

## Capítulo 2

# Marco conceptual

El marco conceptual de esta investigación se concentró en la concepción de los servicios ecosistémicos y su clasificación, así como también en el análisis de indicadores y en las estrategias para avanzar hacia la recuperación y conservación de los servicios ecosistémicos. A continuación, se desarrollan los conceptos asociados.

### ¿Qué son los servicios ecosistémicos?

En la palabra ecosistema, la parte *eco* se refiere al ambiente, mientras que la parte *sistema* implica que el ecosistema funciona como un conjunto de partes relacionadas, formando una unidad (Smith y Smith, 2007). En consecuencia, los ecosistemas se entienden como aquellos sistemas biológicos constituidos por una comunidad de organismos vivos y por el medio físico donde se relacionan, es decir, se trata de una unidad compuesta por organismos independientes que comparten el mismo hábitat (Smith y Smith, 2007). Un ecosistema es, entonces, una unidad biológica que se encuentra en algún lugar y que dispone de los factores físicos y químicos que conforman su ambiente no vivo. Los ecosistemas están formados por dos componentes que interactúan: el componente vivo o biótico y el componente físico o abiótico (Smith y Smith, 2007). Su comprensión radica en el estudio de ciertos procesos que vinculan sus componentes a través de dos procesos principales: la transformación de energía y el ciclo biogeoquímico (Smith y Smith, 2007).

Alrededor de los años 90 se habló de los favores que ofrece la naturaleza a los seres humanos cuando Costanza *et al.* (1997) los denominaron *servicios ambientales* y desde entonces se apreció su importancia en la toma de decisiones, en relación con los sistemas ecológicos. Sin embargo, luego del año 2000, surgió también el término *servicios ecosistémicos* (Vega, 2016).

En 2003, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM) definió los servicios ecosistémicos como los beneficios que la población puede obtener de los ecosistemas y se pueden clasificar como directos o indirectos (EEM, 2003).

Esta definición ha sido corroborada por la Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) que los define como las contribuciones que hacen los ecosistemas al bienestar humano, es decir, son aquellos servicios que resultan de los ecosistemas (de forma natural, seminatural o modificados) y afectan directamente el bienestar de las personas (Haines-Young y Potschin, 2018). El Estado colombiano, en 2014, señaló, mediante la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), la importancia de realizar un desarrollo nacional basado en el cuidado de los ecosistemas y la biodiversidad, en armonía con las políticas de desarrollo urbano y rural (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2012). En esta política pública se definió a los servicios ecosistémicos como los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad y que son el resultado de la interacción entre los diferentes componentes, estructuras y funciones que constituyen la biodiversidad (MADS, 2012).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) mediante su Programa para la Alimentación y la Agricultura (FAO) incluye el enfoque de los servicios ecosistémicos como uno de sus objetivos estratégicos para garantizar la sostenibilidad en la agricultura y alimentación. La FAO definió los servicios ecosistémicos como la multitud de beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad. La biodiversidad es la diversidad existente entre los organismos vivos que es esencial para la función de los ecosistemas y para que estos presten sus servicios (FAO, 2018). Se estima que la mayor parte de la producción alimentaria depende de que los servicios ecosistémicos y la biodiversidad se gestionen de forma racional, puesto que estos mantienen el buen estado de salud de los suelos, permiten la polinización, regulan las plagas y las enfermedades, entre otras labores (FAO, 2018).

### **Clasificación de los servicios ecosistémicos**

En los últimos años se han generado una variedad de clasificaciones para los servicios ecosistémicos, cuya variación fundamental se identifica en las

categorías en las cuales se agrupan los servicios ecosistémicos. La mayoría de las clasificaciones sugieren dividirlos en cuatro categorías: servicios de soporte, de provisión, de regulación y culturales. Sin embargo, hay clasificaciones que interpolan unos servicios con los otros y otras que suponen a los servicios culturales (y a los demás servicios). Otra diferencia significativa de la clasificación de los servicios ecosistémicos es la asociada con los actores que tienen relación con ellos; hay clasificaciones realizadas por profesionales de áreas técnicas y otras que incluyen a los actores sociales y locales.

En 2005, la EEM explicó que los servicios de los ecosistemas son indispensables para el bienestar y la salud de las personas en todas partes, ya que además de proporcionar las necesidades básicas, los cambios en su flujo afectan los medios de subsistencia, los ingresos, la migración local y el conflicto político; por lo que los impactos resultantes, en términos de seguridad económica, física, de libertad, de elección y de relaciones sociales, tienen impactos sobre el bienestar y la salud (EEM, 2005). En ese sentido, la EEM identificó los servicios clave de los ecosistemas y los clasificó en servicios de provisión, regulación y culturales como aquellos que afectan directamente a las personas; además de los servicios de soporte, que mantienen a los otros servicios (EEM, 2005).

Los servicios de provisión son los productos que se obtienen de los ecosistemas. Los servicios de regulación son los beneficios obtenidos para la regulación de los procesos ecosistémicos. Los servicios culturales son los beneficios inmateriales que las personas obtienen de los ecosistemas, a través del enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas. Y los servicios de soporte son los que son necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos. Estos últimos difieren de los otros tipos de servicios en la medida que los impactos sobre las personas suelen ser indirectos y ocurren a muy largo plazo, mientras que en las demás categorías de servicios son más directos y de impactos rápidos.

La Tabla 1 muestra los servicios que se incluyen en cada uno de los tipos de servicios ecosistémicos y una descripción de cada servicio, que puede asumirse para todas las clasificaciones.

En 2010, TEEB, según lo indica en su página web, se concentró en hacer visibles los valores de la naturaleza, con el objetivo de incorporar los valores de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas en la toma de decisiones, y a todos los niveles, a través del reconocimiento de la amplia gama de beneficios que brindan los ecosistemas y la biodiversidad, de la demostración de sus cualidades en términos económicos, y de sugerir cómo capturar esos valores en la toma de decisiones (<https://teebweb.org>). El enfoque de TEEB se hace desde el punto de vista económico, ya que considera que los flujos de los servicios ecosistémicos pueden considerarse como el dividendo que la sociedad recibe del capital natural; y sostiene que el mantenimiento de las reservas de capital natural permite el suministro sostenido de flujos de servicios ecosistémicos de cara al futuro, de modo que contribuye con la continuidad del bienestar humano (TEEB, 2010).

Además del enfoque economicista, TEEB considera que es necesario entender el funcionamiento de los ecosistemas, cómo proporcionan sus servicios y cómo podrían verse afectados por las presiones. Para ello, es necesario recurrir a los conocimientos especializados de las ciencias naturales y así lograr entender el vínculo entre la biodiversidad y el suministro de los servicios ecosistémicos, incluida su capacidad para seguir ofreciendo servicios bajo distintas circunstancias (TEEB, 2010). Básicamente, TEEB se adhiere a la clasificación de los servicios ecosistémicos ofrecida por la EEM, pero hace énfasis en el mantenimiento de los ecosistemas, de tal manera que la degradación a la cual se han visto sometidos no llegue a umbrales de no retorno, punto que no se conoce exactamente, pues hay un nivel de incertidumbre con respecto a la capacidad de los distintos ecosistemas de soportar los impactos antes de sufrir daños irreversibles (TEEB, 2010).

**Tabla 1. Lista de servicios ecosistémicos según su tipo**

| Servicios ecosistémicos                         | Descripción  |
|---|--|
| <b>Soporte</b>                                  |  |
| Formación del suelo                             | Formación de las características del suelo que lo hacen fértil.  |
| Fotosíntesis                                    | Producción de oxígeno necesario para la mayoría de los organismos vivos.   |
| Producción primaria                             | Asimilación o acumulación de energía y nutrientes por parte de los organismos.   |
| Ciclo de nutrientes                             | Producción de aproximadamente 20 nutrientes esenciales para la vida, entre ellos el nitrógeno y el fósforo, que hacen parte de los ecosistemas.  |
| Ciclo del agua                                  | Circulación del agua a través de los ecosistemas, que es esencial para los organismos vivos.   |
| <b>Regulación</b>                               |  |
| Regulación de la calidad del aire               | Capacidad de los ecosistemas de contribuir o extraer productos químicos de la atmósfera para mejorar la calidad del aire.  |
| Regulación del clima                            | Capacidad de los ecosistemas de influir en el clima a escala local o global. Por ejemplo: el secuestro o emisión de gases efecto invernadero.  |
| Regulación del agua                             | Capacidad de los ecosistemas para regular el momento y la magnitud de la escorrentía, las inundaciones y la recarga de los acuíferos, que puede afectarse por cambios en la cobertura del suelo, y que puede alterar el potencial de almacenamiento de agua del sistema. |
| Control de la erosión                           | Capacidad de la cobertura vegetal de retener el suelo y prevenir los deslizamientos de tierra.   |
| Purificación del agua y tratamiento de residuos | Capacidad de los ecosistemas de filtrar el agua y descomponer los desechos orgánicos introducidos en aguas continentales, costeras y marinas, para asimilar y desintoxicar   |

Continúa

| Servicios ecosistémicos                           | Descripción   |
|---|---|
|   | compuestos a través de procesos del suelo y subsuelo.   |
| Control de enfermedades                           | Capacidad de los ecosistemas de prevenir enfermedades.  |
| Regulación de plagas                              | Capacidad de los ecosistemas de prevenir la prevalencia de plagas agrícolas y ganaderas.  |
| Polinización                                      | Las características de los ecosistemas afectan la distribución, abundancia y efectividad de los polinizadores.  |
| Regulación de peligros naturales                  | Capacidad de los ecosistemas de prevenir desastres. Por ejemplo: la presencia de ecosistemas costeros puede reducir el daño causado por huracanes u olas grandes. |
| Provisión   |   |
| Alimentos   | Amplia gama de alimentos, productos derivados de plantas, animales y microbios.   |
| Fibras  | Productos de madera, yute, algodón, cáñamo, seda y lana.  |
| Combustibles                                      | Productos que sirven como fuente de energía como la madera, el estiércol y otros materiales biológicos.   |
| Recursos genéticos                                | Genes e información genética utilizada para animales, fitomejoramiento y biotecnología.   |
| Bioquímicos y medicinas naturales y farmacéuticas | Productos que se derivan de los ecosistemas como medicamentos, biocidas, aditivos alimentarios como alginatos y materiales biológicos.                            |
| Recursos ornamentales                             | Productos animales y vegetales como pieles, conchas y flores, que se usan como adornos y se utilizan para jardinería y ornamentación.                             |
| Agua fresca                                       | Capacidad de los ecosistemas para suministrar agua dulce. Este servicio puede considerarse dentro de todas las categorías.  |

