

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA-CALI  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS**

**Directora de la Maestría en Restauración Ecológica:  
Nathalia Aguirre, Ph. D.**

**PÉRDIDA DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DEBIDO A LA PROBLEMÁTICA  
DEL REDUCCIONISMO METODOLÓGICO Y EL ENFOQUE  
ANTROPOCÉNTRICO EN LA ELABORACIÓN DE PLANES DE  
RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DESARROLLADOS EN EL PACÍFICO Y  
CARIBE COLOMBIANO**

**Tesis para optar por el título de:**

**MAGÍSTER EN RESTAURACIÓN ECOLÓGICA**

**Presentada por:**

**Ingrid Alejandra Pachón Soto**

**Dirigida por:**

**Jesús Mauricio Castaño Mosquera, Ph. D.**

**Cali, 2025**

## ÍNDICE

Índice.....	02
Introducción.....	03
Capítulo 1. La crisis de biodiversidad en los ecosistemas de manglar.....	07
Capítulo 2. Limitaciones del paradigma antropocéntrico-reduccionista en la restauración ecológica de manglares: hacia un enfoque holístico y biocéntrico.....	72
Conclusión.....	140
Bibliografía.....	142

## INTRODUCCIÓN

Este análisis epistemológico, de enfoque transdisciplinar, tiene como propósito evidenciar críticamente los sesgos metodológicos presentes en los procesos de restauración ecológica, con énfasis en el caso de los ecosistemas de manglar del Pacífico colombiano. Se caracteriza como epistemológico porque examina críticamente los fundamentos del conocimiento científico en restauración ecológica, cuestionando los marcos conceptuales, métodos de investigación y presupuestos teóricos que sustentan estas prácticas, así como las formas en que se construye, valida y aplica el conocimiento en este campo. En particular, se busca problematizar el influjo del reduccionismo metodológico —entendido como la tendencia a simplificar la complejidad ecosistémica mediante el aislamiento y análisis de componentes individuales, perdiendo de vista las interacciones sistémicas y emergentes que caracterizan los ecosistemas— y de la ideología antropocéntrica —que posiciona al ser humano como medida central de valor y utilidad de los ecosistemas, subordinando la naturaleza a los intereses y necesidades humanas—, expresada técnicamente en el enfoque antropocéntrico, y reflejada en la noción de “servicios ecosistémicos”. Asimismo, se examina la relación entre estos sesgos epistemológicos y el modelo económico capitalista, considerando cómo su interacción puede incidir negativamente en la efectividad de los proyectos de restauración.

A partir de esta perspectiva, esta investigación plantea como hipótesis de trabajo que la combinación de estos enfoques —el reduccionismo, el antropocentrismo y la lógica del capitalismo— contribuye significativamente a errores de implementación, al fracaso parcial o total de proyectos de restauración, y al incumplimiento de sus metas. Esto se traduce, por una parte, en una aproximación insuficiente a la complejidad ecológica de los manglares, y por otra, en acciones ineficaces frente a uno de los principales desafíos de la crisis ecológica contemporánea: la pérdida de biodiversidad.

Dicha pérdida, en muchos casos, culmina en la extinción de especies, el colapso de ecosistemas locales y, en última instancia, en una afectación grave del ecosistema planetario, la biosfera.

Desde esta mirada, el objeto de estudio de esta investigación es la manera en que la restauración ecológica, particularmente en el contexto de los manglares del Pacífico colombiano, ha sido limitada por enfoques simplificadores que no reconocen ni integran adecuadamente la diversidad genética ni la complejidad sistémica de estos ecosistemas. Este enfoque crítico no busca responsabilizar individualmente a los profesionales involucrados en la restauración, sino poner de relieve las limitaciones metodológicas y epistemológicas que persisten en la práctica de la restauración ecológica, perteneciente a una disciplina aún joven como lo es la ecología de la restauración.

En consecuencia, se propone una crítica epistemológica que permita avanzar hacia una restauración más integral, capaz de incorporar el carácter dinámico y complejo de los ecosistemas intervenidos. Esta crítica tiene una aplicación concreta en el estudio de los manglares, cuya regeneración depende en gran medida del mantenimiento del flujo genético y de las interacciones entre los componentes bióticos y abióticos que los constituyen. Estos ecosistemas no pueden entenderse de manera aislada, ya que están en estrecha interacción con la biosfera, el sistema ecológico mayor del planeta Tierra.

Como se argumentará a lo largo del trabajo, ni el reduccionismo metodológico ni la ideología antropocéntrica constituyen enfoques adecuados para comprender la complejidad reproductiva de las especies de mangle ni los procesos ecológicos que sustentan las intervenciones o prácticas de la restauración. La comprensión parcial de estos procesos, derivada de tales enfoques, limita la efectividad de las intervenciones de restauración.

Dentro de este contexto, se cuestiona también el riesgo de que cada vez los proyectos de restauración ecológica presenten una tendencia al sesgo económico, financiero y corporativo implícito en la definición convencional del “éxito” en restauración ecológica, centrado en la generación de servicios ecosistémicos para el ser humano. En contraposición, esta investigación sostiene que una restauración verdaderamente efectiva debe evaluarse con base en su contribución a la preservación y regeneración de la biodiversidad, no en función de los beneficios que pueda reportar al sistema económico dominante.

Finalmente, se identifican tres niveles fundamentales sobre los cuales gira la problematización propuestos en esta investigación: primero, la visión antropocéntrica que sostiene la superioridad del ser humano sobre otras formas de vida y justifica su instrumentalización; segundo, la concepción de la restauración como una práctica cultural y tecnológica —y por tanto no estrictamente natural—, que puede estar subordinada a intereses capitalistas; y tercero, el reduccionismo metodológico, el cual desconoce la complejidad ecológica y limita la eficacia de los procesos de restauración ecológica. Estos tres elementos conforman el núcleo de análisis crítico de esta investigación.

En este sentido, esta investigación se plantea la siguiente *pregunta problema* general: ¿De qué manera los sesgos epistemológicos del reduccionismo metodológico y el enfoque antropocéntrico limitan la efectividad de los procesos de restauración ecológica en los ecosistemas de manglar? Para dar respuesta a este interrogante, esta investigación se plantea como *objetivo general* analizar críticamente los sesgos epistemológicos presentes en los procesos de restauración ecológica de manglares del Pacífico colombiano, con el fin de proponer un enfoque metodológico holístico y ecocéntrico, que tenga en cuenta el valor de existencia de los ecosistemas que son objeto de restauración ecológica y se busque, en la medida de lo posible, realizar un ejercicio de restauración que responda a la complejidad estructural y funcional del

ecosistema en su conjunto, y, por tanto, se pueda tanto cumplir eficazmente con metas de restauración como mitigar la crisis de biodiversidad que afecta a estos ecosistemas. Ahora bien, esta investigación cuenta con *dos preguntas problema específicas* y *dos objetivos específicos*, que se abordarán respectivamente en cada uno de los dos capítulos de este trabajo de investigación.

En el primer capítulo se examinará críticamente la restauración ecológica en los manglares del Pacífico colombiano, con el propósito de poner de manifiesto los sesgos metodológicos y antropocéntricos ligados al enfoque de servicios ecosistémicos. También se mostrará que, aunque la diversidad genética es vital para evitar la extinción, muchos proyectos priorizan objetivos políticos y económicos, dejando de lado aspectos cruciales para la conservación ecológica. En el segundo capítulo, se realizará un análisis crítico de las limitaciones del enfoque antropocéntrico y del reduccionismo metodológico en la restauración ecológica de manglares, con base en un estudio de caso en el Pacífico colombiano. Se abordará la problemática de cómo estos enfoques contribuyen a la pérdida de biodiversidad y diversidad genética, y se planteará que la priorización utilitarista de monocultivos para la rehabilitación de este tipo de ecosistema degradado compromete la resiliencia del mismo. Finalmente, se propondrá un enfoque alternativo basado en el holismo metodológico y el biocentrismo ético como base para un ejercicio de restauración más efectivo y coherente con la complejidad ecológica.

## **CAPÍTULO 1**

### **LA CRISIS DE BIODIVERSIDAD EN LOS ECOSISTEMAS DE MANGLAR**

En este capítulo, se aborda el tema de la crisis de biodiversidad en los ecosistemas de manglar mediante un ejercicio reflexivo de crítica epistemológica de la restauración ecológica, a partir del estudio de un caso concreto de restauración en la zona del Pacífico colombiano, y su posible relación con sesgos de investigación como el reduccionismo metodológico y el acento ideológico antropocéntrico, latente en el concepto de servicios ecosistémicos. Para tal propósito, este capítulo se plantea la siguiente pregunta: ¿En qué medida el análisis crítico del ejercicio de restauración ecológica que aquí se aborda, a manera de estudio de caso concreto, ofrece evidencia documental de sesgos metodológicos e ideológicos, de los cuales no necesariamente los practicantes son conscientes? En este orden de ideas, este capítulo se propone como objetivo, desde una perspectiva interdisciplinar, poner en evidencia que, aunque desde un punto de vista ecológico, la baja diversidad genética se relaciona con un aumento en el riesgo de extinción, en este caso de las poblaciones de manglar, algunos proyectos de restauración ecológica, enfocados mayoritariamente en el cumplimiento de metas políticas y económicas basadas en un enfoque de servicios ecosistémicos, han descuidado, hasta cierto punto, otros aspectos importantes para el buen funcionamiento de estos ecosistemas, que no están directamente relacionados con servicios de beneficio humano, como es el caso de la pérdida de la diversidad genética.

Es por tal motivo que, en este capítulo, se seguirá el siguiente plan de trabajo. En primer lugar, se abordará la ecología del ecosistema de manglar, con el fin

de comprender los conceptos básicos ecológicos, al igual que identificar algunas de las especies presentes en dicho ecosistema; también se abordarán algunos de los procesos llevados a cabo para la restauración de estos ecosistemas. En segundo lugar, se abordará el tema de las amenazas a las que la biodiversidad de los ecosistemas de manglar se enfrenta, como lo son la fragmentación del hábitat, así como otros tipos de acciones, como la rehabilitación, que, aunque en principio su propósito no sea ocasionar consecuencias negativas, terminan finalmente por perturbar negativamente la biodiversidad de los ecosistemas de manglar. En tercer lugar, se abordarán las interacciones bióticas en el manglar, como el mutualismo, para indicar la importancia de la incorporación de diversidad de especies en los planes de restauración ecológica. En cuarto lugar, se abordará la importancia del ecosistema de manglar para los seres humanos, con lo cual se busca identificar en qué medida la gestión ambiental está dirigida a la prevalencia y recuperación de los servicios ecosistémicos. En quinto lugar, se abordarán los estándares y la gestión de ecosistemas amenazados, donde se examina, por medio de un análisis crítico, el enfoque reduccionista y utilitario que simplifica el ejercicio de la restauración ecológica, en la medida que se la limita solamente a la producción de servicios ecosistémicos y no a la restauración real, que comprendería, en la medida de lo posible, la restauración de los atributos de estructura, composición y función totales de un ecosistema dado.

