tróficas originales.

En conjunto, la complejidad de la interacción de estos dos factores globales –cambio climático y especies invasoras– se está incrementando dramáticamente, al igual que la evidencia sobre cómo el cambio climático está agravando los efectos de por sí devastadores de las especies invasoras. Los impactos del cambio climático, como el incremento de las temperaturas y los cambios en las concentraciones de CO₂, es probable que aumenten las oportunidades de las especies invasoras debido a su capacidad de adaptación a las perturbaciones y a una gama más amplia de condiciones biogeográficas y controles ambientales. Los impactos de las especies invasoras pueden ser más graves en tanto que aumentan en número y en alcance, al competir por los recursos disminuidos como el agua y los alimentos. Las temperaturas del aire y el agua más cálidas también pueden facilitar el movimiento de las especies a lo largo de las vías de propagación que antes eran inaccesibles, tanto naturales como provocados por el hombre (Burgiel y Muir, 2010).

Phil *et al.* (2021) hacen una síntesis de diez campos dentro de la ciencia del clima en los cuales ha habido avances significativos en los últimos cuatro años, a través de un proceso de elicitación de expertos con amplio alcance disciplinario. Los hallazgos incluyen:

- 1) una mejor comprensión de sensibilidad climática de equilibrio;
- 2) el derretimiento abrupto como acelerador de la liberación de carbono del permafrost;
- 3) cambios a nivel mundial y sumideros de carbono terrestres regionales;
- 4) impactos del cambio climático en crisis del agua, incluidas las perspectivas de equidad;
- 5) efectos adversos del cambio climático sobre la salud mental;
- 6) efectos inmediatos de la pandemia de covid-19 sobre el clima y los requisitos para paquetes de recuperación para cumplir con el acuerdo de París;
- 7) cambios sugeridos a largo plazo en la gobernanza y un contrato social para abordar el cambio climático, aprendiendo de la pandemia actual;

- 8) relación costo-beneficio positiva actualizada y nuevas perspectivas sobre el potencial de crecimiento verde a corto y largo plazo;
- 9) la electrificación urbana como estrategia para avanzar hacia sistemas energéticos bajos en carbono y
- 10) litigios basados en derechos como un método cada vez más importante para abordar el cambio climático, con aclaraciones recientes sobre la legitimación activa y la representación de las generaciones futuras.

En relación con los ecosistemas acuáticos, Worm *et al.* (2006) señalan que las relaciones positivas entre la diversidad de los océanos y las funciones y servicios del ecosistema se han establecido científicamente, así como la pérdida y recuperación de esta, en función de políticas y mecanismos adecuados. Las consecuencias sociales de una erosión continua de la diversidad de los océanos parecen estar acelerándose a escala global; tendencia muy preocupante, más aún cuando las proyecciones sugieren que los taxones actualmente explotados mediante la pesca desaparecerían a mediados del siglo XXI. Sugieren además que la eliminación de las poblaciones de especies adaptadas localmente no sólo deteriora la capacidad de los ecosistemas marinos a alimentar a una población humana creciente, sino también altera su estabilidad y su potencial de recuperación en un entorno rápidamente cambiante del mar. Mediante la restauración de la biodiversidad marina a través de gestión de la pesca sostenible, el control de la contaminación, el mantenimiento de hábitats esenciales y la creación de reservas marinas, es posible invertir en la productividad y la fiabilidad de los bienes y servicios que los océanos proporcionan a la humanidad.

Un ejemplo dramático lo constituye en pez león (*Pterois volitans*), originario del océano Índico y el mar Rojo, cuando varios ejemplares escaparon de un acuario en Florida a finales de los años 80. Con el tiempo, esta especie se aclimató a la zona del norte caribeño y su población se ha multiplicado, invadiendo los arrecifes coralinos y los manglares, especialmente en las Bahamas, donde se ha convertido en el principal predador de muchas especies de peces herbívoros y carnívoros, crustáceos, invertebrados y otras especies coralinas (Barbour *et al.*, 2010). Más recientemente, se ha hecho evidente el daño que está causando la pitón amarilla en los Everglades del estado de Florida en USA, traída y comercializada como mascota que luego fue liberada accidentalmente durante un huracán en 2004 e invadió el ecosistema de los Everglades en el sur de Florida.