Continúa

| Servicios ecosistémicos           | Descripción   |
|-----------------------------------|---|
| Culturales                        |   |
| Diversidad cultural               | La diversidad de los ecosistemas influye en la diversidad de las culturas.  |
| Valores espirituales y religiosos | Los ecosistemas o sus componentes aportan valores espirituales a las religiones.  |
| Conocimiento de los sistemas      | Los ecosistemas influyen en los tipos de conocimiento de diversos sistemas (tradicionales y formales) desarrollados por diferentes culturas.  |
| Valores educativos                | Los ecosistemas y sus componentes y procesos proporcionan la base para educación formal e informal en las sociedades.   |
| Inspiración                       | Los ecosistemas proporcionan una fuente de inspiración para el arte, el folclor, los símbolos nacionales, la arquitectura y la publicidad.  |
| Valores estéticos                 | La belleza y estética de los ecosistemas genera valor para las personas. Por ejemplo: el apoyo a parques o ubicaciones de viviendas mejoran su valor por los ecosistemas alrededor. |
| Relaciones sociales               | Los ecosistemas influyen en los tipos de relaciones sociales que se establecen en las diferentes culturas.  |
| Sentido de lugar                  | Valoración de los lugares que se asocia con características reconocidas del entorno, incluidos aspectos de los ecosistemas.   |
| Valores de patrimonio cultural    | Valoración que dan las sociedades a los paisajes o a las especies de importancia histórica cultural.  |
| Recreación y ecoturismo           | Posibilidad de elección de las personas sobre dónde pasar el tiempo libre, con base en las características de los paisajes, naturales o cultivados, de un área en particular.       |

Fuente: adaptación de la EEM (2003) y de TEEB (2010).

La World Wildlife Fund, mejor conocida por su sigla WWF, en 2018, generó una categorización de los servicios ecosistémicos (ver Figura 1), y la ilustró como un ciclo en el cual la humanidad satisface sus necesidades mediante el uso, en alguna medida, de los mismos (WWF, 2018). Además, organizó los servicios ecosistémicos entre directos e indirectos. Los servicios directos, conocidos como servicios de soporte, aparte de ser servicios independientes, sirven de base para los demás. Por su parte, los servicios ecosistémicos indirectos han sido reconocidos como servicios de regulación, aprovisionamiento o de suministro; y como servicios culturales.



**Figura 1. Clasificación de los servicios ecosistémicos.**

Fuente: WWF (2018).

Actualmente, en el marco conceptual de los servicios ecosistémicos existe una clasificación internacional de referencia, la cual ha sido denominada Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), elaborada por la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA) y revisada por el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económico, que es dirigido por la División de Estadística de las Naciones Unidas. Esta clasificación no reemplaza a otras, sino que permite identificar la información de los servicios más fácilmente (CICES, 2021). Además, la CICES reconoce que las principales categorías de

productos de los ecosistemas son el suministro o provisión, la regulación y los servicios culturales, sin incluir los servicios de apoyo que son parte de las estructuras, procesos y funciones subyacentes que caracterizan a los ecosistemas; y que se consumen o utilizan indirectamente o facilitan la existencia de otros productos de los ecosistemas.

La CICES incluye 96 servicios ecosistémicos que se pueden identificar en distintos ecosistemas, y se divide en cinco niveles. El nivel o sección más general es el que corresponde a los servicios de provisión, regulación y culturales. En el siguiente nivel se encuentran divisiones, luego grupos, hasta llegar al nivel de las clases y, después, los tipos de clases. Cada nivel es progresivamente más detallado y específico que el anterior, por lo que cada uno aporta información cada vez más detallada sobre el respectivo servicio (CICES, 2021; Haines-Young y Potschin, 2018).

Los servicios de provisión están relacionados con las materias primas que se pueden obtener de los ecosistemas. Pueden ser bióticos, cuando se relacionan con organismos vivos como fuente de alimento, con materiales para producción textil o con partes de organismos que se pueden usar como biomasa. También hay servicios de provisión que se obtienen de elementos abióticos, como, por ejemplo, el agua o materiales minerales que se pueden consumir de manera directa; los materiales de construcción o fuentes de energía también se consideran elementos abióticos (Creando Redes, 2022).

Los servicios de regulación están relacionados con el funcionamiento de los ecosistemas. Debido a su diversidad, se dividen en dos grandes grupos que incluyen distintos procesos ecológicos: la transformación de insumos químicos o físicos en los ecosistemas (capacidad de los organismos para acumular de manera biológica las toxinas y contaminantes) y la regulación de las condiciones físicas, químicas y biológicas (incluye el control de la erosión, la atenuación de ruidos, la protección contra incendios, los servicios de polinización y la capacidad de secuestro de carbono) (Creando Redes, 2022).

Por otra parte, los servicios culturales son los bienes y servicios que los seres humanos obtienen de la interacción con la naturaleza, ya sea de manera directa, a través del uso y disfrute u observación de esta, o de manera indirecta, mediante la educación ambiental o el valor de legado o existencia que tienen las especies o los paisajes (Creando Redes, 2022). La Tabla 2 muestra un ejemplo sobre la forma de clasificar un servicio ecosistémico.

**Tabla 2. Ejemplo de clasificación de un servicio ecosistémico según la CICES.**

| Nivel         | Ejemplo   |
|---------------|---|
| Sección       | Provisión.  |
| División      | Biomasa.  |
| Grupo         | Plantas terrestres cultivadas para nutrición, materiales o energía.   |
| Clase         | Plantas terrestres cultivadas con fines nutricionales.  |
| Tipo de clase | Cereales (contribución ecológica al crecimiento de cultivos terrestres que se pueden cosechar y utilizar como materia prima para la producción de alimentos). |

Fuente: adaptado de CICES (2021).

Por otra parte, el Panel Intergubernamental para la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos generó una clasificación alternativa para las *contribuciones de la naturaleza para las personas* (NCP por su sigla en inglés), con base en la EEM. Estas contribuciones recogen una amplia variedad de descripciones de las interacciones entre los seres humanos y la naturaleza, a través de los servicios de los ecosistemas y otras descripciones que van desde las interacciones más funcionales hasta las más relacionales (IPBES, 2019). Las NCP surgen debido a la dominancia de las ciencias económicas y ecológicas en el marco conceptual de los servicios ecosistémicos, por lo cual estas incluyen el rol de los contextos culturales y saberes tradicionales para abordar los beneficios de la naturaleza desde una visión más integral, que reconozca la importancia de los actores locales en la planificación y evaluación de los servicios

ecosistémicos (Gómez, 2020; IPBES, 2019). Es decir, esta clasificación resalta que los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas no son solo productos básicos, sino que también trata de poner de manifiesto la importancia del valor cultural que la naturaleza tiene para la sociedad. En consecuencia, las clasificación está basada en cómo los humanos experimentan con la naturaleza (Creando Redes, 2022). Por ejemplo, los alimentos no se consideran solo por su valor nutritivo, calórico o económico, sino también por su componente asociado con las identidades culturales, el arte y el disfrute humano (Creando Redes, 2022; Díaz *et al.*, 2018a).

Por consiguiente, las contribuciones de la naturaleza para las personas no solo se basan en los aportes de productos básicos, sino que también consideran la importancia social, cultural, espiritual y religiosa de la naturaleza para las personas, logrando una clasificación equitativa que incluye diversos sistemas de conocimiento y distintas perspectivas en los procesos de evaluación (Díaz *et al.*, 2018a). Las NCP reúnen contribuciones benéficas para los seres humanos, como la provisión de alimentos, la purificación del agua, la inspiración artística, entre otras. Pero también reúne aquellas contribuciones de la naturaleza que van en detrimento de las personas, como aquellas que generan transmisión de enfermedades o causan perjuicios. El considerar una contribución como positiva o negativa puede depender de los aspectos culturales y socioeconómicos; así como del tiempo o del contexto espacial (Díaz *et al.*, 2018a). Vale aclarar que las NCP también incluyen dieciocho servicios que se clasifican en tres grandes grupos: los materiales, los no materiales y los de regulación.

La importancia de reconocer los aspectos culturales y el conocimiento tradicional de las comunidades en las relaciones entre los seres humanos y la naturaleza ha llevado a definir las NCP como todas las contribuciones, tanto positivas como negativas, que la naturaleza le brinda a la gente, dado que la naturaleza es la combinación de organismos, ecosistemas y funciones que, dependiendo del contexto cultural y socioeconómico, son

percibidos como beneficiosos o dañinos. Por lo tanto, las NCP se clasifican a través de dos perspectivas: la perspectiva generalizada, que hace referencia al panorama técnico de las ciencias naturales y económicas; mientras que la perspectiva contextual muestra la visión de los conocimientos locales que surgen de las experiencias vividas en el territorio (Gómez, 2020).

Las NCP difieren de la EEM en diversas formas. Inicialmente, las NCP reconocen que la cultura juega un papel definitivo a la hora de definir las interacciones entre las personas y la naturaleza. Segundo, las NCP eleva, enfatiza y operacionaliza el rol de las comunidades indígenas y el conocimiento local en el entendimiento de las contribuciones de la naturaleza a las personas. Y tercero, dichas contribuciones requiere involucrar una amplia gama de partes interesadas, que abarcan desde profesionales de las ciencias naturales, sociales, humanas y de la ingeniería, hasta los pueblos indígenas y comunidades locales en cuyo territorio se ubica gran parte de la biodiversidad (Díaz *et al.*, 2018a). De modo que las NPC implican que los servicios ecosistémicos no se miran solo desde el punto de vista ecológico y económico, con el cual se da valor económico a la naturaleza, sino que también se consideran los aspectos sociales y culturales que son la base de las interacciones entre las personas y la naturaleza. Además, esta mirada supone que los servicios ecosistémicos son coproducidos por la naturaleza y las personas, de acuerdo con distintos enfoques culturales (Díaz *et al.*, 2018a).