### **1.1. La ecología del ecosistema de manglar**

Cuando se habla del ecosistema de manglar se hace referencia a un tipo de sistema biológico que se encuentra conformado por una comunidad tropical de especies de árboles y arbustos capaces de prosperar biológicamente en un hábitat inundado con agua marina, y que se encuentran ubicados en las *zonas intermareales* del planeta que, a su vez, hacen parte de los *estuarios*, entendidos como cuerpos de agua costeros en el que se conectan y se mezclan

el agua dulce de los ríos con el agua salada del mar (Raven et al., 2015; Smith y Smith, 2015; Molles y Sher, 2022). El concepto de manglar incluye, especies dominantes como los manglares, las cuales en Colombia, son dominantes las especies *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora harrisoni*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus*, *Pelliciera rhizophorae*, *Pelliciera benthamii*, *Mora oleifera* (Rodríguez-Rodríguez, 2022), al mismo tiempo, especies complementarias como lo son los helechos y las palmeras (Spalding et al., 1997; Tomlinson, 2016). Las especies vegetales que componen el ecosistema de manglar pertenecen a una amplia variedad de familias de plantas que comparten características únicas de *rangos de tolerancia*<sup>1</sup>, como es el caso concreto de la tolerancia a la salinidad y a las aguas salobres. Ahora bien, Hogarth (2015) destaca que estas especies, dado que habitan en los límites de dos ambientes, han desarrollado una variedad de estrategias fisiológicas y de reproducción orientadas a la supervivencia.

Desde el punto de vista de una ecología de ecosistemas holística, se puede afirmar que los ecosistemas de manglar son sistemas conformados por componentes bióticos y abióticos, complejamente integrados, en los cuales sus elementos constitutivos son interdependientes y poseen propiedades emergentes, que les confieren un valor único de existencia, en virtud de sus atributos de composición, estructura y funcionalidad. Por ejemplo, como lo asegura Feller et al. (2010), la estabilidad del hábitat emerge como propiedad fundamental de los sistemas de manglar biogénicos, definida como la persistencia del hábitat relativamente inalterado a través del tiempo. Esta estabilidad resulta de la interacción entre componentes físicos, químicos y

---

<sup>1</sup> El concepto de *rango de tolerancia* (tolerance range) es fundamental para la comprensión de los factores limitantes ante los cuales los individuos pertenecientes a las poblaciones de especies de manglar, en caso de perturbaciones ecológicas, pueden soportar. En el contexto de esta investigación se comprende por *rango de tolerancia* el rango de variaciones dentro de un parámetro ambiental que es compatible con la vida de un organismos dado (Miller y Tupper, 2024).

biológicos que operan en múltiples escalas espaciales, temporales y organizacionales. Los procesos desde nivel celular hasta paisajístico contribuyen a mantener esta estabilidad. Las perturbaciones que alteran estos procesos pueden causar colapso del sistema o conversión hacia otros hábitats. Los cambios en el nivel del mar y la elevación influyen en la profundidad de inundación, afectando la producción y descomposición vegetal, permitiendo al sistema ajustarse y persistir.

En este sentido, el concepto de *ecosistema* propuesto por Jørgensen (2009) hace especial hincapié sobre las cualidades de integración e interdependencia de los ecosistemas comprendidos como una totalidad:

According to the definition by Tansley (1935), an ecosystem is an integrated system composed of interacting biotic and abiotic components. It is important in this definition that an ecosystem is a system, which implies that it has boundaries and that we can distinguish between the system and its environment – environment in principle means the rest of the world beyond the boundaries of the system. The components – biotic as well as abiotic – are interacting, which means that they are connected directly or indirectly. All systems that encompass interacting biotic and abiotic components may be considered as an ecosystem. A drop of polluted water may for instance be considered an ecosystem, because it contains microorganisms, organic matter, and inorganic salts and these components are interacting. Usually, our ecosystem research and management is interested in a larger area of nature characterized by its function and properties, for instance a lake, a forest, or a wetland. All these three examples of ecosystems have very characteristic functions and have several unique properties that are different from other types of ecosystems. The scale that is applied for the definition

of an ecosystem is dependent on the function of the ecosystem and is determined by the addressed problem.<sup>2</sup> (p. 3)

Dicho esto, es importante destacar que, dada la organización compleja de cada ecosistema, en general, y de los ecosistemas de manglar, en particular, el objeto de estudio, que después se convertirá en objeto de restauración o de **intervención ecológica**, para usar la expresión de Hobbs et al. (2011), debería de evitar el aislacionismo reduccionista incapaz de abordar, en su totalidad, los atributos de composición, estructura y funcionalidad de cada ecosistema. Por ejemplo, Hogarth (2015) destaca que los manglares son de vital importancia para una variedad de complejas comunidades de organismos, como lo son plantas y animales de origen terrestre y acuático, los cuales dependen de los árboles de mangle para encontrar refugio y alimento.

---

<sup>2</sup> “De acuerdo con la definición de Tansley (1935), un ecosistema es un sistema integrado y compuesto por componentes bióticos y abióticos que interactúan entre sí. Es importante en esta definición que un ecosistema es un sistema, el cual implica que tiene límites y que se puede distinguir entre el sistema y su ambiente —el ambiente principalmente significa el resto del mundo más allá de los límites del sistema. Los componentes —tanto bióticos como abióticos— interactúan, lo cual significa que ellos están conectados directamente o indirectamente. Todos los sistemas abarcan y actúan entre componentes bióticos y abióticos que podrían considerarse como un ecosistema. Una gota de agua contaminada, podría en este sentido ser considerada un ecosistema, porque contiene microorganismos, materia orgánica y sales inorgánicas que interactúan entre sí. Usualmente, las investigaciones y gestiones están interesadas en una amplia área de naturaleza caracterizada por sus funciones y propiedades, como por ejemplo, un lago, un bosque, o un humedal. Estos tres ejemplos de ecosistemas tienen muchas características y funciones que poseen propiedades únicas que son diferentes de los otros tipos de ecosistemas. La escala que se aplica para la definición de un ecosistema depende de la función del ecosistema y es determinado y dirigido por su problemática.” (La traducción es nuestra).

Ahora bien, la *estructura biológica de la comunidad*<sup>3</sup> del ecosistema de manglar se encuentra conformada por una gran diversidad de especies (Smith y Smith, 2015), entre las que se encuentran, por ejemplo, varias especies de aves y de pequeños mamíferos no voladores (Berg, 1997; Bateman et al., 2010; Honkanen et al., 2019; Mohd-Azlan, et al., 2009). En el caso de los trópicos del Nuevo Mundo, dentro de la composición ecológica del manglar se ha encontrado una gran variedad relativamente grande de animales que van desde los insectos hasta las aves, que viven y se alimentan de la vegetación de los manglares, así como organismos sésiles (ostras y tunicados), especies arbóreas folívoras y frugívoras, como también depredadores de semillas. Asimismo, pueden encontrarse esponjas, tunicados y epibiontes en las raíces de apoyo de los manglares. Es importante resaltar que la presencia de este tipo de organismos dentro del ecosistema de manglar contribuyen en las funciones propias de estos ecosistemas como es el caso del ciclaje de nutrientes (Jørgensen, 2009). Así pues, las especies que habitan los ecosistemas de manglar conforman comunidades ecológicas que establecen una variedad de interacciones bióticas que tienen significado si se analizan de manera colectiva, como una totalidad.

De hecho, los conceptos de comunidad, asociación e interacción son de vital importancia en ecología de comunidades, como lo recalcan Smith y Smith (2015):

The definition of community also recognizes that species living in close association may interact. They may compete for a shared resource, such as food, light, space, or moisture. One may depend on the other as a source of food. They may provide mutual aid, or they may not directly affect one another at all. Like a population, a community has attributes that differ from those of its components and that have meaning only within the collective. These attributes include the number of species, their relative

---

<sup>3</sup> De acuerdo con Smith y Smith (2015), el concepto de estructura biológica de la comunidad se define en virtud de su composición de especies, es decir, el conjunto de especies que se encuentran presentes y sus abundancias relativas.

abundances, the nature of their interactions, and their physical structure (defined primarily by the growth forms of the plant components of the community).<sup>4</sup> (p. 353)

Por otro lado, desde la perspectiva de análisis de la biología de la conservación, se ha puesto en evidencia que una gran cantidad de comunidades ecológicas, en conjunto con sus interacciones bióticas y sus hábitats, se han visto afectadas negativamente tanto por los impactos de las actividades antropogénicas como lo son la explotación desmesurada de los ecosistemas en busca de recursos explotables, en relación directa con el consumo y el incremento de la población humana.

En relación con esto, Primack y Vidal (2019) afirman lo siguiente:

La causa principal de la pérdida de diversidad biológica, incluyendo la de las especies, las comunidades biológicas y las variaciones genéticas, no es el aprovechamiento directo o la maldad, sino la destrucción del hábitat como resultado inevitable de la expansión de la población y actividades humanas (...). Durante las próximas décadas, el cambio de uso del suelo seguirá siendo el factor principal que afecta la biodiversidad en los ecosistemas terrestres, seguido por la sobreexplotación, el cambio climático y la introducción de especies invasoras (IUCN, 2004). Por consiguiente, la mejor manera de proteger la diversidad biológica es protegiendo el hábitat. “La pérdida de hábitat” incluye la destrucción total del hábitat, los daños al mismo asociados con la contaminación, y la fragmentación. Cuando se degrada y se destruye un hábitat, las plantas, los animales y otros organismos que viven allí no tienen a dónde ir y, por lo general, mueren. (pp. 156-157)

---

<sup>4</sup> “La definición de comunidad también reconoce que las especies que viven en estrecha asociación pueden interactuar. Pueden competir por un recurso compartido, como alimento, luz, espacio o humedad. Una puede depender de la otra como fuente de alimento. Pueden brindarse ayuda mutua o no influirse directamente entre sí. Al igual que una población, una comunidad tiene atributos que difieren de los de sus componentes y que solo tienen significado dentro del colectivo. Estos atributos incluyen el número de especies, su abundancia relativa, la naturaleza de sus interacciones y su estructura física (definida principalmente por las formas de crecimiento de las plantas que componen la comunidad).” (La traducción es nuestra).