El establecimiento de áreas protegidas, el pago por la restauración y preservación y la valoración monetaria de los servicios ecosistémicos, entre otras medidas, buscan minimizar la pérdida de biodiversidad y fortalecer la resiliencia de los ecosistemas y sus servicios para las comunidades humanas que hacen vida en ellos.

En el contexto del cambio climático y la biodiversidad, la vulnerabilidad es el grado en que se ve amenazada una especie o población con el deterioro, la reducción de aptitud o adaptabilidad, pérdida genética o la extinción, debido al cambio climático (Dawson *et al.*, 2011). La vulnerabilidad tiene tres componentes: la exposición (que está positivamente relacionado con la vulnerabilidad), sensibilidad (relación positiva), y la capacidad de adaptación (de forma negativa relacionados). La exposición se refiere a la magnitud de los cambios climáticos que experimenta una especie o localidad. La exposición depende de la velocidad y la magnitud del cambio climático (temperatura, precipitación, nivel del mar, frecuencia de inundaciones, y otros riesgos) en los hábitats y regiones ocupadas por la especie.

La sensibilidad es el grado en que la supervivencia, la persistencia, la aptitud, el rendimiento o la regeneración de una especie o población dependen del clima imperante, sobre todo las probabilidades de experimentar un cambio en las variables del clima en el futuro cercano. Las especies más sensibles son propensas a mostrar una mayor reducción de la supervivencia o la fecundidad con cambios menores de las variables climáticas. La sensibilidad depende de una variedad de factores, incluyendo la ecofisiología, la historia de vida y preferencias de microhábitat.

La capacidad de adaptación se refiere a la capacidad de una especie o población constituyente para hacer frente al cambio del clima por la persistencia *in situ*, desplazándose a microhábitats locales más adecuados, o emigrando a regiones más apropiadas. La capacidad de adaptación depende de una variedad de factores intrínsecos, como la plasticidad fenotípica la diversidad genética, las tasas de evolución, los rasgos de historia de vida, y la dispersión y capacidad de colonización.

Finalmente, dada la relevancia y estatus científico de las instituciones que lo generan, deben resaltarse algunas las principales conclusiones del estudio conjunto IPCC/IPBES (Pörtner *et al.*, 2021) sobre biodiversidad y cambio climático, las cuales se sintetizan a continuación:

- *El aumento del consumo de energía, la sobreexplotación de los recursos naturales y la transformación sin precedentes de los paisajes terrestres, de agua dulce y marinos, en los últimos 150 años, han ido aparejados con los avances tecnológicos y han respaldado mejores niveles de vida para muchas sociedades y regiones. Sin embargo, también han provocado cambios en el clima y una disminución acelerada de la diversidad biológica en todo el mundo, ambos afectando negativamente muchos aspectos de la buena calidad de vida. El reforzamiento mutuo del cambio climático y la pérdida de biodiversidad significa que la resolución satisfactoria de cualquiera de los problemas requiere la consideración del otro.*
- *Las políticas previas, hasta ahora, han abordado en gran medida los problemas del cambio climático y la pérdida de biodiversidad de forma independiente. Las políticas que abordan simultáneamente las sinergias entre la mitigación de la pérdida de biodiversidad y el cambio climático, al mismo tiempo que consideran sus impactos sociales, ofrecen la oportunidad de maximizar los cobeneficios y ayudar a cumplir las aspiraciones de desarrollo para todos.*
- *A medida que avanza el cambio climático, la distribución, el funcionamiento y las interacciones de los organismos y, por lo tanto, de los ecosistemas, se alteran cada vez más. La capacidad de adaptación de la mayoría de los ecosistemas y sistemas socioecológicos se verá superada por el cambio climático antropogénico constante, y se requerirá una capacidad de adaptación significativa para hacer frente al cambio climático residual, incluso con una reducción ambiciosa de las emisiones.*
- *En un mundo cada vez más afectado por el cambio climático, el mantenimiento de la biodiversidad depende de esfuerzos de conservación mejorados y bien enfocados, coordinados y respaldados por fuertes esfuerzos de adaptación e innovación. Los enfoques de conservación de la biodiversidad, como las áreas protegidas, han sido esenciales para los éxitos hasta la fecha, pero, en conjunto, han sido insuficientes para detener la pérdida de biodiversidad a escala mundial.*
- *Un nuevo paradigma de conservación abordaría los objetivos simultáneos de un clima habitable, una biodiversidad autosuficiente y una buena calidad de vida para todos. Los nuevos enfoques incluirían tanto la innovación como la adaptación y ampliación de los enfoques existentes. Las acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar*

