

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).