Aunque algunas comunidades humanas dependen de los bosques de manglar para su supervivencia y el mantenimiento de sus tradiciones culturales, históricamente se ha logrado un equilibrio entre estos sistemas complejos sin necesidad de destruir el ecosistema (Spalding et al., 1997). Sin embargo, las crecientes presiones derivadas del aumento poblacional —como el crecimiento económico, las metas gubernamentales, la producción de alimentos y el desarrollo industrial y urbano— han provocado una destrucción proporcional de los manglares (Spalding et al., 1997). Esta pérdida también está ligada al desarrollo de índices de crecimiento y objetivos económicos en un sistema capitalista de acumulación de capital, que supera los límites naturales de explotación de recursos que el planeta puede soportar, límites que son frecuentemente ignorados por una economía neoclásica que desestima las restricciones ambientales, tal como advierten Cunningham et al. (2024):

Neoclassical economics tends to view natural resources as interchangeable. As one resource becomes scarce, neoclassical economists believe, substitutes will be found. Oil, for example, has substitutes in natural gas, in wind and solar power, and other energy sources. The need to reduce oil consumption has helped drive innovation in these alternatives, making them easier and cheaper to produce. Labor is also substitutable, by mechanization or technological change. Because materials and labor are substitutable, they are not considered indispensable. Debates about the nature of growth, consumption, and resource scarcity have become increasingly active lately, in response to recent developments in economics, including environmental economics, the concept of a steady-state economy, and sustainable development.<sup>5</sup> (p. 521)

---

<sup>5</sup> “La economía neoclásica tiende a considerar los recursos naturales como intercambiables. A medida que un recurso escasea, los economistas neoclásicos creen que se encontrarán sustitutos. El petróleo, por ejemplo, tiene sustitutos en el gas natural, la energía eólica y solar, y otras fuentes de energía. La necesidad de reducir el consumo de petróleo ha impulsado la innovación en estas alternativas, haciéndolas más fáciles y económicas de producir. La mano de obra también es sustituible, mediante la mecanización o el cambio tecnológico. Dado que los materiales y la mano de obra son sustituibles, no se consideran indispensables. Los debates sobre la naturaleza del crecimiento, el consumo y la escasez de recursos se han vuelto cada vez más activos últimamente, en respuesta a los recientes avances económicos, incluyendo la economía ambiental, el concepto de economía de estado estacionario y el desarrollo sostenible.” (La traducción es nuestra).

Por otro lado, es importante destacar que en ecología existe un concepto concreto para designar los límites poblaciones que un ecosistema puede soportar, el concepto de *capacidad de carga K* (carrying capacity K), el cual podemos entender como el número máximo de individuos de una especie dada que un entorno particular puede sustentar de manera sostenible y prolongada, en ausencia de cambios en el entorno dado (Raven et al., 2015). Ahora bien, desde el punto de vista de las ciencias ambientales, Cunningham et al. (2024) destacan que el crecimiento económico ilimitado del enfoque neoclásico en economía es incompatible con los límites ecosistémicos de capacidad de carga del planeta en relación con el aumento tanto de las poblaciones humanas como de sus actividades de explotación de recursos y de consumo.

En palabras de Cunningham et al. (2024):

Systems analysis also proposes that the earth has a limited carrying capacity for human populations. A limited carrying capacity means that unlimited economic growth is not possible. Many ecological economists, such as Herman Daly, argue for a **steady-state economy**, characterized by low human birth rates and death rates, the use of renewable energy sources, material recycling, and an emphasis on durability, efficiency, and stability. **Throughput**, the volume of materials and energy consumed and of waste produced, should be minimized. Most neoclassical growth models have assumed constantly increasing consumption and waste production, with resources being substituted as they run out. The steady-state idea, in contrast, reflects the notion of an

ecosystem in equilibrium, or a population below its carrying capacity, where overall conditions remain generally stable over time.<sup>6</sup> (p. 522)

Los impactos de los factores antropogénicos han provocado la destrucción de los ecosistemas de manglar y generado cambios que afectan gravemente la *biodiversidad*<sup>7</sup>. Esta afectación ha acelerado la extinción de numerosas especies en peligro (Primack y Sher, 2016), contribuyendo así a la actual crisis de extinción masiva, marcada notablemente por la defaunación inducida por la actividad humana (Galetti y Dirzo, 2013; Dirzo et al., 2014). En este contexto, resulta crucial destacar que muchas especies han desaparecido sin que siquiera se hayan descrito o identificado (Tedesco et al., 2014). Este fenómeno, conocido en los campos de la ecología y la biología de la conservación como “extinción oscura”, subraya la magnitud del problema (Boehm et al., 2021).

De hecho, Bergstrom y Dugatkin (2016) señalan el preocupante incremento de las extinciones por causas antropogénicas en la época actual:

---

<sup>6</sup> “El análisis de sistemas también propone que la Tierra tiene una capacidad de sustentación limitada para las poblaciones humanas. Una capacidad de sustentación limitada significa que el crecimiento económico ilimitado no es posible. Muchos economistas ecológicos, como Herman Daly, abogan por una **economía de estado estacionario**, caracterizada por bajas tasas de natalidad y mortalidad, el uso de fuentes de energía renovables, el reciclaje de materiales y un énfasis en la durabilidad, la eficiencia y la estabilidad. **El rendimiento**, es decir, el volumen de materiales y energía consumidos y de residuos producidos, debería minimizarse. La mayoría de los modelos neoclásicos de crecimiento han asumido un aumento constante del consumo y la producción de residuos, con la sustitución de recursos a medida que se agotan. La idea del estado estacionario, en cambio, refleja la noción de un ecosistema en equilibrio, o una población por debajo de su capacidad de sustentación, donde las condiciones generales se mantienen generalmente estables a lo largo del tiempo.” (La traducción es nuestra).

<sup>7</sup> El concepto de *biodiversidad* hace referencia a toda la gama de especies, comunidades biológicas y sus respectivas interacciones con los ecosistemas, como también la variación genética dentro de cada una de las especies (Primack y Vidal, 2019).

Current estimates are that extinction rates today are close to 1000 times higher than background extinction rates (de Vos et al. 2014). If we consider (a) not just the number of species that have gone extinct recently and the rate of extinction but also (b) the number of species that are seriously endangered, (c) the fact that we know very little about many species that may be in danger of extinction, (d) the massive human-caused deforestation, defaunation, and habitat fragmentation that is occurring right now, (e) the rapid and major climate change, driven by CO2 emissions, that now appears inevitable, and (f) our current understanding of how extinction of one species can have profound direct and indirect effects on ecosystem functioning, the case for a possible human-caused sixth mass extinction becomes much stronger [...].<sup>8</sup> (p. 543)

Ahora bien, volviendo al problema del bajo descubrimiento de especies, Tedesco et al. (2014) afirma lo siguiente:

Rates of species extinction due to human actions are considered higher than geologically typical rates (Pereira et al. 2010) and could even reach levels comparable to past mass extinctions in the next centuries if current threats to species are not alleviated (Barnosky et al. 2011). Moreover, documented numbers of current species extinctions are likely to be serious underestimates because most species have not yet been formally described (e.g., Stork 1993; Mora et al. 2011; Scheffers et al. 2012), even for charismatic groups otherwise considered well known to scientists (Ceballos & Ehrlich 2009). Because both descriptions and modern human-driven extinctions started at nearly the same time (i.e., eighteenth century), a logical prediction is that an

---

<sup>8</sup> “Las estimaciones actuales son que las tasas de extinción hoy son cerca de 1000 veces más altas que las tasas de las extinciones de fondo (de Vos et al. 2014). Si consideramos (a) no solamente el número de especies que se han extinguido recientemente y la tasa de extinción, sino también (b) el número de especies que están gravemente amenazadas, (c) el hecho de que sabemos muy poco acerca de muchas especies que podrían estar en peligro de extinción, (d) la deforestación masiva causada por el hombre, la defaunación y la fragmentación del hábitat que está ocurriendo ahora, (e) el rápido y grave cambio climático, conducido por las emisiones de CO2, que ahora parecen inevitables y (f) nuestro entendimiento actual de cómo la extinción de una especie puede tener, directa e indirectamente, profundos efectos sobre el funcionamiento del ecosistema, el argumento en favor de una posible sexta extinción en masa causada por el hombre se hace mucho más fuerte. [...]” (La traducción es nuestra).

unknown proportion of species may have gone extinct without ever being recorded.<sup>9</sup> (p. 1361)

La falta de identificación de algunas especies en los ecosistemas de manglar se debe, en parte, a la escasez de análisis ecológicos sistemáticos, lo que genera brechas significativas tanto en la cobertura de taxones como en la representación regional. Esta situación se ve agravada por la distribución geográfica particular de los manglares y la limitada capacidad de los estudios de meta-análisis a escala del paisaje, que puedan ofrecer una visión más detallada y representativa de las especies que allí se encuentran y sus abundancias. En la mayoría de los casos, resulta inviable realizar un censo completo de los individuos que conforman una comunidad ecológica real (Lindig-Cisneros, 2017), lo que hace más difícil la comprensión de algunos aspectos de suma importancia ecológica como lo son la historia evolutiva, la hidrodinámica del hábitat, la disponibilidad de nutrientes y los factores de estrés antropogénico.

De hecho, con respecto a este tema, Jørgensen (2009) afirma lo siguiente:

There is much more uncertainty in the ecological models than there is in the physical models. Much of the required ecological detail is unknown, key parameters can be ill defined, the data are usually sparse in space and time, and the computational

---

<sup>9</sup> “Las tasas de extinción de especies debido a las acciones humanas se consideran más altas que las tasas geológicamente típicas (Pereira et al. 2010) e incluso podrían alcanzar niveles comparables a las extinciones masivas pasadas en los próximos siglos si no se mitigan las amenazas actuales a las especies (Barnosky et al. 2011). Además, es probable que las cifras documentadas de extinciones actuales de especies sean subestimaciones graves, ya que la mayoría de las especies aún no se han descrito formalmente (p. ej., Stork 1993; Mora et al. 2011; Scheffers et al. 2012), incluso para grupos carismáticos que de otro modo se considerarían bien conocidos por los científicos (Ceballos y Ehrlich 2009). Dado que tanto las descripciones como las extinciones modernas provocadas por el hombre comenzaron casi al mismo tiempo (es decir, en el siglo XVIII), una predicción lógica es que una proporción desconocida de especies podría haberse extinguido sin haber sido registrada.” (La traducción es nuestra).

resources are not adequate to the task of a complete simulation of the entire system. Ecological models are therefore abstractions which attempt to represent the major ecological features and functions of the greatest relevance to the task at hand.<sup>10</sup> (p. 299)

A pesar de la baja riqueza de especies de mangle que han sido reportadas a nivel global, los ecosistemas de manglar albergan una notable diversidad biológica. Algunos estudios realizados en la India han documentado una alta riqueza de biota asociada a estos ecosistemas, registrando aproximadamente 4011 especies de bacterias, hongos, algas, plantas y animales, vinculadas a 39 especies de árboles de mangle (Sandilyan y Kathiresan, 2012). De manera muy similar, se han realizado investigaciones en China en las que se han reportado la presencia de 2305 especies de plantas y animales asociadas a 25 especies de mangle (Wang y Wang, 2007). Además, es importante destacar que se dispone de información específica sobre otros grupos, como las esponjas, que ocupan entre el primer y segundo lugar en dominancia de cobertura sobre las raíces (Díaz, 2012; Rützler et al., 2014), así como sobre ascidias en Jamaica, Panamá (Goodbody, 2003; Rocha et al., 2005) y hongos en el Océano Atlántico y regiones tropicales (Schmit y Shearer, 2004; Jones, 2000; Jones y Pang, 2012).