los ecosistemas naturales y modificados que abordan los desafíos sociales, como la mitigación y adaptación climáticas, a menudo se denominan soluciones basadas en la naturaleza (SBN).

- *Las SBN pueden desempeñar un papel importante en la mitigación del cambio climático, pero se debate su alcance y solo pueden ser efectivas con reducciones ambiciosas en todas las emisiones de gases de efecto invernadero causadas por el hombre. Las SBN pueden ser más efectivas cuando se planifican para la longevidad y no se enfocan únicamente en el secuestro rápido de carbono.*
- *El área de tierra y océano intacta y efectivamente protegida que se requiere para cumplir con los tres objetivos de un clima habitable, una biodiversidad autosuficiente y una buena calidad de vida aún no está bien establecida. Aunque la implementación de SBN también crea beneficios colaterales para la adaptación al cambio climático, para la naturaleza y sus contribuciones a las personas. Evitar y revertir la pérdida y degradación de ecosistemas terrestres y oceánicos ricos en carbono y especies es de suma importancia para las acciones combinadas de protección de la biodiversidad y mitigación del cambio climático con grandes cobeneficios de adaptación.*
- *Las prácticas agrícolas y forestales sostenibles pueden mejorar la capacidad de adaptación, aumentar la biodiversidad, aumentar el almacenamiento de carbono en las tierras agrícolas y los suelos y la vegetación de los bosques, y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Tanto en los sistemas terrestres como marinos, existen opciones para combinar medidas basadas en la naturaleza y basadas en la tecnología para la mitigación y adaptación al cambio climático, al mismo tiempo que se contribuye a la biodiversidad.*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amat-García, G., E. Amat-García y E. Ariza-Marín. (2011). Insectos invasores en los tiempos del cambio climático. *Investigación y ciencia (ACAC, Col.)*. XVIII (4):44-53
- Appeltans, W., P. Bouchet, G.A. Boxshall, K. Fauchald, D.P. Gordon, B.W. Hoeksema, G.C.B. Poore, R.W.M. van Soest, S. Stöhr, T.C. Walter & M.J. Costello (Eds). (2011). *World Register of Marine Species*. <http://www.marinespecies.org>
- Arico, S. and C. Salpin. (2005). *Bioprospecting of Genetic Resources in the Deep Seabed: Scientific, Legal and Policy Aspects*. Yokohama, Japan. United Nations University, Institute of Advanced Studies. 76p.
- Baillie, J.E.M. & Butcher, E. R. (2012). *Priceless or Worthless? The world's most threatened species*. Zoological Society of London, United Kingdom
- Barbour, A. B., M. L. Montgomery, A. A. Adamson, E. Díaz-Ferguson & B. R. Silliman. (2010). Mangrove use by the invasive lionfish *Pterois volitans*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 401. pp:291-294.
- Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O., Swartz, B., Quental, T. B., ... & Ferrer, E. A. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471(7336), 51-57.
- Barrett. S. C. H. (2011). Why Reproductive Systems Matter for the Invasion Biology of Plants. IN: *Fifty years of invasion ecology: the legacy of Charles Elton*. Edited by D. M. Richardson. West Sussex, England, Wiley-Blackwell Pub. pp:195-210.
- Bengtsson, J., J. Ahnström and A.-C. Weibull. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 42, 261–269.
- Bennet, A. and D. Saunders. (2010). Habitat fragmentation and landscape change. IN: Sodhi N. S. and Paul R. Ehrlich. *Conservation Biology for All*. New York, Oxford University Press. pp:88–106.
- Bernery, C., Bellard, C., Courchamp, F., Brosse, S., Gozlan, R. E., Jarić, I., ... & Leroy, B. (2022). Freshwater fish invasions: A comprehensive review. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 53, 427-456.
- Boero F. and Erik Bonsdorff. (2007). A conceptual framework for marine biodiversity and ecosystem functioning. *Marine Ecology*, Vol. 28 (Suppl. 1):134–145