La clasificación NCP supone dos perspectivas. Para explicarlo basta con el siguiente ejemplo: la agricultura de alta diversidad se enmarca en procesos que combinan los insumos biológicos con los tecnológicos para maximizar los rendimientos, lo que se denomina perspectiva generalizada; pero la agricultura también puede verse como una práctica de cuidado, a través de relaciones sociales y su conexión con entidades espirituales, enmarcada en la perspectiva contexto-específica. Estas dos formas de agricultura, aunque se presentan como extremos, pueden

también entremezclarse para reconstruir el conocimiento entre disciplinas (Díaz *et al.*, 2018a).

La perspectiva generalizada es la típica de las ciencias naturales y de la economía. Y es fundamentalmente analítica, suponiendo la provisión de servicios de la naturaleza a las personas. Las NCP, dentro de esta perspectiva, identifica dieciocho categorías de servicios ecosistémicos, divididas en tres grupos: los servicios reguladores, los materiales y los inmateriales, de acuerdo con el tipo de contribución que realizan para mejorar la calidad de vida de los seres humanos (Díaz *et al.*, 2018a). Las contribuciones materiales aluden a aquellos elementos materiales de la naturaleza que sustentan la existencia física y los activos materiales de las personas; por ejemplo: cuando los organismos se transforman en alimentos, energía o materiales ornamentales. Las contribuciones inmateriales son los efectos de la naturaleza sobre aspectos subjetivos o psicológicos que sustentan la calidad de vida de las personas, como por ejemplo: los bosques o arrecifes de coral, que brindan oportunidades de recreación e inspiración a las personas. Y finalmente, las contribuciones reguladoras son aquellas que afectan la calidad de vida de las personas de manera indirecta, como los organismos del suelo, que permiten el suministro de nutrientes a las plantas, que son las que benefician directamente a los seres humanos. Cabe añadir que los aspectos culturales son transversales a estos tres grupos, que a su vez se superponen, ya que cada servicio ecosistémico puede hacer parte de más de un grupo (Díaz *et al.*, 2018a). La Tabla 3 muestra las contribuciones de la naturaleza para las personas con su respectiva categoría y traslazo.

Por otra parte, la perspectiva de contexto-específica es la típica del conocimiento local e indígena, que no busca extenderse o validarse más allá de áreas geográficas y contextos locales específicos. Esta perspectiva no incluye categorías definidas, ya que dependen totalmente del contexto y de la importancia cultural o espiritual que tengan las contribuciones de la naturaleza para los actores locales (Díaz *et al.*, 2018a).

**Tabla 3. Contribuciones de la naturaleza a las personas.**

| NCP  | Contribuciones materiales | Contribuciones inmateriales | Contribuciones de regulación | Descripción   |
|--|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---|
| 1. Creación y mantenimiento de hábitats  |                           |                             |                              | Formación y producción continua de las condiciones ecológicas en los ecosistemas necesarias o favorables para los organismos que son importantes para los humanos. Ejemplos: sitios de anidación, áreas de descanso y de hibernación de mamíferos, áreas de migración de aves y mariposas, etc.   |
| 2. Polinización y dispersión de semillas y otros propágulos                                |                           |                             |                              | Movimiento por parte de animales y de polen entre flores, y dispersión de semillas, larvas o esporas de organismos importantes para los seres humanos.  |
| 3. Regulación de la calidad del aire   |                           |                             |                              | Regulación por parte de los ecosistemas de CO <sub>2</sub> y O <sub>3</sub> para la absorción de rayos UV-B, niveles de óxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, partículas aerosoles; además de filtración, fijación, degradación o almacenamiento de contaminantes que afectan la salud humana o la infraestructura.   |
| 4. Regulación del clima  |                           |                             |                              | Regulación del clima por parte de los ecosistemas mediante: efectos positivos o negativos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, efectos positivos o negativos sobre la retroalimentación biofísica de la cubierta vegetal a la atmósfera, procesos directos e indirectos que involucran compuestos orgánicos volátiles biogénicos, y regulación de aerosoles y precursores de aerosoles.  |
| 5. Regulación de la acidificación de los océanos   |                           |                             |                              | Control por parte de organismos fotosintéticos de concentraciones de CO <sub>2</sub> en la atmósfera y del pH del agua del mar, los cuales afectan los procesos de calcificación asociados con muchos procesos de organismos marinos importantes para los seres humanos.  |
| 6. Regulación de la cantidad, de la ubicación y de la distribución temporal del agua dulce |                           |                             |                              | Regulación por parte de los ecosistemas de la cantidad, ubicación y momento del flujo de aguas superficiales y subterráneas utilizadas para el consumo, riego y transporte; como energía hidroeléctrica y como apoyo a contribuciones no materiales; además de la regulación del flujo de hábitats naturales dependientes del agua que, a su vez, afecta positiva o negativamente a las personas río abajo. Modificación de los niveles de agua subterránea que puede mejorar la salinización de las tierras secas. |
| 7. Regulación de la calidad del agua dulce y costera                                       |                           |                             |                              | Regulación por parte de los ecosistemas u organismos particulares, a través de la filtración de partículas, patógenos, exceso de nutrientes y otros productos químicos, según la calidad del agua utilizada.  |
| 8. Formación, protección y descontaminación de suelos y sedimentos                         |                           |                             |                              | Retención de sedimentos y control de la erosión, formación y mantenimiento de la estructura y de los procesos del suelo que se reflejan en la continua fertilidad de los suelos, importantes para los seres humanos; además de la filtración, fijación, degradación o almacenamiento de sustancias contaminantes químicas y biológicas en suelos y sedimentos importantes para los seres humanos.   |



| NCP  | Contribuciones materiales | Contribuciones inmateriales | Contribuciones de regulación | Descripción  |
|--|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|--|
| 9. Regulación de riesgos y fenómenos extremos                    |                           |                             |                              | Mejora, por parte de los ecosistemas, de los impactos sobre los seres humanos o sobre la infraestructura, causados por inundaciones, vientos, tormentas, huracanes, intrusión del mar, olas de calor, altos niveles de ruido, entre otros. Además de la reducción de peligros como deslizamientos de tierra o avalanchas.  |
| 10. Regulación de organismos y procesos biológicos perjudiciales |                           |                             |                              | Regulación, por parte de los ecosistemas, de plagas, patógenos, depredadores, competidores, entre otros, que afectan a los seres humanos, a las plantas y a los animales. Por ejemplo, regulación por parte de depredadores o parásitos del tamaño de la población de animales importantes no dañinos, regulación de la abundancia o distribución de organismos potencialmente nocivos para el paisaje, extracción de cadáveres de animales o humanos por parte de carroñeros, regulación del deterioro biológico y degradación de la infraestructura. |
| 11. Energía  |                           |                             |                              | Producción de combustibles a base de biomasa, como, por ejemplo, cultivos para combustibles, desechos animales, leña, entre otros.   |
| 12. Alimentos  |                           |                             |                              | Producción de alimentos a partir de organismos silvestres, gestionados o domesticados, como pescado, carne de vaca, aves de corral, caza, productos lácteos, cultivos comestibles, setas, carne de animales silvestres, miel, frutos y tubérculos comestibles. Además de producción de alimentos para animales domésticos.   |
| 13. Materiales y asistencia                                      |                           |                             |                              | Producción de materiales, derivados de organismos en cultivos o ecosistemas silvestres, para la construcción, confección, impresión o con fines ornamentales; además del uso directo de organismos vivos para decoración, transporte, mano de obra o como mascotas.  |
| 14. Recursos medicinales, bioquímicos y genéticos                |                           |                             |                              | Producción de materiales derivados de organismos usados para propósitos médicos y veterinarios; aparte de la producción de genes e información genética usada para cría de animales y de plantas, y para biotecnología.  |
| 15. Aprendizaje e inspiración                                    |                           |                             |                              | Provisión de paisajes marinos, hábitats u organismos; y de oportunidades para el desarrollo de las capacidades que permiten a los humanos prosperar a través de la educación, adquisición de conocimientos y desarrollo de habilidades para el bienestar; información científica e inspiración para el arte y el diseño tecnológico.   |
| 16. Experiencias físicas y psicológicas                          |                           |                             |                              | Provisión de paisajes marinos, hábitats u organismos; y de oportunidades para actividades físicas y psicológicamente beneficiosas, curación, relajación, recreación, ocio, turismo y disfrute estético, basado en el contacto estrecho con la naturaleza.  |

| NCP                           | Contribuciones materiales | Contribuciones inmateriales | Contribuciones de regulación | Descripción   |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---|
| 17. Apoyo e identidades       |                           |                             |                              | Paisajes terrestres, paisajes marinos, hábitats u organismos importantes para ciertas religiones; provisión de oportunidades por parte de la naturaleza para que las personas desarrollen un sentido, propósito, pertenencia, enraizamiento o conexión con el lugar, asociados con diferentes entidades del mundo vivo; base para narrativas, mitos, rituales y celebraciones proporcionados por la naturaleza; fuente de satisfacción derivada por conocer un paisaje en particular, un paisaje marino, un hábitat o especies.                           |
| 18. Mantenimiento de opciones |                           |                             |                              | Capacidad de los ecosistemas, hábitats, especies o genotipos para mantener las opciones de los seres humanos de acceder a la naturaleza y contribuir con una buena calidad de vida. Beneficios asociados con la existencia continua de una amplia variedad de especies, poblaciones y genotipos. Beneficios o amenazas futuros derivados de mantener abiertas las posibilidades de descubrimientos. Usos imprevistos de organismos particulares o ecosistemas que ya existen. Beneficios futuros que se pueden anticipar a partir de evolución biológica. |

Fuente: adaptado de Díaz *et al.* (2018b) e IPBES (2017).

Cualquiera de las clasificaciones de los servicios ecosistémicos (ya que tienen coincidencias) puede ser aplicada para evaluarlos; y la sugerencia es que se use una u otra de acuerdo con las características del ecosistema. Usualmente, la evaluación de un ecosistema se hace para determinar su salud y la posibilidad de seguir proveyendo los servicios. Por lo tanto, es necesario conocer el funcionamiento del sistema ecológico, pero también su contexto social y político en los cuales los servicios ecosistémicos son utilizados (Camacho y Luna, 2012).