A pesar de la cantidad de vacíos de información con respecto a la *diversidad biológica* de especies que habita en los bosques de manglar (Hogarth, 2015), se han reconocido ensamblajes ecológicos de suma importancia para el funcionamiento de este ecosistema concreto, como es el caso de las interacciones bióticas de diversos microorganismos con la fauna. Por ejemplo,

---

<sup>10</sup> “Hay mucha más incertidumbre en los modelos ecológicos que en los modelos físicos. Gran parte del detalle ecológico requerido es desconocido, los parámetros clave pueden estar mal definidos, los datos suelen ser escasos en el espacio y el tiempo, y los recursos computacionales no son adecuados para la tarea de una simulación completa de todo el sistema. Por lo tanto, los modelos ecológicos son abstracciones que intentan representar las principales características y funciones ecológicas de mayor relevancia para la tarea en cuestión.” (La traducción es nuestra).

los manglares son altos productores de *biomasa*<sup>11</sup>, desempeñando un papel importante en la *cadena trófica*<sup>12</sup> al apoyar las interacciones de herbivoría de diferentes especies, entre las que se encuentran una gran cantidad de insectos (Sousa y Dangremond, 2011; Murphy, 1990; Tong et al., 2006); también se tiene conocimiento del rol que juegan una variedad de especies de peces, cangrejos y gasterópodos, dentro de los ecosistemas de manglar. No obstante, el conocimiento acerca de la diversidad de otro tipo de taxones importantes en la descomposición y el consumo del detritus del manglar, como la madera, las hojas y las raíces, sigue siendo insuficiente (Lee et al, 2017).

También hay que mencionar que los hongos son reconocidos como componentes omnipresentes de la biomasa producida por los manglares, a pesar de la limitada información disponible sobre su función ecológica. Una situación parecida ocurre con la meiofauna: si bien se ha documentado su presencia en los sedimentos del manglar, aún no se ha definido con precisión su papel dentro de la cadena trófica (Lee et al., 2017).

Por otro lado, ocurre lo contrario con *especies nectónicas*<sup>13</sup> que han sido el componente mejor estudiado de la biodiversidad de los manglares de acuerdo

---

<sup>11</sup> El concepto de *biomasa* designa el peso de la materia viva, habitualmente expresado como peso seco por unidad de área (Smith y Smith, 2015).

<sup>12</sup> El concepto de *cadena trófica*, *red trófica* o *cadena alimentaria* (food chain) hace referencia al conjunto de interacciones entre los organismos, compuesto por los productores, los consumidores de varios niveles (herbívoros y carnívoros) y los detritívoros, mediante los cuales fluyen tanto la energía como los materiales dentro de una comunidad ecológica o un ecosistema (Curtis et al., 2022).

<sup>13</sup> En ecología marina se tiende a diferenciar las especies bentónicas de las especies nectónicas. Así pues, a los organismos que son de mayor tamaño y que nadan con más fuerza, como lo son los peces, las tortugas marinas y las ballenas, se les denomina *nectón*, mientras que los organismos que habitan el fondo del lecho marino y que se adhieren en un lugar concreto (esponjas, ostras y percebes), que excavan en la arena (gusanos, almejas y pepinos de mar) o que sencillamente caminan por el fondo (langostas, larvas de insectos acuáticos y estrellas marinas) se les denomina *bentos* (Raven et al., 2015).

con su importancia comercial, sin embargo el desafío está presente en como definir la asociación y dependencia de los manglares (Hogarth, 2015). A pesar de los vacíos de conocimiento acerca de la biodiversidad, función y distribución de especies presentes en los manglares, estudios preliminares como los de Lee (2008) sugieren que la asociación entre macrobentos y flora con los árboles de mangle están positivamente relacionados, debido a consecuencias de procesos ecológicos evolutivos a través del tiempo, lo que produjo un incremento en el apoyo de la creación de nichos físicos y químicos para acomodar un mayor número de especies animales.

Por ejemplo, las estructuras de los árboles de manglar, raíces, troncos y tallos apoyan la presencia y desarrollo de algunas especies de algas epifitas, plantas vasculares y líquenes, como lo reporta Wang y Cheng (2013), donde se encontraron 175 especies halófitas al sur de la costa de China junto con 25 especies de árboles de manglar. Otro ejemplo encontrado en la costa este de Australia, son las algas, líquenes y plantas vasculares como helechos, orquídeas y muérdagos que los bosques de manglar soportan (Lee et al, 2017) o la especie de planta epífita *Myrmecodia beccarii* que apoya el desarrollo de las hormigas en los manglares (Volp y Lach, 2019).

A pesar de que los ecosistemas de manglar son fundamentales para el sostenimiento de una alta diversidad biológica, del mantenimiento de funciones ecosistémicas y de la provisión de servicios ecosistémicos, es muy importante resaltar que estos sistemas ecológicos se encuentran, en la actualidad, en peligro.

El concepto de servicios ecosistémicos es definido por Daily (1997) de la siguiente manera:

*Ecosystem services* are the conditions and processes through which natural ecosystems, and the species that make them up, sustain and fulfill human life. They

maintain biodiversity and the production of *ecosystem goods*, such as seafood, forage, timber, biomass fuels, natural fiber, and many pharmaceuticals, industrial products, and their precursors. The harvest and trade of these goods represent an important and familiar part of the human economy. In addition to the production of goods, ecosystem services are the actual life-support functions, such as cleansing, recycling, and renewal, and they confer many intangible aesthetic and cultural benefits as well.<sup>14</sup> (p. 3)

Esta amenaza se debe, en parte, a que los beneficios que proporcionan los ecosistemas de manglar suelen ser subvalorados o, en muchos casos, simplemente no reconocidos (Hogarth, 2015). Además, las presiones derivadas de las actividades antrópicas —como la sobreexplotación de recursos, la fragmentación del hábitat, la contaminación y la erosión— han intensificado su deterioro (Hogarth, 2015).

Con respecto al concepto de perturbación ecológica, Jentsch et al. (2022) lo definen puntualmente de la siguiente manera: “Disturbances are temporally and spatially discrete events that lead to the loss of living biomass and change the availability of resources in biotic communities.”<sup>15</sup> (p. 15)

Es así como se han realizados esfuerzos de conservación y restauración ecológica por restablecer los bosques de mangle afectados, sin embargo, algunos proyectos de restauración ecológica realizan ejercicios de restauración,

---

<sup>14</sup> “Los *servicios ecosistémicos* son las condiciones y los procesos por medio de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que los constituyen, mantienen y satisfacen la vida humana. Mantienen la biodiversidad y la producción de *bienes ecosistémicos*, tales como comida de mar, forraje, madera, combustibles de biomasa, fibras naturales y muchos productos farmacéuticos, industriales, y sus precursores. La recolección y comercio de estos bienes representa una parte importante y familiar de la economía humana. Además de la producción de bienes, los servicios ecosistémicos son el soporte actual de las funciones de la vida, tales como la limpieza, el reciclaje y la renovación, y confieren muchos beneficios estéticos y culturales intangibles también.” (La traducción es nuestra).

<sup>15</sup> “Las perturbaciones son eventos temporales y espaciales discretos que permiten la pérdida de la biomasa viva y cambia la disponibilidad de los recursos en las comunidades bióticas.” (La traducción es nuestra).

por medio de la actividad predominante de reforestación, sin que sea usual acompañar estas actividades con información acerca del hidroperiodo, salinidad, tensores, causas del deterioro y factores ambientales como la energía del oleaje (Villamil, 2014) o características particulares de la región costera junto con procesos geofísicos, que controlan los patrones básicos de la estructura y crecimiento del bosque de manglar (Twilley, 2009).

En esta perspectiva, muchas de las acciones emprendidas por los proyectos de restauración se enfocan principalmente en restablecer estructuras vegetales a través de actividades de reforestación (Lopez-Portillo et al. 2017). Estas intervenciones están más alineadas con procesos de rehabilitación, aunque podrían llegar a convertirse en verdaderas acciones de restauración ecológica. La meta de la rehabilitación ecológica se orienta al restablecimiento de un nivel específico de funcionamiento del ecosistema, con el propósito de permitir la generación de servicios ecosistémicos (SER, 2019).

En cuanto a la rehabilitación ecológica, el SER (2019) afirma lo siguiente:

The goal of rehabilitation projects is not native ecosystem recovery, but rather reinstating a level of ecosystem functioning for renewed and ongoing provision of ecosystem services potentially derived from nonnative ecosystems as well.<sup>16</sup> (p.16)

Sin embargo, la aplicación de la rehabilitación ecológica sin las investigaciones pertinentes acerca del ecosistema a intervenir plantea preguntas importantes acerca de que tan conveniente es para la biodiversidad de especies, el cambio del hábitat a cultivos simples dirigidos a restablecer una función en particular en comparación con la amplia variedad de plantas y funciones encontradas en un ecosistema natural o poco degradado.

---

<sup>16</sup> “La meta de los proyectos de rehabilitación no es recuperar el ecosistema nativo, sino restablecer un nivel de funcionamiento del ecosistema para renovar y continuar la provisión de servicios ecosistémicos, potencialmente derivados de ecosistemas no nativos también.” (La traducción es nuestra)

En este sentido, Macintosh et al. (2002) afirman lo siguiente:

Unfortunately, mangrove rehabilitation has often been carried out simply by planting mangrove seedlings without adequate site assessment, or subsequent evaluation of the success of planting at the ecosystem level (Field, 1996). Moreover, for economic reasons, mangrove reforestation efforts are often limited to only one or two tree species (e.g. Gan, 1995). This raises obvious questions regarding habitat change and reduced ecological function in mangrove plantations compared to natural, mixed species mangrove forests. Biodiversity is widely regarded to be important in maintaining genetic richness, ecological functioning and the resilience of the ecosystem (Schultze & Mooney, 1993; Heywood, 1995).<sup>17</sup> (p. 202)

Desde una perspectiva social, se han identificado vacíos de información con respecto a cómo las comunidades valoran los ecosistemas de manglar y a qué nivel de conocimiento poseen sobre los manglares, es de destacar que también persiste una falta de claridad sobre cómo integrar y ejecutar este tipo de consideraciones dentro de los proyectos de restauración ecológica (Dale et al., 2014).

Con respecto a la relación entre las motivaciones ecológicas de la rehabilitación de los ecosistemas de manglar y algunas deficiencias en su práctica, Dale et al. (2014) afirman lo siguiente:

---

<sup>17</sup> “Infortunadamente, la rehabilitación del manglar frecuentemente ha sido simplemente llevado a cabo plantando plántulas sin una evaluación adecuada del sitio, o sin una evaluación posterior del éxito de la plantación a nivel del ecosistema (Field, 1996). Además, por razones económicas, los esfuerzos de reforestación de manglares a menudo se limitan a solo una o dos especies de árboles (por ejemplo, Gan, 1995). Esto plantea preguntas obvias sobre el cambio de hábitat y la reducción de la función ecológica en las plantaciones de manglares en comparación con los bosques de manglares de especies naturales y mixtas. La biodiversidad es ampliamente considerada como importante para mantener la riqueza genética, el funcionamiento ecológico y la resiliencia del ecosistema (Schultze & Mooney, 1993; Heywood, 1995).” (La traducción es nuestra).