- Burgiel, S.W. and A.A. Muir. 2010. Invasive Species, Climate Change and Ecosystem- Based Adaptation: Addressing Multiple Drivers of Global Change. Global Invasive Species Programme (GISP), Washington, DC, US, and Nairobi, Kenya. 54p.
- Cardinale, B. J., D. S. Srivastava, J. Emmett Duffy, Justin P. Wright, A. L. Downing, M. Sankaran and C. Jouseau. (2006). Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nature*, Vol. 443: 989–992
- Chao, S. (2012). FOREST PEOPLES: Numbers across the world. London, Forest Peoples Programme. 24p.
- Chapman, A. (2009). Numbers of Living Species in Australia and the world (2nd Ed). Canberra, Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts. Commonwealth of Australia. 78p.
- Chomitz, K. M. (2007). At loggerheads? agricultural expansion, poverty reduction, and environment in the tropical forests. Washington DC, World Bank. 284p.
- Coleman, D.C., Callaham Jr. M.A & D.A. Crossley Jr. (2018) Fundamentals of Soil Ecology. London, Elsevier/Academis Press. 368p.
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). 2008. Invasiones biológicas. Compilado por: M. Vilà, F. Valladares, A. Traveset, L. Santamaría, P. Castro. Madrid, CSIC, 215p. (COLECCIÓN DIVULGACIÓN)
- Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). (1992). Texto: Art. 2. Términos utilizados. <https://www.cbd.int/convention/articles/?a=cbd-02>
- Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). (2001). *Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica* Montreal, Canadá, Secretariado de la CDB. 282p. <https://www.cbd.int/doc/publications/gbo/gbo-ch-01-en.pdf>
- Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). (2009). Especies exóticas invasivas. Una amenaza a la diversidad biológica. Montreal, CBD. 51p.
- Costello M.J., Coll M., Danovaro R., Halpin P., Ojaveer H., et al. (2010) A Census of Marine Biodiversity Knowledge, Resources, and Future Challenges. *PLoS ONE* 5(8)e. <http://hubs.plos.org/web/biodiversity/article/10.1371/journal.pone.0012110>
doi:10.1371/journal.pone.0012110.
- Cowie, R. H., Bouchet, P., & Fontaine, B. (2022). The Sixth Mass Extinction: fact, fiction or speculation?. *Biological Reviews*, 97(2), 640-663.

- Cox, N., Young, B.E., Bowles, P. *et al.* (2022). A global reptile assessment highlights shared conservation needs of tetrapods. *Nature* 605, 285–290. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04664-7>
- Cumbre de la Tierra (1992). Cumbre de la Tierra: qué es, acuerdos y objetivos. <https://www.ecologiaverde.com/cumbre-de-la-tierra-que-es-acuerdos-y-objetivos-2291.html>
- Dawson, T. P.; Stephen T. Jackson, J. I. House; I. C. Prentice y G. M. Mace. 2011. Beyond Predictions: Biodiversity Conservation in a Changing Climate. *Science*, 332:53-58
- De Vries, D., Heritage, S., Borths, M.R. *et al.* Widespread loss of mammalian lineage and dietary diversity in the early Oligocene of Afro-Arabia. *Commun Biol* 4, 1172 (2021). <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02707-9>
- Diamond, Jared (2006): Colapso. Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen. Barcelona, Debate. 747p.
- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *science*, 345(6195), 401-406.
- Duffy, J. E., B. J. Cardinale, K. E. France, P. B. McIntyre, Elisa Thébault and Michel Loreau. (2007). The functional role of biodiversity in ecosystems: incorporating trophic complexity. *Ecology Letters*, 10: 522–538
- Ehrenfeld, J. G. (2010). Ecosystem consequences of biological invasions. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 41, 59-80.
- Encyclopedia of life (EOL). (2020). <http://www.eol.org>
- Ewel, J., A. Madriz y Tosi Jr., J. (1976). Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Caracas, Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 270p.
- FAO – Organización de las naciones Unidas para la para la Alimentación y la Agricultura. (2012a). El estado de los bosques del mundo. Roma, FAO. 63p. <http://www.fao.org/docrep/016/i3010s/i3010s00.htm>
- FAO. (2009). Strategic Framework 2010-2019. Rome, FAO Conference, 18–23 November, 2009. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/017/k5864e01.pdf>
- FAO. (2010). The Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome. <https://www.fao.org/3/i1500e/i1500e.pdf>