### Indicadores de análisis de servicios

El suministro de servicios ecosistémicos en el presente (y para las generaciones futuras) depende de realizar un uso sostenible de los territorios que proveen tales servicios (Rodríguez-Loínaz *et al.*, 2019). Una de las formas de evaluar esa sostenibilidad es a través de indicadores, puesto que ellos permiten medir los componentes de un ecosistema, el cual

que proporciona formas prácticas y económicas de rastrear alguna condición (Weilhoefer, 2011); sobre todo, cuando la representación espacial de los servicios ecosistémicos es a través de indicadores socioecológicos (Nahuelhual *et al.*, 2016).

Hay una gran cantidad de criterios para definir un indicador ideal, entre los que se destacan: que cuente con una base científica, que responda al estrés del ecosistema de manera predecible, que sea fácil de medir e interpretar, que sea de bajo costo económico y que sea relevante para los gestores ambientales y tomadores de decisiones (Carvajal-Oses *et al.*, 2019). No obstante, los indicadores no generan cambios en el comportamiento, sino que hacen visible una problemática para priorizarla (Hak *et al.*, 2018); dicho de otro modo: ayudan a generar información ambiental para monitorear los fenómenos con base en la evidencia. Por lo que los indicadores son una herramienta para transformar información en conocimiento social (Karis *et al.*, 2019). Una batería de indicadores debería formularse de manera holística

y de acuerdo con las características específicas del ecosistema a analizar. No obstante, un conjunto de indicadores debería reconocer no solo las interacciones de los ecosistemas sino también los roles de los parámetros ambientales y las perspectivas sociales, económicas e institucionales (Borja *et al.*, 2009; Carvajal-Oses *et al.*, 2019; Yáñez-Arancibia *et al.*, 2010). En este sentido, los indicadores deberían considerarse como ambientales, sociales, económicos y de servicios ecosistémicos.

Los indicadores ambientales permiten evaluar la condición de salud ecológica de los ecosistemas, como número de aves, integridad abiótica, cambios temporales de uso del suelo, ciclos biogeoquímicos, biomasa arbórea, número de invertebrados, entre otros (Carvajal-Oses *et al.*, 2019). Los indicadores sociales suponen que la sostenibilidad es una condición que mejora la vida dentro de las comunidades y se manifiesta por un sentido de cohesión en el que las personas viven, trabajan y prosperan en un entorno equitativo (Datta *et al.*, 2012), considerando que el ser humano se sitúa en un contexto social y psicológico, en el que resaltan sus necesidades, su bienestar y sus emociones (James *et al.*, 2013). Entre los indicadores sociales se pueden incluir el valor terapéutico de los ecosistemas, el valor de amenidad, el valor de patrimonio, el valor espiritual y el valor de existencia (Carvajal-Oses *et al.*, 2019); además del espíritu de cooperación entre la comunidad, el tiempo en familia y las percepciones acerca del ecosistema (Datta *et al.*, 2010); así como la alimentación, la salud y la educación (Glaser *et al.*, 2010). Por su parte, los indicadores económicos están asociados con los diversos usos que se aprovechan del ecosistema y a los que se puede asignar un costo monetario, tales como el empleo, el turismo y la extracción, entre otros (Carvajal-Oses *et al.*, 2019).

Es recomendable considerar en la gestión de la sostenibilidad de los ecosistemas aspectos como la existencia de consideraciones técnicas para establecer planes regulatorios para el aprovechamiento sostenible, la colaboración equitativa y armoniosa entre las partes interesadas (instituciones estatales, organizaciones de base comunitaria, sector privado, etc.), y la necesidad del consumo de los servicios

ecosistémicos. Por lo que hay que evitar la dicotomía entre naturaleza y pobreza, y fomentar la importancia de que las prácticas de consumo deben construirse con base en las necesidades de las comunidades; así mismo, dependiendo del servicio ecosistémico, hay que impulsar la importancia de armonizar las prácticas de consumo, al considerar las cuencas hidrográficas como unidad de análisis (Carvajal-Oses *et al.*, 2019; Kusmana, 2015; Vande Velde *et al.*, 2019). Vale aclarar que, en la actualidad, se promueve la participación comunitaria, a través de la educación ambiental y del desarrollo de políticas de conservación, para motivar y movilizar a las personas hacia el cuidado de la naturaleza (Carvajal-Oses *et al.*, 2019; Eppinga *et al.*, 2019).

Por otro lado, los servicios ecosistémicos se proporcionan en sistemas socioecológicos complejos e interconectados, que se caracterizan por tener factores determinantes biofísicos y sociales que interactúan entre sí (Carvajal-Oses *et al.*, 2019; Tanner *et al.*, 2019). De manera que los servicios ecosistémicos han permitido evaluar económicamente los recursos naturales y ser fuente de información para tomadores de decisiones; por lo que sus indicadores deben hacer referencia a los beneficios para las comunidades y no a procesos biológicos como pueden ser la distribución, abundancia y sobrevivencia de las especies (Olander *et al.*, 2018). Además, hay que señalar que los indicadores de los servicios ecosistémicos suelen estar relacionados con valores económicos, ya sea por tener un precio directo en el mercado (lo que no es común para bienes y servicios de la naturaleza) o por valoración indirecta a través de métodos contingentes (Carvajal-Oses *et al.*, 2019). Ante estas sugerencias de los indicadores, es necesario entender que, a la hora de evaluar servicios ecosistémicos, es recomendable seleccionar distintos indicadores en función de los objetivos de la evaluación. Por ejemplo: no se usarían los mismos indicadores para un estudio que pretende comunicar que para los de un estudio que busca investigar (Nahuelhual *et al.*, 2016).

Por otra parte, cabe preguntarse: ¿por qué son importantes los indicadores? La respuesta es: porque simplifican la información de manera que esta

pueda ser comunicada y entendida con facilidad; sin contar que facilitan la toma de decisiones con base en evidencia concreta, y permiten identificar y priorizar intervenciones, monitorear el progreso de objetivos, e informar acciones de corrección de manera efectiva. En el marco de los servicios ecosistémicos, los indicadores permiten conocer y entender la condición, tendencias y tasas de cambio de los mismos (Nahuelhual *et al.*, 2016).

La vereda Tocotá, zona de estudio de esta investigación, se ha convertido en una fuente de servicios ecosistémicos, gracias a que es uno de los lugares de descanso de los habitantes de Cali, pues su ubicación, a solo 8 km de los límites de la ciudad por el occidente, la ha convertido en un lugar de fácil acceso, que se caracteriza por un clima acogedor y ser un buen lugar para disfrutar de la naturaleza a pocos minutos del calor y bullicio de la ciudad. En ese sentido, los servicios ecosistémicos que más se evidencian en la zona de estudio son los culturales, principalmente aquellos que se obtienen de la interacción directa con la naturaleza, como por ejemplo: la realización de actividades deportivas y de ocio, y la contemplación del paisaje. También se evidencian servicios ecosistémicos de abastecimiento, aprovechados principalmente por los residentes en la localidad. Los servicios culturales que ofrecen los ecosistemas en Tocotá producen gran interés, debido a que son los espacios que tienen los habitantes urbanos para entrar en contacto directo con la naturaleza, estando muy cerca de la ciudad. Estudios indican que la producción de este tipo de servicios depende tanto de factores ecológicos como de factores sociales, ya que son resultado del procesamiento de información del entorno biofísico a través de los sentidos humanos (Baat y de Groot, 2012; Karis *et al.*, 2019). Sin embargo, otros estudios apuntan a que su generación depende de las características de la infraestructura ecológica, como la superficie, la distribución de los elementos que la componen y la proximidad que tienen con los habitantes (Karis *et al.*, 2019; Karis y Ferraro, 2017; Reyes Páeck y Figueroa Aldunce, 2010). Es así cómo, para evaluar la situación de una localidad, en relación con su infraestructura ecológica y sus servicios ecosistémicos, pueden usarse indicadores de procesos que

puedan ser cuantificados, con base en las estructuras que los proveen o de sus funciones (De la Barra *et al.*, 2016); por lo que podrían cuantificarse los espacios “verdes” disponibles que son accesibles y los que son las principales proveedoras de los servicios ecosistémicos por su mayor superficie (Karis *et al.*, 2019).

Nahuelhual *et al.* (2016) identificaron, a través de una revisión de literatura científica, que los indicadores no suelen usarse de manera repetida, sino que puede haber un sinnúmero de estos para medir cada servicio ecosistémico; lo que podría sugerir que los indicadores, en cada estudio, se formulan de acuerdo con las necesidades del estudio, con la información que se requiere recopilar o con las características de la zona de estudio y la información que sea posible conseguir; es decir, los indicadores que se desarrollan se generan según las áreas de estudio y, así mismo, se define su escala (comunidad, municipio, país, cuenca, entre otros) (Nahuelhual *et al.*, 2016). Por otra parte, los indicadores también pueden construirse de diferentes tipos, de acuerdo con el interés de la información, por lo que pueden estar basados en valores económicos, en opiniones de expertos, en percepción de los actores involucrados, en resultados, en procesos y, principalmente, en capacidades. No obstante, y de acuerdo con lo descrito hasta ahora, la Tabla 4 muestra ejemplos de qué indicadores pueden usarse para la evaluación de servicios ecosistémicos, donde se destacan los indicadores relacionados con el abastecimiento de agua y de alimentos, y los servicios culturales.