The impetus for rehabilitation stems from mangrove degradation and subsequent loss of services and so a key issue is urgency for action, as continued losses further damage the mangrove ecosystems and the organisms dependent on them. Gaps include a lack of information, for example from surveys results about human views on mangrove value, education about mangroves and how this can be integrated into rehabilitation projects.<sup>18</sup> (p. 594)

Por otro lado, Villamil (2014), en el documento adoptado por la resolución 1263 de 2018 del ministerio de ambiente, sugiere que una buena parte de las acciones de reforestación emprendidas en Colombia, como parte de proyectos de restauración, tienden a enfocarse demasiado en la siembra de especies vegetales sin tener suficientemente en consideración los procesos ecológicos subyacentes del ecosistema que se desea intervenir, lo cual genera limitaciones en cuanto a la efectividad de la rehabilitación ecológica y la recuperación ecosistémica integral.

De manera mucho más concreta, Villamil (2014) hace hincapié en los errores metodológicos por los cuales algunas actividades de reforestación fracasan:

Las principales razones de bajo éxito o fracaso en las acciones de reforestación tienen que ver con el desconocimiento de la ecología del manglar y de la hidrología del sitio a recuperar; la falta de seguimiento y protección a semilleros y siembra; selección inadecuada de los periodos para la ejecución de los proyectos (épocas climáticas); etapas de seguimiento y control del proceso muy cortas; insostenibilidad de las acciones (acciones rápidas y no duraderas); no se involucran los actores locales en el proceso de planificación; uso de especies incorrectas; siembra en lugares y tiempos inadecuados. (p. 30)

---

<sup>18</sup> “El impulso para la rehabilitación proviene de la degradación de los manglares y la consiguiente pérdida de servicios, por lo que una cuestión clave es la urgencia de actuar, ya que las pérdidas continuas dañan aún más los ecosistemas de manglares y los organismos que dependen de ellos. Entre las deficiencias se incluyen la falta de información, por ejemplo, de los resultados de encuestas sobre la percepción humana del valor de los manglares, la educación sobre los manglares y cómo integrarla en los proyectos de rehabilitación.” (La traducción es nuestra).

Por otro lado, Flores et al. (2007) señalan concretamente algunos errores metodológicos en lo concerniente a las prácticas de reforestación en los ecosistemas de manglar, entre los que se encuentran el acto de reforestar sin tener lo suficientemente en cuenta tipos de variables críticas como lo son el hidroperiodo o la topografía de dichos ecosistemas:

La reforestación ha sido la actividad preponderante para la restauración de áreas de manglar degradadas, pero, en la mayoría de los casos esta técnica se ha empleado de manera empírica sin considerar el hidroperiodo, la salinidad, tensores y causas de deterioro, y factores ambientales como la energía del oleaje, corrientes, entre otros, lo que ha llevado generalmente al fracaso. (pp. 29-30)

En este sentido, los proyectos de restauración ecológica que implementan acciones de reforestación sin considerar la información ecológica fundamental, a menudo limitan la capacidad de los ecosistemas intervenidos para generar y sostener la diversidad de especies y las funciones que son inherentes a los bosque de manglar. Esto se debe, en primer lugar, a un ejercicio insuficiente de investigación sobre los ensamblajes ecológicos específicos del área y, en segundo lugar, a la falta de evaluaciones exhaustivas previas a las labores de siembra ex situ, dentro de los bosques de manglar afectados.

En relación con el contexto específico colombiano para la restauración de ecosistemas de manglar, Tavera (2014) señala lo siguiente:

En el contexto nacional la información sobre la dinámica de la regeneración natural es escasa, solo algunos autores (Lema, Polanía, & Urrego, 2003, Sánchez, Ulloa, & Tavera, 2004, Sánchez, Ulloa, Tavera, & Gil, 2005, Tavera, 2005, Rojas, 2011 e Ibarra, y otros, 2014) han abordado estudios en relación con: tasas de mortalidad y reclutamiento, y composición florística y estructural de la regeneración natural; y en muy pocas ocasiones se relacionan éstos con las condiciones del medio. Es así como hay vacíos en el conocimiento lo que limita el discernimiento de las relaciones causales entre los cambios suscitados en la composición y estructura de la regeneración natural con perturbaciones sobre el ecosistema. (p. 23)

De acuerdo con esta línea argumentativa, es común encontrar proyectos de restauración ecológica que, en su implementación, logran atender de manera parcial algún tipo de problemática específica de degradación de origen antrópico. No obstante, estas intervenciones no abordan de manera integral las *causas profundas*<sup>19</sup> de orden social, cultural, económico y, en particular, ambiental, del problema de la crisis de biodiversidad. Un ejemplo claro de lo que se acaba de mencionar es la persistencia de factores negativos de perturbación ecosistémica, como lo son el caso de la fragmentación del hábitat, la erosión, la deforestación y la caza, los cuales continúan siendo impulsados por actividades humanas que afectan directamente a los ecosistema de manglar del planeta.

Ahora bien, dentro del contexto de los proyectos de restauración ecológica en Colombia, Tavera y Rodríguez-Pelaez (2022) presentan un estudio de caso ubicado en el Pacífico colombiano, en el cual se evidencian posibles irregularidades relacionadas con la ausencia de investigación ecológica suficiente para respaldar los objetivos de restauración propuestos. En particular, el caso de los esteros Julio y Gonzalo en el departamento del Cauca muestra una zona afectada por diversos impactos antropogénicos, entre ellos la deforestación y degradación derivadas de la expansión agropecuaria y urbana, la caza del *Phalacrocorax olivaceus*, la contaminación de fuentes hídricas, el aprovechamiento intensivo de recursos para subsistencia y la erosión costera (Tavera y Rodríguez-Palaéz, 2022).

---

<sup>19</sup> De hecho, Meffe (1992) hace énfasis en que las estrategias de gestión en algunas ocasiones no tratan las causas principales, sino los síntomas de las problemáticas, y atribuye este fenómeno a la *tecno-arrogancia* —concepto desarrollado inicialmente por Ehrenfeld (1981)—, el cual hace referencia a la actitud arrogante y predominante de nuestra especie con respecto al hecho de que podemos controlar la naturaleza por medio de la tecnología sin tener en cuenta las consecuencias finales y devastadoras.

Según Tavera y Rodríguez-Peláez (2022), el objetivo formulado en el plan de restauración para la zona del Pacífico, específicamente en el área de los esteros Julio y Gonzalo, es el siguiente:

El objetivo definido para el proceso de restauración fue “Aportar al restablecimiento del hábitat de manglar del sector “entre el Cuerval, La Caleta y los Esteros Concepción y el Loro”, contribuyendo a la recuperación de poblaciones de piangua (*Anadara tuberculosa* y *A. similis*) y pato cuervo (*Phalacrocorax olivaceus*) para aportar a la permanencia de las actividades productivas tradicionales que la comunidad ejerce sobre estos recursos y otros de interés (p. 113)

En cuanto a las actividades destinadas para el cumplimiento de este objetivo, se seleccionó la especie *Rhizophora mangle* como parte del restablecimiento del hábitat de manglar, por medio de la recolecta y selección de 15.000 propágulos o plántulas.

En el caso de estudio del Pacífico colombiano del área de los esteros Julio y Gonzalo, se evidencia la posible carencia de investigaciones ecológicas pertinentes para el estudio de estos ecosistemas específicos, como estudios de biomasa, dinámica de comunidades, y estudios genéticos, los cuales son importantes para tener conocimiento acerca de la composición genética, la cual afecta diferentes rasgos (Richards et al., 2016).

Con respecto a la composición genética, Richards et al. (2016) realizan la siguiente descripción:

[...]Genetic composition affects ecologically important form and function of organisms, including body size, shape, physiological processes, behavioral traits, reproductive characteristics, tolerance of environmental extremes, dispersal and

colonizing ability, phenology, disease resistance, and many other traits (Lewontin 1974; Hedrick 1985; Booy et al. 2000).<sup>20</sup> (p. 123)

En este mismo sentido, se evidencia que no se consideraron de manera suficiente ecosistemas o modelos de referencia que permitieran una caracterización adecuada y una comparación pertinente de atributos clave, tales como la ausencia de amenazas, las condiciones físicas, la composición de especies, la diversidad estructural, las funciones ecosistémicas y los intercambios externos (SER, 2019). Estos elementos son fundamentales para comprender el contexto ecológico del sitio antes, durante y después de la implementación de las acciones orientadas al cumplimiento del objetivo de restauración.

En relación con los ecosistemas de referencia o modelos de referencia, el SER (2019) afirma lo siguiente:

Ecological restoration requires identifying the native ecosystem to be restored and developing reference models for planning and communicating a shared vision of project targets and goals. Reference models should be based on specific real-world ecosystems that are the targets of conservation and restoration activities (e.g., boreal forest, freshwater marsh, coral reef)<sup>21</sup>. (p. 26)

---

<sup>20</sup> “La composición genética afecta la forma y funciones ecológicas importantes de los organismos incluyendo, tamaño corporal, forma, procesos fisiológicos, rasgos de comportamiento, características reproductivas, tolerancia a ambientes extremos, habilidad para la colonización y dispersión, fenología, resistencia a las enfermedades, y muchos otros rasgos.” (La traducción es nuestra).

<sup>21</sup> “La restauración ecológica requiere la identificación del ecosistema nativo que se va a restaurar y desarrollar modelos de referencia para planificar y comunicar una visión compartida de las metas y objetivos del proyecto. Los modelos de referencia deben basarse en ecosistemas específicos del mundo real que son los objetivos de las actividades de conservación y restauración (por ejemplo, bosque boreal, pantano de agua dulce, arrecife de coral).” (La traducción es nuestra).

Con respecto al caso particular de estudio del Pacífico, acceder al análisis de la diversidad genética, en ecosistemas altamente fragmentados, como lo es el área de “los esteros Julio y Gonzalo”, resultaría importante, dado que las poblaciones de mangle posiblemente se encuentran aisladas por la fragmentación del hábitat y, en consecuencia, su flujo genético es reducido, lo que induce posiblemente a las especies de mangle a tener baja diversidad genética y una predisposición a la endogamia, lo que finalmente podría ocasionar consecuencias evolutivas.

Ahora bien, en la gestión ambiental de especies silvestres los estudios genéticos no se toman en cuenta en parte debido a que el análisis debe de aplicarse a los estadios tempranos de las plantas y por otro lado, la falta de conocimientos adecuados en genética por parte de los gestores ambientales (Frankham, 2009).

Con respecto a la aplicación de estudios genéticos en la gestión ambiental, Frankham (2010) enfatiza lo siguiente:

By contrast, the application of genetics in the management of threatened species in the wild is in its infancy. This is not due to a lack of scientific guidelines, but due to failure to consider genetic issues in wild management. The most important unresolved issue in conservation biology is to address genetic issues in the management of fragmented wild populations of threatened species. There are two reasons for this shortcoming. First, wildlife managers often do not have adequate genetics training. All future conservation and wildlife biologists need to receive adequate genetics training. Second, fears of

outbreeding depression are impeding the rational genetic management of fragmented populations.<sup>22</sup> (p. 661)

La implementación de análisis genéticos es fundamental para evitar la reducción del flujo genético entre los parches de manglar con capacidad de resiliencia a la fragmentación. El uso de estas herramientas permitiría establecer objetivos y estrategias más precisas para la restauración de los ecosistemas de manglar. Por ejemplo, Granado et al. (2018) llevaron a cabo un estudio genético en el que evaluaron cómo la diversidad genética original de las especies *Laguncularia racemosa* y *Avicennia schaueriana* se vio afectada tras ejercicios de reforestación. El estudio concluyó que el acervo genético de las especies en el área restaurada mostró una pérdida de diversidad genética debido a la deriva génica, en comparación con los parches remanentes de mangle. Sin embargo, las especies remanentes con alta diversidad genética o propágulos disponibles podrían contribuir a mejorar la diversidad general del ecosistema.