- FAO. (2012b). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. (2012). Roma, FAO. 231p.
<http://www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s00.htm>
- FAO. (2019). *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*, J. Bélanger & D. Pilling (eds.). FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome. 572 pp. <http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf>
- FAO. (2022). El estado de los bosques del mundo 2022. Vías forestales hacia la recuperación verde y la creación de economías inclusivas, resilientes y sostenibles. Roma, FAO. Disponible en línea: <https://www.fao.org/documents/card/es/c/cb9360es>
- Fitter, A., T. Elmqvist, R. Haines-Young, M. Potschin, A. Rinaldo, H Setä Lä, S. Stoll-Kleemann, M. Zobel and J. Murlis. (2010). An Assessment of Ecosystem Services and Biodiversity in Europe. IN: *Issues in Environmental Science and Technology*. Vol. 30. Ecosystem Services. Edited by R.E. Hester and R.M. Harrison, London, Royal Society of Chemistry. 192p.
- Fundación Tara-Oceans (2015). Exploring the Ocean to understand, sharing to change. <https://fondationtaraocean.org/en/home/>
- García, F. C., Bestion, E., Warfield, R., & Yvon-Durocher, G. (2018). Changes in temperature alter the relationship between biodiversity and ecosystem functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(43), 10989-10994.
- Gaston, K. J. (2010). Biodiversity. IN: Sodhi N. S. and Paul R. Ehrlich. (2010). *Conservation Biology for All*. New York, Oxford University Press. pp:27-42
- Hillebrand, H. and B. Matthiessen. (2009). Biodiversity in a complex world: consolidation and progress in functional biodiversity research. *Ecology Letters* 12:1405–1419
- Hokche, O. (2020) Flora vascular. EN: Libro Rojo de la flora venezolana. 2ª edición. Huérfano, A., I. Fedón & J. Mostacero (eds.). p: 410. Caracas, Instituto Experimental Jardín Botánico, Universidad Central de Venezuela.
- Hokche, O.; P. E. Berry y O. Huber (Eds). 2008. Nuevo catálogo de la flora vascular de Venezuela. Fundación Instituto Botánico de Venezuela "Dr. Tobías Lasser". Caracas, Venezuela.
- Hole, D.G., A.J. Perkins, J.D. Wilson, I.H. Alexander, P.V. Grice and A.D. Evans. (2005). Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122 113–130.
- Hooper et al. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1):3–35. Island Press.

- Hughes, A. R., B. D. Inouye, M.T.J. Johnson, N. Underwood and M. Vellend. (2008). Ecological consequences of genetic diversity. *Ecology Letters*, 11: 609–623
- Hutchinson, David K.; Coxall, Helen K.; Lunt, Daniel J.; Steinthorsdottir, Margret; De Boer, Agatha M. ...& Zhang, Zhongshi (2021). "La transición del Eoceno al Oligoceno: una revisión de datos proxy marinos y terrestres, modelos y comparaciones de modelos y datos". *Clima del Pasado*. 17(1):269–315
- Ibisch, P.L. & A. Vega E. T.M. Herrmann (eds.) 2010. Interdependence of biodiversity and development under global change. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal (second corrected edition). Technical Series No. 54,
- Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos - IPGRI. 2004. Diversity for well-being, making the most of agricultural biodiversity. Maccaresse, Roma, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. <http://www.biodiversityinternational.org/>.
- IPBES (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, and H. T. Ngo (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 552 pages.
- IPBES (2019), Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Brondizio, E. S., Settele, J., Diaz, S., Ngo, H. T. (eds). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1144 p. Disponible en: <https://www.ipbes.net/global-assessment>
- IPCC – Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2007) Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y A. Reisinger. Ginebra, Suiza.
- IPCC (2022) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press
- Jaureguiberry, P., Titeux, N., Wiemers, M., Bowler, D. E., Coscieme, L., Golden, A. S., ... & Purvis, A. (2022). The direct drivers of recent global anthropogenic biodiversity loss. *Science advances*, 8(45), eabm9982.