**Tabla 4. Revisión de indicadores que han sido utilizados para medir servicios ecosistémicos.**

| Servicio ecosistémico | Indicador  |
|-----------------------|--|
| Regulación del suelo  | Superficie verde por habitante (mide la extensión de áreas verdes existentes en relación con el número de habitantes). |
| Regulación del suelo  | Distribución de la superficie verde (mide la participación de cada zona en la superficie total de áreas verdes).       |
| Alimentos             | Producción extensiva de alimentos.   |

Continúa

| Servicio ecosistémico         | Indicador   |
|-------------------------------|---|
| Agua dulce                    | Precipitación disponible.   |
| Materias primas               | Existencias maderables en plantaciones forestales.                                |
| Acerbo genético               | Número de hábitats.   |
| Regulación climática          | Balance de carbono.   |
| Regulación hídrica            | Cobertura de bosques naturales y superficie forestal potencial.                   |
| Regulación hídrica            | Cobertura de bosques riparios en márgenes de ríos.                                |
| Regulación hídrica            | Capacidad de retención de agua en la capa superior del suelo.                     |
| Regulación hídrica            | Capacidad de infiltración del suelo.  |
| Fertilidad del suelo          | Contenido de carbono orgánico en el suelo.  |
| Control de erosión            | Porcentaje del municipio que no evidencia erosión.                                |
| Perturbaciones naturales      | Superficie inundable no artificial.   |
| Regulación biológica          | Superficie cultivada en áreas no artificiales.                                    |
| Polinización                  | Superficie de ecosistemas que ofrecen hábitats y alimento a polinizadores.        |
| Polinización                  | Número de colmenas.   |
| Recreación y turismo          | Infraestructuras turísticas para el turismo rural.                                |
| Recreación y turismo          | Número de cimas catalogadas.  |
| Recreación y turismo          | Número de áreas de escalada permitida.  |
| Recreación y turismo          | Longitud de senderos, rutas, entre otros.   |
| Educación ambiental           | Número de infraestructuras dirigidas a la educación ambiental.                    |
| Disfrute estético del paisaje | Grado de naturalidad del paisaje.   |
| Disfrute estético del paisaje | Diversidad de paisajes.   |
| Disfrute estético del paisaje | Número de hitos paisajísticos, árboles singulares y lugares de interés geológico. |

Continúa

| Servicio ecosistémico                | Indicador  |
|--------------------------------------|--|
| Identidad cultural                   | Número de ferias agroganaderas y romerías.   |
| Conocimiento tradicional             | Número de artesanos.   |
| Diversidad natural                   | Superficie con protección especial.  |
| Diversidad natural                   | Cobertura de hábitats de interés comunitario.  |
| Diversidad natural                   | Superficie no artificial.  |
| Diversidad natural                   | Índice de presión demográfica (densidad de población humana).  |
| Abastecimiento de agua               | Cantidad de lluvia anual que es evapotranspirada.  |
| Abastecimiento de agua               | Cantidad de agua total disponible en una cuenca.   |
| Abastecimiento de agua               | Suma de huellas de agua subterráneas de los acuíferos.   |
| Abastecimiento de agua               | Precipitación media anual.   |
| Abastecimiento de agua               | Proporción de áreas cubiertas por ecosistemas con agua fresca.   |
| Abastecimiento de agua               | Presencia o ausencia de humedales en el sitio de observación.  |
| Regulación de la calidad del agua    | Existencia de áreas de amortiguación en la cuenca.   |
| Carácter natural                     | Producto del tamaño del ecosistema y su calidad.   |
| Valor natural                        | Influencia humana en el paisaje y la flora.  |
| Indicador de naturaleza              | Proporción de formas de uso de suelo extensivas.   |
| Beneficios culturales y espirituales | Entrevistas para determinar aspectos sociales y ambientales del área de estudio.   |
| Características del paisaje cultural | Fotos de elementos individuales del paisaje, que representan sus atributos; y fotos aéreas de la estructura y composición del paisaje en las entrevistas a los visitantes. |

Continúa

| Servicio ecosistémico                                 | Indicador  |
|---|--|
| Valor estético percibido de los ecosistemas           | Número de individuos por unidad de área que suben fotos a Google Earth.  |
| Valores regionales de servicios ecosistémicos (SE)    | Uso del modelo <i>presión-estado-respuesta</i> para evaluar la presión inducida por la urbanización.   |
| Valoración estética del paisaje                       | Métricas para medir el paisaje (forma, densidad de parches y diversidad).  |
| Sitios de relevancia para la historia y cultura local | Mapeo participativo definido del rango completo de SE culturales y varios "contra servicios" percibidos por la gente que vive en el paisaje cultural.                |
| Valor de la identidad y herencia cultural             | Identificación de distintos tipos de valor y determinación de la distribución espacial de distintos valores atribuidos al ambiente (puede haber traslapes de valor). |
| Valores estéticos y tradicionales                     | Preferencia social, de acuerdo con la belleza del paisaje.   |
| Valores estéticos                                     | Función cultural y educacional del paisaje, a través de valores únicos del paisaje.  |
| Valores estéticos                                     | Puntajes de atributos estéticos de tipos de coberturas del suelo.  |
| Patrimonio agrícola                                   | Existencia de especie de significancia cultural, sistemas de conocimiento y relaciones sociales para generar un indicador de patrimonio agrícola.                    |

Fuente: elaborada con base en Karis *et al.* (2019), Nahuelhual *et al.* (2016) y Rodríguez-Loínaz *et al.* (2019).

Hay una gran diversidad en la construcción de los indicadores, como también un sinnúmero de indicadores que se calculan usando modelos de simulación de diferentes áreas del conocimiento (Nahuelhual *et al.*, 2016). Muchos otros, sobre todo los indicadores

de servicios ecosistémicos culturales, usan métodos sociales de valoración, a través de opiniones, entrevistas, encuestas, fotos, mapas sociales, etc., de los actores involucrados con los servicios para determinar su estado y valor.

Aunque se han construido una gran cantidad de indicadores para determinar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos, la mayoría se concentran en los servicios de provisión y regulación o en servicios materiales, más que en los servicios culturales. Además, los estudios concuerdan en que la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos debe analizarse con base en las características propias de los ecosistemas en un lugar, y no en indicadores generales destinados a usarse en cualquier otro ecosistema (Morales Aymerich, 2011). Esto se explica porque la sostenibilidad de los ecosistemas y, por ende, de sus servicios, depende de la capacidad de carga de estos, es decir, por el límite de los ecosistemas para soportar a los organismos y, al mismo tiempo, mantener su productividad, adaptabilidad y capacidad de renovación (Subgerencia Cultural del Banco de la República, 2015).

Por lo tanto, se puede decir que la capacidad de carga de la naturaleza no es fija ni estática, sino que depende de la tecnología, de las preferencias, de la estructura de producción y del consumo; por lo que cualquier cambio en las interacciones entre los elementos físicos y bióticos del ambiente influye en ella (Morales Aymerich, 2011). Por ejemplo, aunque se puede pensar lo contrario, la cantidad de personas que consume un servicio ecosistémico no es un indicador directo de su sostenibilidad, ya que aunque hubiese mayor cantidad de gente, no necesariamente habría mayor degradación, pues la depredación de un recurso natural no se relaciona directamente con el número de habitantes, como es el caso de Centroamérica, que con una densidad poblacional de 57 personas por metro cuadrado, alcanza los 410 000 m<sup>2</sup> de tierra deforestada, mientras que Francia, con la misma área de tierra, pero con el doble de densidad poblacional, ha deforestado mucho menos (Hildyard *et al.*, 1993).

## Estrategias de sostenibilidad de servicios ecosistémicos

La sostenibilidad es un concepto que surgió en 1972, cuando se publicó el documento denominado *Los límites del crecimiento: Informe al Club de Roma sobre el predicamento de la humanidad* (Meadows, 1972). Sin embargo, fue la Comisión sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas, conocida también como la Comisión Brundtland, la que, a través del informe del mismo nombre, definió que la sostenibilidad está asociada con satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras (ONU, 1987), independiente del tipo de necesidad que sea. En general, la sostenibilidad implica la perduración de los recursos en el tiempo; en particular, cuando se habla de sostenibilidad ambiental, implica que la explotación de los recursos naturales se mantenga dentro de los límites de la regeneración y crecimiento natural, a partir de planear la explotación de los recursos y de precisar los efectos que la explotación tendrá sobre los ecosistemas (Zarta Ávila, 2018).

La sostenibilidad también se ha definido como aquella actividad científica que se desarrolla mediante el estudio de las capacidades que tienen los sistemas para adaptar sus relaciones socioecológicas para sobreponerse a perturbaciones y poder mantener sus atributos y procesos esenciales (Salas y Ríos, 2013). La sostenibilidad implica concebir la complejidad de los problemas que conllevan la insostenibilidad y generar alternativas que puedan resolverlos. La complejidad de los problemas requiere que dichas alternativas se identifiquen de manera participativa e interdisciplinaria y que se considere la incertidumbre propia de los fenómenos naturales. Por lo que la sostenibilidad tiene carácter exploratorio más que predictivo (Salas y Ríos, 2013).

También se ha clasificado la sostenibilidad en débil y fuerte. La débil supone que el capital natural y el capital económico son sustitutos perfectos

reversibles en un plazo establecido, de manera que consiste en sostener o aumentar el nivel de bienestar social, medido en términos de la capacidad de consumo, en un periodo determinado de tiempo (Luffiego García, 2000; Ríos-Osorio *et al.*, 2013). Esta mirada de la sostenibilidad está reevaluándose a favor de la sostenibilidad fuerte, que indica una imposibilidad de reemplazar recursos naturales que pertenecen a un sistema complejo, en el que los factores económicos no tienen influencia. La sostenibilidad fuerte define la viabilidad de la relación entre un sistema socioeconómico y los ecosistemas (Luffiego García, 2000).

Esta relación entre los sistemas socioeconómicos y los ecosistemas ha generado las consecuencias negativas que trae consigo el desarrollo económico, la industrialización y el crecimiento poblacional sobre el ambiente; y abrió el debate mundial respecto a la importancia de alcanzar la sostenibilidad, es decir, de avanzar hacia el desarrollo sostenible. En consecuencia, se estableció que el desarrollo económico debe estar asociado con la conservación de los recursos naturales y se estimó que el desarrollo debe ser sostenible (ONU, 1987).