De acuerdo con los resultados del estudio de Granado et al. (2018), que evidencian la disminución del flujo genético y el riesgo de deriva génica en poblaciones de mangle debido a la introducción de especies con baja diversidad genética, es fundamental considerar los límites de la restauración ecológica, es decir, determinar cuándo debe intervenir un ecosistema y cuándo no. Por un lado, esto se debe a que en muchos casos no se tienen en cuenta los

---

<sup>22</sup> “Por contraste, la aplicación de la genética en la gestión de especies silvestres en peligro es en su infancia. Esto no es debido al vacío de lineamientos científicos, pero es debido a la falta de consideración de aspectos genéticos en la gestión salvaje. El problema no resuelto más importante en biología de la conservación es abordar los problemas genéticos en el manejo de poblaciones silvestres fragmentadas de especies amenazadas. Hay dos razones para esta deficiencia. En primer lugar, los gerentes de vida silvestre a menudo no tienen una formación genética adecuada. Todos los futuros biólogos de conservación y vida silvestre deben recibir una formación genética adecuada. En segundo lugar, los temores a la depresión exogámica están impidiendo el manejo genético racional de las poblaciones fragmentadas.” (La traducción es nuestra).

conocimientos sobre los requerimientos básicos para la subsistencia de la especie objetivo. Por otro lado, la restauración enfocada únicamente en la recuperación de una especie implica un esfuerzo que intenta recrear el hábitat particular de dicha especie, sin considerar los requerimientos de hábitat de las especies complementarias. Además, las comunidades que se desarrollan en un sitio restaurado para satisfacer las necesidades de una especie en particular pueden no ser similares a las comunidades originales donde dicha especie se encontraba, lo cual puede influir negativamente y aumentar la pérdida de hábitat para otras especies no incluidas en las metas del proyecto de restauración (Ehrenfeld, 2000).

Por otro lado, Hogarth (2015) advierte que las acciones de restauración mal dirigidas pueden convertirse en perturbaciones adicionales para el ecosistema:

Sometimes losses have been mitigated, or even reversed, by habitat restoration and mangrove-replanting programmes. Occasionally, just as human activities have inadvertently destroyed mangroves, they may equally unintentionally result in extensions of a mangal. Overall, however, the net effect of the various human impacts has been a drastic overall reduction in mangrove area.<sup>23</sup> (p. 212)

Con respecto a la comprensión de los aspectos de la recuperación de especies, Ehrenfeld (2000) recalca lo siguiente:

The restoration of species is predicated on an understanding of the autecology and hábitat requirements of the species of concern. Common foci for research include the genetic structure of populations and meta-populations, population biology, minimum viable population size, issues of local adaptedness, and the kinds of interspecific

---

<sup>23</sup> “Algunas veces las pérdidas han sido mitigadas o se han revertido, por la restauración del hábitat y programas de replantación de manglares. Ocasionalmente, al igual que las actividades humanas han destruido inadvertidamente los manglares, pueden resultar igualmente involuntariamente en extensiones de un mangal. Sin embargo, el efecto neto de los diversos impactos humanos ha sido una drástica reducción general en el área de manglares.” (La traducción es nuestra).

interactions (predators, prey, mutualists, competitors) that may be important in establishing or maintaining populations.<sup>24</sup> (p. 3)

Sin embargo, para el SER (2019), las actividades e intervenciones dentro de un ecosistema sometido a restauración ecológica deben estar guiadas por las necesidades de la comunidad local y las necesidades ecológicas. Esto no implica que se dejen de lado las investigaciones o la aplicación de indicadores específicos; durante la fase de planificación, es fundamental establecer conocimientos biológicos detallados sobre el ecosistema, lo cual puede conducir a la redefinición de límites u objetivos para el desarrollo del proyecto.

Sin un proceso de evaluación adecuado, los bosques de manglar que se pretenden restaurar podrían representar graves amenazas para la biodiversidad, ya que podrían ser reemplazados por plantaciones de baja diversidad estructural, debido a que el enfoque principal se centra en el establecimiento de árboles y no en la biodiversidad complementaria (Hogarth, 2015). Esto daría lugar a un ecosistema poco similar a un bosque no perturbado (Ellison, 2000), asemejándose más a un monocultivo. Sin embargo, si se realizaran investigaciones y monitoreos adecuados, estos podrían aportar información valiosa para futuros proyectos. Por ejemplo, Macintosh et al. (2002) compararon plantaciones de manglares de proyectos de rehabilitación con un ecosistema de manglar conservado, donde se incluyeron medición de parámetros como edades, composiciones de especies y métodos de gestión en relación con la macrofauna intermareal asociada. La selección previa de estos grupos de fauna asociados tanto a las plantaciones de rehabilitación como al

---

<sup>24</sup> “La restauración de especies es predicada en la comprensión de la auto-ecología y los requerimientos de las especies que conciernen. Los focos comunes para la investigación incluyen la estructura genética de la población o meta-poblaciones, biología de la población, el mínimo viable del tamaño de la población, cuestiones de adaptación local, y los tipos interespecíficas de interacciones (depredador, presa, mutualistas, competidores) que podrían ser importantes en el establecimiento o mantenimiento de las poblaciones.” (La traducción es nuestra).

bosque conservado, se seleccionaron como indicadores potenciales del hábitat por lo tanto el cambio en la comunidad proporcionó información importante para el monitoreo y desarrollo ecológico de sitios de rehabilitación en manglares asiáticos. En este sentido, los proyectos de restauración ecológica con un enfoque en rehabilitación mediante monocultivos podrían contribuir a comprender la relación entre la diversidad de especies y la función ecosistémica, en comparación con bosques menos afectados por impactos antropogénicos.

Con respecto a los ecosistemas influenciados por impactos antropogénicos, Vitousek et al. (1994) plantean lo siguiente:

All organisms modify their environment, and humans are no exception. As the human population has grown and the power of technology has expanded, the scope and nature of this modification has changed drastically. Until recently, the term “human dominated ecosystems” would have elicited images of agricultural fields, pastures, or urban landscapes; now it applies with greater or lesser force to all of Earth. Many ecosystems are dominated directly by humanity, and no ecosystem on Earth’s surface is free of pervasive human influence.<sup>25</sup> (p. 494)

En este sentido, es necesario considerar el debate actual sobre las perturbaciones antropogénicas a nivel global, así como las posibles líneas de acción que deben establecerse frente al cambio climático y la crisis de biodiversidad.

---

<sup>25</sup> “Todos los organismos modifican su ambiente, y los humanos no son la excepción. Así como las poblaciones de humanos han crecido y el poder de la tecnología se ha expandido, el alcance a la naturaleza y sus modificaciones han cambiado drásticamente. Hasta hace poco, el término «ecosistemas dominados por el ser humano» habría provocado imágenes de campos agrícolas, pastos o paisajes urbanos; ahora se aplica con mayor o menor fuerza a toda la Tierra. Muchos ecosistemas están dominados directamente por la humanidad, y ningún ecosistema en la superficie de la Tierra está libre de influencia humana generalizada.” (La traducción es nuestra).

## **1.2. Las amenazas a las biodiversidad del ecosistema de manglar**

Las amenazas a la biodiversidad del ecosistema de manglar son principalmente de origen antropogénico (Duke et al., 2007). De hecho, estas amenazas no se limitan a los manglares, sino que afectan a una amplia variedad de ecosistemas en todo el mundo (Crist, 2019). La producción de alimentos, especialmente mediante las prácticas de producción agrícola y la ganadera, ha provocado una alteración significativa de numerosos ecosistemas a nivel global, incluyendo la deforestación, la pérdida de humedales y la reducción de manglares. Estas actividades han contribuido a la extinción y amenaza de numerosas especies terrestres y acuáticas, además de impactar negativamente los ecosistemas marinos debido a la sobrepesca. Los biomas menos afectados son aquellos en los que aún no se practica la agricultura a gran escala, lo que subraya el impacto negativo de estas actividades sobre la biodiversidad.

En palabras de Crist (2019):

Many of Earth's small-scale to large-scale ecologies have been dismantled by food production. The temperate zone has been effectively given over to agriculture. Temperate grasslands are probably the hardest hit, with only 2 percent remaining in a natural state as noted earlier. (...) Since the 1980s industrial agriculture has also moved into the tropics, extinguishing untold numbers of species. Most tropical deforestation in the last three decades is directly beholden to the expansion of crop plantations and ranch operations. (...) Over half the world's species-rich wetlands have been drained over the last century largely for repurposing into agriculture. (...) Mangrove areas are rapidly declining with aquaculture operations being a major driver. (...) An estimated ten thousand to twenty thousand freshwater species are at risk of extinction, and river biodiversity is most threatened in regions of intensive agriculture and dense settlement. (...) The factor of agriculture accounts for 76 percent of primates threatened with extinction. (...) Coastal seas are critically endangered and continental shelves are endangered primarily because of overfishing. (...) Treasures of seamount life and habitats are being bulldozed by trawling vessels. (...) Indeed, the two least

disturbed biomes on Earth—boreal forests and tundra—are, tellingly, two biomes where large-scale food production does not (yet) occur. (...).<sup>26</sup> (p. 33)

Los impactos antropogénicos se deben a la creciente y desproporcionada demanda de servicios ecosistémicos, que se traduce en la explotación de la biodiversidad. A medida que *Homo sapiens* incrementa su población y dominancia sobre otras especies, se interrumpen propiedades emergentes únicas de estos ecosistemas, lo que provoca una pérdida en cadena de poblaciones, comunidades y especies esenciales para la continuidad de la vida (Primack y Sher, 2016).

Con respecto a esto, Alongi (2002) afirma lo siguiente:

The global diversity of species reached an all-time high in the present geologic period. Many groups of organisms—such as insects, vertebrates, and flowering plants—reached their greatest diversity about 30,000 years ago. Since that time, however, species

---

<sup>26</sup> “Muchas de las ecologías de la Tierra a pequeña y gran escala han sido desmanteladas por la producción de alimentos. La zona templada se ha entregado efectivamente a la agricultura. Los pastizales templados son probablemente los más afectados, con solo el 2 por ciento en un estado natural como se señaló anteriormente. (...) Desde la década de 1980, la agricultura industrial también se ha trasladado a los trópicos, extinguiendo un número incalculado de especies. La mayor parte de la deforestación tropical en las últimas tres décadas está directamente debida a la expansión de las plantaciones de cultivos y las operaciones de los ranchos. (...) Más de la mitad de los humedales ricos en especies del mundo han sido drenados durante el último siglo en gran medida para reutilizarlos en la agricultura. (...) Las áreas de manglares están disminuyendo rápidamente y las operaciones acuícolas son un motor importante. (...) Se estima que entre diez mil y veinte mil especies de agua dulce están en riesgo de extinción, y la biodiversidad fluvial está más amenazada en regiones de agricultura intensiva y asentamientos densos. (...) El factor de la agricultura representa el 76 por ciento de los primates amenazados de extinción. (...) Los mares costeros están en peligro crítico y las plataformas continentales están en peligro principalmente debido a la sobrepesca. (...) Los tesoros de la vida y los hábitats de las montañas marinas están siendo arrasados por los barcos de pesca de arrastre. (...) De hecho, los dos biomas menos perturbados de la Tierra, los bosques boreales y la tundra, son, reveladoramente, dos biomas donde la producción de alimentos a gran escala no ocurre (todavía). (...)”. (La traducción es nuestra).

richness has slowly decreased as one species—*Homo sapiens*—has asserted its dominance. In our need to consume natural resources, humans have increasingly altered terrestrial and aquatic environments at the expense of other species.<sup>27</sup> (p. 155)

De acuerdo con Hogarth (2015), la pérdida de biodiversidad en los manglares está vinculada a actividades de explotación, las cuales suelen estar acompañadas por prácticas autosustentables que generan ecosistemas simplificados, caracterizados por una baja biodiversidad y menor productividad, pero que conservan funciones ecológicas específicas.