- Laurance, W. (2010). Habitat destruction: death by a thousand cuts. IN: Sodhi N. S. and Paul R. Ehrlich. Conservation Biology for All. New York, Oxford University Press. pp:73-86.
- Letourneau, D. K. and S. G. Bothwell. (2008). Comparison of organic and conventional farms: challenging ecologists to make biodiversity functional. *Front Ecol Environ*; 6(8): 430–438
- Llorente-Bousquets, J., y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 283-322.
- Lobo, M., & Medina, C. I. (2009). Recursos genéticos de pasifloráceas en Colombia. IN: Miranda, D., G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra-Posada, W. Piedrahíta y L.E. Flórez (eds.). 2009. Cultivo, Poscosecha y Comercialización de las Pasifloráceas en Colombia: Maracuyá, Granadilla, Gulupa y Curuba. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá. pp:7-18.
- Lovejoy, T. E. (2010). Climate change. IN: Sodhi N. S. and Paul R. Ehrlich. (2010). Conservation Biology for All. New York, Oxford University Press. pp:153-162.
- Lowe, S., M. Browne, S. Boudjelas y M. De Poorter. (2004). 100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Ginebra, Comisión de Supervivencia de Especies (CSE)/UICN, 12pp.
- Mack, R. N., D. Simberloff, y W. M. Lonsdale, (2000). Invasiones Biológicas: Causas, Epidemiología, Consecuencias globales y Control. Washington, Sociedad Norteamericana de Ecología. 15p. (Tópicos en Ecología N° 5).
- McNeely, J.A. and Moina, S.A. 2009. Conservation for a New Era. IUCN, Gland, Switzerland.
- Millennium Ecosystem Assessment - MEA (2005). Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC. <http://www.maweb.org/documents/document.356.aspx.pdf>.
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN), 2000. Primer Informe de País para la Convención sobre Diversidad Biológica. Caracas, MARN.
- Mittelbach, G. G. Community Ecology. (2012). New York, Sinauer Associates Inc.
- Moreno, L. A., Rueda, C. y Andrade, G. I. (Eds.). 2018. Biodiversidad 2017. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 84p.

- Naeem, S. (2002). Ecosystem consequences of biodiversity loss: the evolution of a paradigm. *Ecology*, 83(6):1537–1552.
- Norberg, J. (2004). Biodiversity and ecosystem functioning: A complex adaptive systems approach. *Limnol. Oceanogr.*, 49(4, part 2):1269–1277
- ONU (2021) Segunda Evaluación Mundial de los Océanos, Vol. II. New York, Organización de las Naciones Unidas.
- Pauna, V. H., Picone, F., Le Guyader, G., Buonocore, E., & Franzese, P. P. (2018). The scientific research on ecosystem services: A bibliometric analysis. *Ecological Questions*, 29(3), 53-62.
- Polidoro, B. A., S. R. Livingstone, K. E. Carpenter, B. Hutchinson, R.B. Mast, N. Pilcher, Y. Sadovy de Mitcheson and S. Valenti. (2008). Status of the world's marine species. IN: J. C. Vié, C., Hilton-Taylor and S.N. Stuart (eds.). The 2008 Review of The IUCN Red List of Threatened Species. IUCN, Gland. Switzerland.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA. (2007). Perspectivas del medio ambiente mundial – GEO4: Medio Ambiente para el Desarrollo. Nairobi, PNUMA. 540p.
- Ripple, W. J., & Beschta, R. L. (2012). Trophic cascades in Yellowstone: the first 15 years after wolf reintroduction. *Biological Conservation*, 145(1), 205-213.
- Rockström, J., Beringer, T., Hole, D., Griscom, B., Mascia, M. B., Folke, C., & Creutzig, F. (2021). We need biosphere stewardship that protects carbon sinks and builds resilience. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(38), e2115218118.
- Rodríguez, J. P. y F. Rojas-Suárez (Editores). (2008). Libro Rojo de la Fauna Venezolana, tercera edición. Caracas, Venezuela. Provita y Shell Venezuela, S.A.
- Rodríguez, J. P. y F. Rojas-Suárez. (2010). Libro Rojo de la Fauna Venezolana: actualización periódica de la situación de las especies amenazadas del país. IN: A. Machado-Allison (editor). Simposio Investigación y Manejo de Fauna Silvestre en Venezuela en homenaje al Dr. Juhani Ojasti. Caracas, Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales y Embajada de Finlandia en la República Bolivariana de Venezuela. pp:121-132
- Scherer-Lorenzen, M. (2005) Biodiversity and ecosystem functioning: basic principles. IN: *Biodiversity: Structure and Function*, [Eds. W. Barthlott, K. E. Linsenmair, and S. Porembski]. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Oxford,UK, Eolss Publishers.