En este sentido, es necesario comprender la interacción entre tres sistemas complejos: la economía mundial, la sociedad global y el ambiente (Sachs, 2014). La Figura 2 muestra esta relación, que explica el desarrollo sostenible, pero que también refleja un enfoque de la sostenibilidad (Restrepo Tarquino, 2019; Sachs, 2014). A partir de la definición de sostenibilidad y su relación con el desarrollo sostenible han surgido dos percepciones: la de sostenibilidad normativa y la de sostenibilidad positiva. La primera componen los acuerdos y propuestas que se han incluido en el marco conceptual del desarrollo sostenible, mientras que la segunda incluye el análisis científico de la sostenibilidad y del desarrollo sostenible, al considerar el sesgo económico y ecológico (Ríos *et al.*, 2013).



**Figura 2. Enfoque de sostenibilidad.**

Fuente: adaptado de Restrepo Tarquino (2019) y Sachs (2014).

En consecuencia, la sostenibilidad asume que los recursos naturales no son inagotables, por lo que es necesario su protección y uso racional. Pero también considera el desarrollo de las sociedades mediante el aprecio de la idiosincrasia de las comunidades y las culturas, el respeto de sus estándares de bienestar y el seguimiento del crecimiento económico que genere riqueza equitativa para todos, sin perjudicar el ambiente (Rodríguez y Ríos, 2016).

Considerando la importancia de lograr la sostenibilidad y su relación con el desarrollo sostenible, la ONU, para lograr una aplicación práctica del desarrollo sostenible, a partir de 1992, y con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y Desarrollo, denominada como I Cumbre de la Tierra, y más conocida como Río 1992, brindó a los países la posibilidad de adoptar estrategias ambientales globales y se concibieron una serie principios para alcanzar la sostenibilidad, a través de lo que se conoce como Agenda 21 (Corrales y Restrepo Tarquino, 2021; ONU, 1992; Ríos *et al.*, 2013). La Agenda 21 o Programa 21 fue un plan de acción que fue adoptado a nivel universal, nacional y local por organizaciones del Sistema de Naciones Unidas, gobiernos y grupos de cada zona en el mundo, en el cual se señala que los seres humanos tienen influencia sobre el ambiente (ONU, 1992).

Luego, la ONU formuló una serie de objetivos hacia los cuales deberían avanzar los países para alcanzar la sostenibilidad, sin dejar de lado el crecimiento económico. En 2000 se formularon los ocho *objetivos de desarrollo del milenio* (ODM), relacionados con erradicar la pobreza extrema y el hambre, lograr la enseñanza primaria universal, promover la igualdad entre los sexos y el empoderamiento de la mujer, reducir la mortalidad de los niños menores de cinco años, mejorar la salud materna, combatir el sida, la malaria y otras enfermedades, garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y fomentar una alianza mundial para el desarrollo (ONU, 2000). Estos objetivos fueron evaluados en 2015 y al encontrarse que no fueron cumplidos en su totalidad pero que alcanzaron un buen avance en los resultados esperados, surgió la necesidad de delinear los *objetivos de desarrollo sostenible* (ODS), cuya evaluación será en 2030. Los ODS son diecisiete objetivos entre los que se resaltan: el fin de la pobreza, el hambre cero, la igualdad de género, la garantía de agua limpia y el saneamiento. Además, incluyen objetivos en torno al uso de energías limpias, instituciones sólidas, consumo y producción responsables, trabajo decente e industria, educación, acciones por el clima y cuidado de los ecosistemas. En general, los ODS son un llamado a tomar medidas para acabar con la pobreza, proteger el planeta y lograr que las personas vivan en paz y prosperidad (ONU, 2015). En general, la construcción del marco teórico y práctico del desarrollo sostenible ha sido llevado a cabo para que, desde la esfera política internacional, se planteen restricciones al modelo económico vigente, que es altamente consumidor y degradador de los recursos naturales (Corrales y Restrepo Tarquino, 2021; Sánchez Fernández, 2009).

En Latinoamérica, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) trabaja, entre otras cosas, en el monitoreo de la sostenibilidad y la entiende como la preservación dinámica de la identidad esencial de un sistema que está en cambios permanentes; pero, además, concibe al desarrollo sostenible como un proceso de cambio direccional, mediante el cual el sistema mejora de manera sostenible a través del tiempo (Corrales y Restrepo Tarquino, 2021; Gallopín, 2003).



En Colombia, las principales normas ambientales incluyen la protección del ambiente para la satisfacción de las necesidades actuales, a fin de garantizar las de las generaciones futuras. Desde hace más de cuatro décadas la legislación ha incluido la iniciativa mundial de avanzar hacia la sostenibilidad de los recursos naturales. El Código de Recursos Naturales (Decreto 2811 de 1974) tiene como objetivos lograr la preservación y restauración del ambiente, considerando criterios de equidad que aseguren el desarrollo humano, la disponibilidad permanente de los recursos naturales, la participación social para el beneficio de la salud y el bienestar de las generaciones presentes como de las futuras; así como prevenir y controlar los efectos negativos de la explotación de los recursos naturales y regular la conducta humana respecto del ambiente. De igual forma, la Constitución Política de Colombia (1991) en su artículo 79 reza que:

Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Así mismo, en el artículo 80 menciona que:

El Estado debe planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución; además, debe prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados; así como cooperar con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

La Ley 99 de 1993 se ha caracterizado por gestionar el ambiente en el país, mediante la creación de entidades para hacerlo. Tiene catorce principios que se resumen en la necesidad de proteger cada uno de los recursos naturales, permitiendo el proceso de desarrollo económico y social del país. Propende por conservar la biodiversidad, los páramos, el agua y el paisaje; por la prevención de desastres, entre otros. Lo que ha favorecido a la creación de instrumentos económicos que cubran los costos de esta protección,

con entidades que se hagan cargo de la misma, que se haga de manera democrática, participativa y descentralizada; y que promueva el trabajo intersectorial, la formulación de políticas públicas que favorezcan el cuidado ambiental; todo con el fin de avanzar en el desarrollo del país de manera sostenible (Ley 99 de 1993). Más recientemente, el Decreto 1076 de 2015 unificó la normatividad ambiental en un solo documento, que conserva la importancia de garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales, tanto así que tiene como objetivo

orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores. (art. 1.1.1.1)

Adicionalmente, y con base en esto, el concepto de sostenibilidad también se asocia con la prestación de servicios públicos de agua y saneamiento; de modo que la sostenibilidad se entiende como la prestación de un cierto nivel de servicio por un periodo de tiempo indefinido (Lockwood y Smits, 2011). Más aún, la sostenibilidad puede comprenderse como la característica del servicio que el usuario recibe, y que incluye la calidad del agua, la cantidad, la continuidad, el acceso y la satisfacción del usuario con el servicio recibido, para el caso de los servicios de agua y saneamiento (Smits *et al.*, 2012).

Por su parte, el concepto de servicios ecosistémicos ha ido evolucionando desde su identificación. Inicialmente, se originó como un concepto netamente ecológico que los definió como un amplio rango de condiciones y procesos, a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que hacen parte de ellos ayudan a sostener la vida humana (Daily, 1997). El concepto fue introducido en temas de debate, relacionados con servicios públicos, biodiversidad y conservación, bienes y servicios ecológicos, bienestar humano y, principalmente, cuantificación ecológica (Daily, 1997; Kremen, 2005; Martín-López y Montes, 2011; Vanderwalle *et al.*, 2008).

Posteriormente, el término de servicios ecosistémicos también se asoció con enfoques económicos, pues se entendió que los servicios de los ecosistemas tienen flujos de materiales, energía e información de reservas de capital natural, que se combinan con los servicios manufacturados y humanos de capital para producir bienestar para los seres humanos (Costanza *et al.*, 1997). Este enfoque desde la economía permitió analizar los servicios ecosistémicos como bienes y servicios ambientales, capital natural, bienestar, resiliencia y bienes públicos; además de analizar la oferta y demanda de servicios ecosistémicos a través de la valoración ecológica, sociocultural y monetaria de los mismos (Costanza *et al.*, 1997; Hawkins, 2003; TEEB, 2010). Recientemente, se estudian los servicios ecosistémicos como una combinación entre la ecología y la economía, considerando los servicios ecosistémicos como los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad (EMM, 2005). Esta forma de entender los servicios ecosistémicos permite analizarlos a través de sus principales funciones: regulación, hábitat, producción e información; aparte de generar un marco conceptual más amplio que avance hacia su valoración y que promueva la gestión de la biodiversidad y su sostenibilidad (EMM, 2005; Gómez-Baggethun y de Groot, 2007; de Groot *et al.*, 2002; MADS, 2012; Martín-López y Montes, 2011; Montes, 2007; Rincón-Ruiz *et al.*, 2014).

En torno a la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos, en Colombia, la PNGIBSE (MADS, 2012) indica que debe haber un balance entre los diferentes intereses que la sociedad tiene frente a la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que se derivan de esta y que son fundamentales para el bienestar humano. Por tanto, la gestión de la biodiversidad no debe ser exclusiva del sector ambiental con jurisdicción en las ciencias naturales, sino que también debe promover la corresponsabilidad social y sectorial, de tal forma que se fomente la participación de la sociedad y el reconocimiento de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos como un valor público, para incorporarlos en la planificación; de modo que pueda aumentarse la productividad de manera sostenible, al mismo tiempo que se

protegen y mantienen las riquezas naturales y culturales del país (MADS, 2012).

La gran mayoría de las investigaciones que se realizan en torno a los servicios ecosistémicos se hacen en relación con las contribuciones de regulación (76%); además, se ha identificado que el 83% de los trabajos se concentran en descripciones, caracterizaciones y valoración de contribuciones de tipo biofísico. Mientras tanto, solo el 9% de las investigaciones tiene relación con las contribuciones inmateriales, y los trabajos en aspectos socioculturales son solo del 14% (Álvarez *et al.*, 2019; Bedoya *et al.*, 2020). En busca de la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos hay diversos referentes de uso sostenible, principalmente aquellos relacionados con prácticas sostenibles de distintas actividades productivas, tales como producción orgánica de productos, manejo de selvas y bosques, ecoturismo, conservación de biodiversidad local, uso adecuado del agua y de productos forestales no maderables, y pesca (Silva-Rivera *et al.*, 2012); todas las actividades mencionadas son experiencias que integran procesos de desarrollo productivo y económico con conservación ambiental (RAP Pacífico, 2020).