En palabras de Hogarth (2015):

Exploitation of mangroves means that few mangrove forests are now pristine. Extraction of timber, fodder, or fish removes biomass. Selective removal of certain size categories of tree for timber affects the age structure and architecture of the forest, and selective removal of some species in preference to others affects the community structure and reduces diversity [...] Despite such impacts, even large-scale exploitation of a mangrove forest can be carried out sustainably. The price of sustainability may be a somewhat simplified ecosystem, with lower biodiversity and reduced productivity, but with the major ecosystem functions intact.<sup>28</sup> (p. 211)

---

<sup>27</sup> “La diversidad global de especies ha alcanzado un máximo absoluto en el presente periodo geológico. Muchos grupos de organismos, - los insectos, vertebrados, y plantas con flores - alcanzaron su más grande diversidad, cerca de 30,000 años atrás. Desde ese tiempo, sin embargo, la riqueza de especies ha decrecido lentamente tanto como la especie *homo sapiens* ha incrementado su dominancia. En su necesidad de consumir recursos naturales, los humanos han incrementado la alteración de los ambientes terrestres y acuáticos a expensas de otras especies.” (La traducción es nuestra).

<sup>28</sup> “La explotación de los manglares significa que pocos bosques de manglares están ahora prístinos. La extracción de madera, forraje o pescado elimina la biomasa. La eliminación selectiva de ciertas categorías de tamaño de árboles para la madera afecta la estructura de la edad y la arquitectura del bosque, y la eliminación selectiva de algunas especies en preferencia a otras afecta la estructura de la comunidad y reduce la diversidad [...] A pesar de tales impactos, incluso la explotación a gran escala de un bosque de manglares puede llevarse a cabo de manera sostenible. El precio de la sostenibilidad puede ser un ecosistema algo simplificado, con menor biodiversidad y productividad reducida, pero con las principales funciones del ecosistema intactas.” (La traducción es nuestra)

Tales perturbaciones en los ecosistemas están relacionadas con actividades antrópicas que interrumpen redes bióticas clave dentro de la cadena trófica, como la polinización (Primack y Sher, 2016). En ausencia de polinizadores, algunas especies de mangle recurren a la autofertilización (Kennedy et al., 2021).

Colonisation of new habitat has long been associated with greater self-fertilisation in plants (i.e., Baker's Law; Baker, 1955) as characteristics of expanding range margins, such as greater isolation among conspecifics (Eckert et al., 2010; Ghazoul, 2005) and reductions in pollinator availability (Kalisz et al., 2004; Moeller et al., 2012; Yin et al., 2016), are known to select for increased self-fertilisation (Hargreaves and Eckert, 2014). However, adaptive shifts in mating system are not thought to be general attributes of the expansion of long-lived trees and shrubs because these species generally maintain outcrossing independent of their environment (Barrett and Harder, 2017).<sup>29</sup> (pp. 6-7)

La autofertilización puede provocar una reducción en la diversidad genética de ciertas especies de mangle, como *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* (Ceron-Souza et al., 2012). Asimismo, las perturbaciones antrópicas que causan la pérdida de poblaciones contribuyen a efectos negativos como la depresión por endogamia, la depresión por exogamia y, en última instancia, la pérdida de flexibilidad evolutiva (Primack y Sher, 2016)

En lo que concierne al problema de la pérdida de flexibilidad evolutiva, Primack y Sher (2016) afirman lo siguiente:

---

<sup>29</sup> “La colonización del nuevo hábitat ha sido asociado durante mucho tiempo con una mayor autofertilización en las plantas (es decir, la Ley de Baker; Baker, 1955) como características de la expansión de los márgenes de rango, como un mayor aislamiento entre conespecíficos (Eckert et al., 2010; Ghazoul, 2005) y reducciones en la disponibilidad de polinizadores (Kalisz et al., 2004; Moeller et al., 2012; Yin et al., 2016), se conoce que se selecciona para una mayor autofertilización (Hargreaves y Eckert, 2014). Sin embargo, no se cree que los cambios adaptativos en el sistema de apareamiento sean atributos generales de la expansión de árboles y arbustos de larga vida porque estas especies generalmente mantienen el cruce independiente de su entorno (Barrett and Harder, 2017)” (La traducción es nuestra).

Small populations subjected to genetic drift are susceptible to a number of deleterious genetic effects, such as inbreeding depression, outbreeding depression, and loss of evolutionary flexibility. These effects may contribute to a decline in population size, leading to an even greater loss of genetic diversity, a loss of fitness, and a greater probability of extinction (Frankham et al. 2009).<sup>30</sup> (p. 176)

La depresión por endogamia es una condición que resulta del apareamiento entre parientes cercanos, lo cual facilita la transmisión de alelos perjudiciales a la descendencia. Esto provoca una mayor pérdida de variabilidad genética y se traduce en una mayor mortalidad de los descendientes, un menor número de crías o en individuos débiles, estériles o con baja capacidad reproductiva (Charlesworth y Willis, 2009). Como consecuencia, las generaciones futuras son más propensas a sufrir una depresión por endogamia más severa, así como a contar con un tamaño poblacional reducido (Waller, 2021). Además, Begon y Townsend (2021) destacan que incluso los criadores de animales y plantas reconocen que la reproducción entre parientes cercanos disminuye la fertilidad, la supervivencia, las tasas de crecimiento y la resistencia a enfermedades, por lo que habitualmente evitan este tipo de entrecruzamientos.

Con respecto a la importancia de la diversidad genética, Begon y Townsend (2021) afirman lo siguiente:

Genetic diversity is important in the first place because of the long-term evolutionary potential it provides. Rare forms (*alleles*) of a gene, or combinations of alleles, may confer no immediate advantage but could turn out to be well suited to changed environmental conditions in the future. Small populations tend to have less variation and hence lower evolutionary potential. A more immediate potential problem arises because when populations are small, related individuals tend to breed with one

---

<sup>30</sup> “Las poblaciones pequeñas están sujetas a desviaciones genéticas que son susceptibles a un número de efectos genéticos deletéreos, como la depresión por endogamia, depresión por exogamia y la pérdida de flexibilidad evolutiva. Estos efectos podrían contribuir a la declinación del tamaño de la población, permitiendo una pérdida mayor de diversidad genética, una pérdida de Fitness, y una mayor probabilidad a la extinción (Frankham et al.2009).” (La traducción es nuestra).

another. All populations carry recessive alleles that can be harmful, even lethal, to individuals when homozygous. Individuals that breed with close relatives are more likely to produce offspring that receive harmful alleles from both parents. The deleterious effects that result are known as *inbreeding depression*. There are many examples of inbreeding depression – breeders of domesticated animals and plants, for example, have long been aware of reductions in fertility, survivorship, growth rates, and disease resistance, and they commonly seek to prevent close relatives breeding with one another.<sup>31</sup> (p. 504)

Por otro lado, la depresión exogámica es una condición provocada por el apareamiento entre individuos pertenecientes a poblaciones separadas genéticamente o subespecies con adaptaciones locales, lo que conduce a una menor adaptabilidad al ambiente, ocasionando mayor probabilidad de dirigir las especies a la extinción (Edmands, 2007).

Las actividades antrópicas que contribuyen indirectamente a la pérdida de variabilidad genética en los ecosistemas de manglar incluyen la deforestación, la expansión urbana, la construcción de puertos marítimos, la acuicultura, la agricultura, la extracción de recursos naturales, el tráfico ilegal, la caza, la contaminación y la fragmentación del hábitat (Hogarth, 2015). Estas perturbaciones incrementan los procesos de defaunación y afectan a

---

<sup>31</sup> “La diversidad genética es importante en primer lugar, porque provee un potencial evolutivo a largo tiempo. Las formas raras (*alelos*) de un gen o combinaciones de alelos, podrían no conferir ventajas inmediatas pero, podrían cambiar, en el contexto de condiciones debido a cambios ambientales en el futuro. Pequeñas poblaciones tienden a tener menor variación y por lo tanto un menor potencial evolutivo. Un problema potencial inmediato aparece porque cuando las poblaciones son pequeñas los individuos relativos tienden a reproducirse entre sí. Todas las poblaciones cargan alelos recesivos que pueden ser dañinos, incluso letales, para otros organismos homocigotos. Individuos que se reproducen entre relativos cercanos son más propensos a producir descendientes que reciben alelos dañinos de los padres, los efectos deletéreos que resultan son conocidos como *depresión endogámica*. Hay muchos ejemplos de depresión endogámica- los criadores de animales y plantas domésticos, por ejemplo se han dado cuenta desde hace tiempo de la reducción de la fertilidad, la supervivencia, las tasas de crecimiento y resistencia a enfermedades, y tratan de evitar que los parientes cercanos se reproduzcan entre sí.” (La traducción es nuestra).

poblaciones vegetales vulnerables, como los manglares. Aunque estas especies poseen mecanismos morfológicos y fisiológicos para evitar la autopolinización, la ausencia de parejas reproductivas o de agentes dispersores, como los polinizadores, impide dicho proceso, favoreciendo la autofertilización y, eventualmente, conduciendo a la depresión por endogamia, asimismo, la fragmentación del hábitat puede inducir el cruce con individuos genéticamente distantes, lo que incrementa el riesgo de depresión exogámica (Montoya-Pfeiffer, 2022).

Ahora bien, en el contexto de la conservación y la ecología de la restauración las acciones antrópicas también pueden promover la variabilidad genética, por medio de métodos y técnicas que restablecen las poblaciones empobrecidas genéticamente, con la intención de conservar y restablecer ecosistemas para la obtención de servicios ecosistémicos (Mijangos et al., 2015). Sin embargo, sin el conocimiento adecuado, las acciones antrópicas que pretenden conservar y recuperar ciertas poblaciones de especies, pueden contribuir a la depresión por endogamia y la depresión exogámica que finalmente termina limitando la habilidad de las poblaciones para responder a cambios y condiciones ambientales nuevas, lo que puede afectar la persistencia de pequeñas poblaciones (Houde et al., 2011).