- Schüttler, E. y C.S. Karez, (eds). (2009). *Especies exóticas invasoras en las Reservas de Biósfera de América Latina y el Caribe*. Montevideo. UNESCO-Of. Reg. ALyC., 305p.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CBD). (2010) *Global Biodiversity Outlook 3 – Summary for Policy Makers*. Montréal.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CBD). (2020) *Global Biodiversity Outlook 5 – Summary for Policy Makers*. Montréal.
- Sekercioglu, C. H. (2010). Ecosystem functions and services. IN: Sodhi N. S. and Paul R. Ehrlich (Editors). *Conservation Biology for All*. New York, Oxford University Press. pp:45-67.
- Sherpa, S., & Després, L. (2021). The evolutionary dynamics of biological invasions: A multi-approach perspective. *Evolutionary Applications*, 14(6), 1463-1484.
- Simberloff, D. (2010). Invasive species. IN: Sodhi N. S. and Paul R. Ehrlich (Editors). *Conservation Biology for All*. New York, Oxford University Press. pp:131-152.
- Stork, H. and Astrin, J.J. (2014) Trends in Biodiversity Research—A Bibliometric Assessment. *Open Journal of Ecology*, 4, 354-370.
- TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity. (2010). *Biodiversity, ecosystems and ecosystem services*. (Chap. 2) - *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: The Ecological and Economic Foundations*. Nairobi (Ken). UNEP. 96p.
- Thébault, E. and M. Loreau. (2006). The relationship between biodiversity and ecosystem functioning in food webs. *Ecol. Res. (Special suppl.)* 21:17–25
- Tobin, P. C. (2018). Managing invasive species. *F1000Research*, 7. <https://f1000research.com/articles/7-1686/v1>
- Turbé, A., A. De Toni, P. Benito, P. Lavelle, N. Ruiz, W. H. Van der Putten, E. Labouze and S. Mudgal. (2010) *Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers*. Bio Intelligence Service, IRD, and NIOO, Report for European Commission. (DG Environment). 250p.
- UNEP – United Nations Environment Programme. (2007). *Global Environmental Outlook: environment for development (GEO-4)*. 539p.
- UNEP – United Nations Environment Programme. (2010b). *Advancing the biodiversity Agenda: A UN system-wide contribution*.

- UNEP – United Nations Environment Programme. (2012). Global Environmental Outlook: environment for development (GEO-5). 525p.
- Vié, J.C., C. Hilton-Taylor and S.N. Stuart (eds.). (2009). Wildlife in a Changing World – An Analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species. Gland, Switzerland, IUCN. 180p
- Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S., ... & Watson, R. (2006). Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 314(5800):787-790.
- WWF (2022) Living Planet Report 2022 – Building a naturepositive society. Almond, R.E.A., Grooten, M., Juffe Bignoli, D. & Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland.
- WWF. 2016. Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era. WWF International, Gland, Switzerland



ISBN: 978-9942-960-87-0