En este sentido, hay casos exitosos en países como México y Costa Rica. En México se encuentran prácticas provenientes de comunidades indígenas en las que se hace manejo forestal sostenible, así como también se produce maíz, aguacate, frutas y café bajo sombra, con varios estratos y especies; de tal manera que se conserven diversas especies útiles (Silva-Rivera *et al.*, 2012). Además, se han implementado procesos de pago por servicios ambientales a través de la captura de carbono (Flores *et al.*, 2018). En Costa Rica, la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos se ha enfocado en la creación de áreas de conservación, establecimiento de proyectos de pago por servicios ambientales y estrategias de integración de energías renovables en los sectores energéticos y de transporte del país (FAO, 2018). Pero su principal implementación ha sido a través de programas de ecoturismo, en los cuales se ha enfocado el crecimiento económico del país, pero sin afectar los recursos naturales. Aparte de eso, el país se caracteriza por tener mecanismos

de gobernabilidad ambiental que integran a la comunidad en la toma de decisiones, lo que facilita la adopción de políticas públicas que se promueven desde las entidades gubernamentales (Benavides, 2020; Silva-Rivera *et al.*, 2012). Desde otros ámbitos, Australia es un referente de desarrollo sostenible en el mundo, pues ha adelantado iniciativas innovadoras en relación con el ecoturismo y la diversificación de mercados para promover el desarrollo económico. También ha adaptado un modelo de ordenamiento territorial que le ha permitido satisfacer necesidades sociales y económicas, pero de manera sostenible con el ambiente (RAP Pacífico, 2020).

En Colombia, se observa un interés por establecer sistemas de desarrollo sostenible sin alterar las actividades políticas, económicas y sociales de la población. En el país se impulsan programas para el desarrollo sostenible, principalmente a nivel local, como lo son los proyectos BanCO2, con los que se pretenden generar esquemas de pago por servicios ambientales, en los que los campesinos venden el servicio ambiental de captura de carbono a cambio del aporte económico de empresas y ciudadanos que buscan compensar sus emisiones. Esta estrategia supone que los campesinos dejarían sus actividades agrícolas y pecuarias de pequeña escala, de la cual obtienen su sustento, para generar cadenas productivas locales para mitigar el cambio climático a través de la conservación de ecosistemas relevantes (RAP Pacífico, 2020). También, se ha declarado la zona exclusiva de pesca artesanal en el Pacífico colombiano, que permite la pesca artesanal por parte de las comunidades del Chocó, y que también permite la conservación y recuperación del recurso pequero (al no permitir pesca comercial), así como el mejoramiento de la calidad de vida de los pescadores y sus comunidades (RAP Pacífico, 2020). También, se ha adelantado el proceso de respaldo a negocios verdes, es decir, apoyo a empresas que generen bienes o servicios sostenibles (MADS, 2017).

En consecuencia, la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos actualmente se orienta hacia la conservación de los ecosistemas, el uso sostenible de la diversidad biológica y la distribución justa y

equitativa de los beneficios derivados del uso de los recursos genéticos (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2004), por lo que se han creado metodologías de valoración de los servicios ecosistémicos, de tal forma que pueda determinarse el estado de los mismos, y, de acuerdo con los resultados, tomar decisiones que propendan por su conservación.

En este sentido, actualmente, la sostenibilidad se orienta hacia la declaración de los ODS, que aborda, a través de indicadores, aspectos a tener en cuenta, para que las actividades humanas no deterioren los ecosistemas que las soportan. Como ya se mencionó, los ODS están compuestos por diecisiete objetivos, asociados con 169 metas distribuidas, que se evalúan a través de 232 indicadores y mediante datos estadísticos. Los indicadores están relacionados con áreas de protección, avances de gestión, existencia de lugares importantes para la biodiversidad, índices de cobertura, asistencia para la conservación, entre otros (Labor de la Comisión de Estadística en relación con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, s. f.; ONU, 2015). Así mismo, la EEM (2005) brinda lineamientos para la gestión de los ecosistemas, a través de cambios significativos en las políticas públicas, instituciones y prácticas. Entre las alternativas de sostenibilidad que promueve la EEM están: la continuidad de acciones para aminorar y revertir la degradación; la búsqueda de sustitutos para algunos de los servicios ecosistémicos, considerando la mitigación de la degradación que pueden causar dichos sustitutos (que en ocasiones es más alta que la del uso de los servicios ecosistémicos originales); y la consideración de los generadores de cambios, ya sea en la población, en la actividad económica, en los factores sociopolíticos, en los factores culturales y en la tecnología. Todo esto resulta en un conjunto eficiente de respuestas que avanza hacia una gestión sostenible de los ecosistemas que, a su vez, deben abordar los generadores directos e indirectos de cambio y eliminar las barreras relativas (EEM, 2005).

La EEM generó 78 opciones de respuesta para los servicios de los ecosistemas, la gestión integral de los ecosistemas, la conservación y utilización

sostenible de la biodiversidad y el cambio climático, que pueden resultar muy prometedoras para eliminar las barreras y conservar de manera sostenible el suministro de servicios de los ecosistemas. Esas opciones prometedoras se dividen en sectores específicos y transversales como lo son: las instituciones y la gobernanza, la economía y los incentivos, respuestas sociales y de comportamiento, respuestas tecnológicas, y respuestas basadas en conocimiento (EEM, 2005). La Tabla 5 presenta el ejemplo de respuestas prometedoras que muestra la EEM en sectores específicos. Eso sí, hay que entender que las respuestas son efectivas cuando refuerza los servicios ecosistémicos que se ponen de meta y, además, contribuyen al bienestar humano sin causar un daño significativo a otros servicios (EEM, 2005).

**Tabla 5. Ejemplos de respuestas prometedoras para conservar los servicios ecosistémicos.**

| <b>Agricultura</b>   |
|--|
| Remoción de los subsidios a la producción que tienen efectos económicos, sociales y ambientales adversos. Inversiones (y difusión de las mismas) en ciencia y tecnología agrícolas que puedan sostener el necesario incremento del suministro de alimentos, sin tener que hacer elecciones dañinas que impliquen un uso excesivo del agua, nutrientes o pesticidas.  |
| Uso de políticas que reconozcan el papel de las mujeres en la producción y uso de los alimentos; y que están diseñadas para potenciarlas y asegurarles el acceso y control de los recursos necesarios para la seguridad alimentaria.   |
| Aplicación de mecanismos que sean una mezcla de regulación, de incentivos y de uso del mercado para reducir la excesiva aplicación de nutrientes.  |
| <b>Pesquerías y acuicultura</b>  |
| Reducción de la capacidad de pesca en los mares. Estricta regulación de la pesca marina, tanto en lo relativo al establecimiento y respeto de cuotas de pesca, como en lo referente a los pasos a dar para tratar la cuestión de pesca no declarada y no regulada. En algunos casos pueden ser apropiadas las cuotas individuales transferibles, especialmente para las pesquerías que se concentran en una sola especie de aguas frías. |
| Establecimiento de sistemas de regulación apropiados.  |

Continúa

para reducir los impactos perjudiciales de la acuicultura. Establecimiento de áreas marinas protegidas, incluyendo zonas flexibles donde se excluya la pesca.

#### **Agua**

Pagos por los servicios de ecosistemas suministrados por las cuencas.

Mejor asignación de los derechos de uso de los recursos de agua dulce para alinear los incentivos con las necesidades de conservación.

Mayor transparencia en la información relativa a la gestión del agua y mejor representación de los interesados directos que están marginados.

Desarrollo de mercados del agua.

Mayor énfasis en el uso del medio ambiente natural y de medidas que no sean la construcción de presas y diques para el control de inundaciones.

Inversiones en ciencia y tecnología para aumentar la eficiencia del uso del agua en la agricultura.

#### **Sector forestal**

Inclusión de prácticas acordadas sobre gestión forestal sostenible en las instituciones financieras, reglas del comercio, programas mundiales sobre el medioambiente y decisiones sobre la seguridad a nivel mundial.

Potenciación de las comunidades locales en apoyo de iniciativas para el uso sostenible de los productos forestales. Tomadas en conjunto, estas iniciativas son más significativas que los esfuerzos encabezados por gobiernos o procesos internacionales, pero requieren el apoyo de estos últimos para que se generalicen.

Reforma de la gobernanza relativa sobre los bosques y desarrollo de programas nacionales sobre bosques liderados por los países pertinentes, con un enfoque estratégico y negociados por los interesados directos.

Fuente: adaptado de EEM (2005).

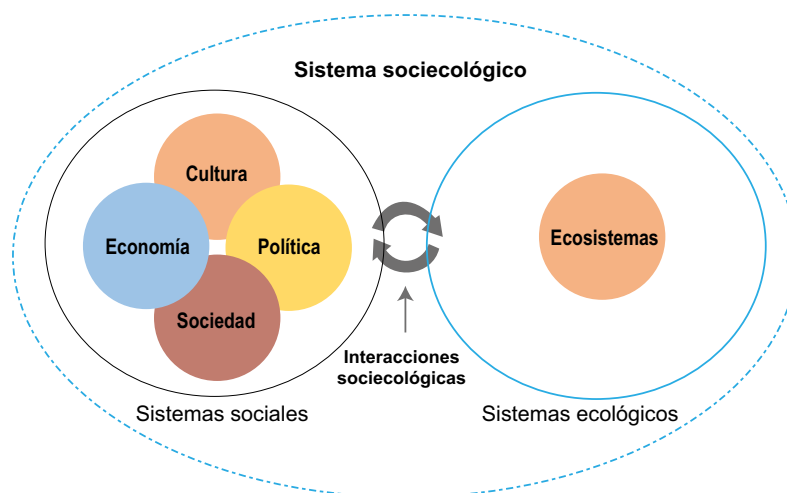
En Colombia se ha adoptado un plan de acción para la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos a través de la PNGIBSE. Inicialmente, es necesario comprender que la biodiversidad tiene una relación estrecha e interdependiente con los sistemas humanos, a través de un conjunto de procesos ecológicos que son percibidos como beneficios (servicios ecosistémicos) para el desarrollo de los distintos sistemas culturales humanos en cada de sus dimensiones (política, social, económica, tecnológica, simbólica, mítica y religiosa) (MADS, 2012).

La biodiversidad es un sistema que interactúa y funciona gracias a la existencia de la energía del sol, el ciclo global del agua y los ciclos geoquímicos, que interactúan con la vida, a través de relaciones complejas (MADS, 2012). Esto indica que los servicios ecosistémicos son un puente entre la diversidad y los seres humanos y, por lo tanto, la conservación de los beneficios que los ecosistemas prestan al bienestar humano pasa por la preservación de la biodiversidad de los ecosistemas (MADS, 2012). En consecuencia, la gestión de los servicios ecosistémicos considera que el territorio debe ser comprendido como un socioecosistema, de tal manera que se reconozca a los seres humanos y su cultura como partes integrales de la biodiversidad.

El concepto de socioecosistema alude a sistemas complejos que muestran la interacción y el acoplamiento entre los sistemas sociales (como la cultura, la economía, la organización social, la política, entre otros) y los sistemas ecológicos (Uribe, 2014), en donde las interacciones se expresan de distintas formas, como fenómenos sociales que producen efectos en los sistemas naturales (por ejemplo: la producción de alimentos o extracción de recursos), o como impactos de los movimientos naturales que afectan sistemas sociales (como por ejemplo: la variabilidad climática y la transformación de los suelos) (Salas *et al.*, 2012).

La Figura 3 muestra la conceptualización de los socioecosistemas a través de la interacción de subsistemas sociales y ecológicos.

La sostenibilidad de la biodiversidad, de la cual se desprenden los servicios ecosistémicos, no solo debe procurar que la conservación de la naturaleza trascienda, sino que también debe gestionarse de tal forma que se logre un equilibrio entre la preservación, el uso sostenible de los recursos, la generación de conocimiento y la restauración de la biodiversidad (ver Figura 4). De esta forma debería mantenerse o mejorarse la resiliencia de los sistemas socioecológicos y, por lo tanto, el suministro de servicios ecosistémicos fundamentales para el bienestar humano (MADS, 2012). No obstante, la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos depende de la situación y características particulares de cada territorio, por lo que las acciones necesarias para la conservación de la biodiversidad pueden variar, ya que en la naturaleza no existen equilibrios estáticos; de modo que es necesario contar con socioecosistemas resilientes, capaces de absorber los cambios que puedan presentarse y reorganizarse, de tal forma que puedan mantener sus funciones, estructuras, identidad y retroalimentación, a fin de aumentar su capacidad de aprendizaje y adaptación al cambio para poder mantener, a su vez, el suministro de servicios ecosistémicos (Carpenter *et al.*, 2001; Folke *et al.*, 2004; MADS, 2012).



**Figura 3. Noción de socioecosistema.**

Fuente: Corrales y Restrepo Tarquino (2021).



**Figura 4. Acciones a tener en cuenta para la conservación de la biodiversidad.**

Fuente: MADS (2012).

No está demás resaltar que, en Colombia, existen unos principios orientadores que rigen los procesos de ordenación de las cuencas hidrográficas, que, entre otras cosas, buscan la conservación de los ecosistemas (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2010). Esos principios sugieren que la planificación de las cuencas hidrográficas debe hacerse de manera participativa, con actores sociales e institucionales, con entidades privadas y demás, para incorporar soluciones a problemáticas sufridas desde diferentes frentes; y así, gestionar proyectos o actividades favorecedores para todos los entornos.

La planificación de cuencas sigue un proceso que espera alcanzar la conservación de los ecosistemas en las cuencas. Inicialmente, se define un marco jurídico y se consolida un marco metodológico, orientados al análisis y la acción de la ordenación de las cuencas para definir los alcances de cada fase prevista en el proceso ordenatorio. Luego, se lleva a cabo una fase de aprestamiento, en la que se hace una comprensión de los problemas locales y sus causas, y se definen los instrumentos y mecanismos para hacerles frente. La tercera fase de la planificación de cuencas se dedica al diagnóstico de las situaciones problemáticas identificadas y sus

consecuencias en el ámbito local, regional y nacional; además de presentar soluciones factibles para su solución. La cuarta fase es la de la prospectiva y definición del modelo de ordenación de la cuenca, y tiene como objetivo la previsión de las tendencias que pueden seguir las situaciones identificadas (a empeorar, a mejorar o a mantenerse igual) para facilitar la elaboración de propuestas para la toma de decisiones; en esta, además, fase se diseñan los escenarios técnicos y económicos para el uso coordinado y sostenible de los componentes de los sistemas presentes en la cuenca (suelo, agua, flora y fauna). La quinta fase corresponde a la formulación del plan de ordenación y manejo de cuencas, que incluye la definición de objetivos, metas, programas, proyectos y estrategias para la gestión de las cuencas (CVC y Fundación Universidad del Valle, 2013; IDEAM, 2010). En general, la formulación de planes de acción para el manejo de cuencas hidrográficas se constituye en un instrumento práctico para la gestión de las diferentes acciones dirigidas a la rehabilitación y conservación de los recursos naturales, a través de la integración de los actores locales (CVC y Fundación Universidad del Valle, 2013). No obstante, es un instrumento gubernamental que implica procesos institucionales y amplios recursos para su aplicación.

De manera particular, algunas investigaciones también han sugerido alternativas para avanzar hacia la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos. Díaz Balteiro y Romero López (2021) abordaron el manejo sostenible de los ecosistemas a partir de la multifuncionalidad, al considerar todos los objetivos presentes en un determinado ecosistema. Esta mirada concentra la gestión de los ecosistemas en un enfoque que se basa en una batería de indicadores para cada sistema natural, los cuales se agrupan en tres grandes pilares: el ambiental, el económico y el social, cuya finalidad es unir todos los indicadores en un índice que cuantifique el grado de sostenibilidad de un determinado sistema natural. La principal dificultad que puede generar un alto número de indicadores está asociada con el peso otorgado a cada uno, pues esa importancia relativa que implicaría cada indicador puede incidir directamente en la toma de decisiones; sin contar que un elevado

número de indicadores puede generar redundancia de muchos de ellos; es decir, muchos indicadores pueden estar estrechamente relacionados y no aportar información nueva al problema analizado, de modo que se pierde importancia para la toma de decisiones (Díaz Balteiro y Romero López, 2021).

La necesidad de avanzar hacia la sostenibilidad de los ecosistemas surge como respuesta al deterioro que causan en estos las actividades antrópicas, principalmente las actividades productivas de los seres humanos. Sin embargo, ante la imposibilidad de eliminar las actividades que generan el sustento de las poblaciones, las estrategias de conservación de los ecosistemas han visto la necesidad de orientarse hacia la minimización y mitigación de los impactos negativos que tales actividades producen en los ecosistemas. Y muchos de estos esfuerzos se concentran en aquellas actividades que tienen relación más directa con los recursos naturales, en particular las agropecuarias. En este sentido, Fonseca Carreño y Vega Baquero (2018) propusieron una serie de indicadores para evaluar la sostenibilidad en sistemas agroecológicos, al considerar tres factores que inciden en la generación de un equilibrio entre la actividad productiva agropecuaria y los ecosistemas que la soportan: el grado de equilibrio, que se explica a partir de las buenas prácticas productivas que permiten aumentar la productividad; el grado de importancia, que muestra los beneficios obtenidos a través de la transformación de los negocios; y el grado de sostenibilidad, que representa la resiliencia que poseen las actividades agropecuarias para generar alternativas de mejoramiento productivo. Cabe aclarar que los autores consideraron valiosa la relación entre el grado de eficiencia, de importancia y de sostenibilidad, puesto que se basa en los intercambios económicos y en la adopción de mecanismos de contingencia para garantizar un flujo permanente de productos y servicios; de tal forma que se disminuyan los efectos negativos en los ecosistemas y la concentración de recursos socioeconómicos. Cada uno de estos factores se transformó en indicadores para evaluar la sostenibilidad de los ecosistemas que soportan las actividades agropecuarias en el Sumapaz, región colombiana que se caracteriza por su gran biodiversidad.

En relación con el grado de eficiencia, esta evaluación de sostenibilidad incluye indicadores como la participación organizacional y productiva, el mercadeo, las certificaciones obtenidas, el manejo agrícola, las prácticas de manejo del suelo, las prácticas culturales, la composición ganadera, el manejo agroforestal, entre otros. El grado de importancia, por su parte, incluye indicadores como el rendimiento, los ingresos, la calidad del suelo, la diversidad de la producción, la distribución del ingreso, la toma de decisiones, el acceso a la tecnología, la dependencia de insumos externos, la asistencia a programas educativos, entre otros. El grado de sostenibilidad implica evaluar las condiciones de los cultivos, el origen de las semillas, el uso de labranza de conservación, la conservación de los suelos, el uso eficiente del agua, la disponibilidad del recurso hídrico, la disposición de residuos, entre muchos otros, también de índole comercial y organizacional (Fonseca Carreño y Vega Baquero, 2018). El análisis de este tipo de indicadores espera la reconversión de los sistemas productivos convencionales (monocultivos, dependencia de químicos) por sistemas agroecológicos competitivos, a través del cambio en la forma de producción para mejorar las condiciones del suelo, el bienestar animal, la eficiencia en el uso del recurso hídrico, la reforestación de áreas boscosas, la integración de hábitats y dinámicas del entorno (Fonseca Carreño y Vega Baquero, 2018).

La evaluación de la sostenibilidad de los ecosistemas se ha concentrado en la recomendación de cambiar los sistemas productivos agropecuarios convencionales por los agroecosistemas. Dado lo anterior, Gliessman *et al.* (2007) han sugerido unas etapas en el proceso de conversión o evolución de los procesos agropecuarios hacia sistemas sostenibles. Primero sugieren incrementar la eficiencia de prácticas convencionales para reducir el consumo y uso de insumos costosos, escasos y ambientalmente nocivos. Luego, señalan sustituir las prácticas e insumos convencionales por prácticas alternativas sostenibles para, posteriormente, elaborar el rediseño del agroecosistema de forma tal que funcione sobre las bases de un nuevo conjunto de procesos ecológicos; y así, finalmente, avanzar hacia el cambio de ética y de valores, o sea, hacia una cultura de la sostenibilidad (Gliessman *et al.*, 2007).