De hecho, entre las problemáticas derivadas de la implementación de monocultivos en proyectos de restauración ecológica con énfasis en rehabilitación, se han documentado diferencias significativas en la estructura de las comunidades de macrofauna, crustáceos y moluscos entre áreas rehabilitadas y manglares conservados. En este sentido, sería pertinente considerar si estudios similares de Macintosh et al (2002) en Tailandia, podrían adaptarse e implementarse en el contexto colombiano. Esto permitiría evaluar los efectos potenciales de la depresión endogámica, mediante el establecimiento de parámetros cualitativos y cuantitativos para el monitoreo de la biodiversidad en áreas intervenidas mediante reforestación con plantaciones

de manglar en monocultivo. Además, se podría comparar dicha información con la de ecosistemas de manglar bien conservados, utilizando un enfoque basado en el análisis de redes complejas de interacciones biológicas. Este tipo de análisis permitiría correlacionar los niveles de biodiversidad en los bosques de mangle con la calidad ecológica y el estado de conservación de las especies de manglar presentes.

De acuerdo con el enfoque de redes complejas, Jordano y Bascompte (2009) proponen lo siguiente:

El enfoque de redes complejas al estudio de interacciones ecológicas megadiversas ofrece herramientas integradoras de diferentes campos del conocimiento. Parte de una suposición simple: no podremos comprender el funcionamiento de sistemas megadiversos centrándonos en el estudio de especies aisladas, ya que el comportamiento de todo el sistema muestra propiedades más allá de la suma de sus partes. Estas son cuestiones muy relevantes no sólo en ecología de las interacciones planta-animal, sino en cuestiones mucho más generales que se refieren a la evolución, funcionamiento y estabilidad de los sistemas biológicos complejos (Solé y Bascompte 2006, Levin 2006).<sup>32</sup> (pp. 17-18)

Por otro lado, otra de las principales amenazas a los ecosistemas de manglar está determinada por el crecimiento demográfico que favorece el cambio climático, que si bien no está directamente relacionada con los síntomas de la pérdida de las especies de mangle, es una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad (Alongi, 2015).

En este sentido, desde el ámbito de las políticas públicas, se recomienda que la restauración ecológica y la conservación se orienten hacia una gestión responsable de los recursos naturales, sustentada en un enfoque biocéntrico. Este enfoque reconoce que valorar los ecosistemas únicamente por su rentabilidad económica —medida a través de la provisión de servicios

ecosistémicos— es una perspectiva limitada e, incluso, inviable en muchos contextos. Más allá de abordar únicamente los síntomas de la degradación ambiental, es fundamental enfrentar sus causas estructurales. Para ello, resulta necesario controlar el crecimiento demográfico y limitar el uso de los recursos naturales mediante prácticas sostenibles que satisfagan las necesidades humanas sin comprometer la integridad ecológica ni la salud de los ecosistemas.

### **1.3. Interacciones bióticas en el manglar: mutualismo**

La importancia del ecosistema de manglar radica en todas las interacciones que existen entre animales y plantas que generan redes complejas que a su vez proporcionan funciones que sustentan la biodiversidad de la cual depende la vida de las especies que lo conforman.

De acuerdo con la importancia de los animales y plantas sobre el ecosistema, Medel et al. (2009) hace énfasis en el siguiente aspecto:

El impacto selectivo impuesto por los animales sobre las plantas, sin embargo, puede ser modulado o incluso anulado por el efecto de otras especies co-existentes en las comunidades locales. Si bien cada especie interactuante puede ejercer un efecto en la reproducción y supervivencia de la especie receptora, es el resultado neto del conjunto total de interacciones experimentado a lo largo de la vida de los organismos lo que es relevante para su evolución y persistencia poblacional. (p. 15)

Dentro del ecosistema de manglar podemos encontrar una diversa gama de interacciones bióticas entre las distintas poblaciones de organismos que lo conforman. Así pues, la *competición* (-/-), el *mutualismo* (+/+), la *depredación* (+/-) y el *parasitismo* (+/-), el *comensalismo* (+/0), el *amensalismo* (-/0) o el *neutralismo* (0/0) (Molles y Sher, 2022) son tipos concretos de interacciones que la comunidad ecológica sostiene dentro de los bosques de manglar, y en la

cual la herbivoría juega un rol esencial al ser las distintas especies de manglar productores primarios, a partir de los cuales los consumidores primarios, como lo son los herbívoros y detritívoros, obtienen su energía. Por ejemplo, tomemos el caso del mutualismo, en el que el tipo de interacciones que se dan constituyen para las especies de plantas una de las funciones más importantes para la reproducción, dispersión y reclutamiento; a su vez, estas interacciones de mutualismo resultan de importancia para muchas comunidades de especies animales que se benefician de las estructuras reproductivas de las plantas como flores, semillas y propágulos. De las interacciones mutualistas planta-animal depende la polinización y la dispersión de semillas, lo cual sustenta la biodiversidad y funcionalidad de las comunidades naturales (Jordano et al., 2009).

De hecho, Jordano et al. (2009) hace énfasis en el siguiente aspecto:

Las interacciones de mutualismo constituyen la base para el funcionamiento de muchos ecosistemas, dado que de ellas depende gran parte de la reproducción y reclutamiento exitosos de muchas especies de plantas. Además, gran número de especies animales dependen estrechamente de los recursos que las plantas proveen alrededor de sus estructuras reproductivas (flores, frutos, etc.) (Levey *et al.*, 2002, Waser y Ollerton 2006). Sería difícil imaginar cómo funcionaría un bosque tropical o un matorral mediterráneo si careciese de las interacciones mutualistas de las que depende la polinización y la dispersión de las semillas. En estos hábitats, más de un 60%, y hasta un 95%, de las especies leñosas dependen de los animales para su reproducción exitosa (Jordano, 2000). Por lo tanto, estas interacciones sustentan la biodiversidad y funcionalidad de las comunidades naturales y han tenido un papel central en la evolución de la biodiversidad terrestre (Thompson 2006). (p. 17)

Sin embargo, a pesar de la información documental existente, se desconocen estudios de interacciones a nivel comunitario para comprender cómo la coevolución funciona en interacciones entre plantas y animales (Jordano et al., 2009).

En lo que concierne a las interacciones a nivel comunitario, Jordano et al. (2009) afirman lo siguiente:

aún estamos lejos de comprender cómo la coevolución funciona en interacciones caracterizadas por una alta diversidad y baja especificidad, especialmente cuando nos referimos a interacciones entre especies de vida libre tales como plantas y sus polinizadores, dispersores de semillas, herbívoros, etc. (Thompson 2005). (p. 17)

Aunque la conservación no haya tenido lo suficientemente en cuenta este tipo de interacciones bióticas, las interacciones de diferentes poblaciones dentro de las comunidades ecológicas han permitido el surgimiento de la diversidad (Medel et al., 2009). De hecho, una buena parte de las interacciones bióticas que ocurren en muchos ecosistemas del planeta corresponden al tipo de interacción entre plantas y animales, las cuales llevan la impronta de la coevolución. Ahora bien, las interacciones bióticas entre plantas y animales también están marcadas por una variedad de factores tanto bióticos como abióticos, no solamente a una escala geográfica, como lo puede ser la de lo local o la del paisaje, sino también a una escala más amplia como lo es la de la biosfera.

En este sentido, Rey et al. (2009) afirman lo siguiente:

Cuantificar la biodiversidad de la Tierra no es un problema trivial y su correcta evaluación es crítica para su manejo y conservación. La biodiversidad se organiza jerárquica mente en niveles más o menos aparentes: genes, poblaciones, especies, comunidades, etc. Esa diversidad ha surgido de la diversificación de las especies e interacciones entre ellas. Aunque las interacciones han sido ignoradas durante mucho tiempo en los enfoques de conservación (véase sin embargo, Janzen 1974), en beneficio de entidades más aparentes como la especie, las visiones actuales están abogando por otorgarle un papel central en la diversificación de la vida y en su conservación (Thompson 1996). (p. 129)

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, y considerando la importancia ecológica de las interacciones entre plantas y animales, es fundamental

destacar que la pérdida de estas complejas conexiones ecológicas —que involucran tanto factores bióticos como abióticos— puede conducir, de manera general, a la extinción de las especies participantes. En particular, en las relaciones planta-animal, esta disrupción puede desencadenar cascadas de extinción, entendidas como una serie de extinciones interrelacionadas, en las que la desaparición de una especie provoca la extinción de una o más especies asociadas (Primack y Sher, 2016).

De hecho, algunos factores clave que pueden llevar a las especies a una cascada de extinción son las perturbaciones estocásticas. Estas incluyen la estocasticidad demográfica, la estocasticidad ambiental, las catástrofes naturales y la estocasticidad genética (Primack y Sher, 2016). Todos estos elementos afectan negativamente a la población mínima viable, definida como el número mínimo de individuos de una especie necesarios para asegurar su persistencia a lo largo del tiempo (Shaffer, 1981).

En cuanto al concepto de población mínima viable, Shaffer (1981) afirma lo siguiente:

Clearly then, a minimum viable population is not one that can simply maintain itself under average conditions, but one that is of sufficient size to endure the calamities of various perturbations and do so within its particular biogeographic context<sup>33</sup>. (p. 132)

Ahora bien, las perturbaciones estocásticas, y la consecuente reducción de la población mínima viable, forman parte de lo que se conoce como *vórtice de extinción*. Este concepto describe la tendencia de las poblaciones pequeñas, afectadas por múltiples perturbaciones, a caer en un ciclo de retroalimentación negativa que las conduce progresivamente hacia la extinción.

---

<sup>33</sup> “Claramente una población mínima viable no es una que pueda simplemente mantenerse bajo condiciones en promedio por sí misma, pero por el contrario una que tiene el tamaño suficiente para soportar las calamidades de varias perturbaciones y hacerlo dentro de su contexto biogeográfico particular.” (La traducción es nuestra).

Con respecto a este asunto, Primack y Sher (2016) afirman lo siguiente:

The smaller a population becomes, the more vulnerable it is to the combined effects of low genetic diversity, demographic variation, and environmental stochasticity that tend to lower reproduction, increase mortality rates, and so reduce its size even more, driving the population to extinction. This tendency of small populations to decline toward extinction has been likened to a vortex, a whirling mass of gas or liquid spiraling inward: the closer an object gets to the center of the vortex, the faster it moves.<sup>34</sup> (pp. 188-189).

Asimismo, influye la relación entre las tasas de especiación y las tasas de extinción. La especiación es un proceso evolutivo lento, que implica cambios graduales en los alelos de las poblaciones a lo largo de miles o incluso millones de años (Primack y Sher, 2016). En contraste, las tasas de extinción reflejan la velocidad con la que las especies desaparecen del planeta. Cuando las tasas de extinción superan a las de especiación, se produce una pérdida neta de biodiversidad (Primack y Sher, 2016).

Primack y Sher (2016) resaltan la problemática de la especiación y la extinción de la siguiente manera:

However, current extinction rates are much greater than speciation rates, and more than 99% of modern species extinctions are linked to human activity (Pimm and Jenkins 2005; Wake and Vrendenberg 2008). We are presently in the midst of a sixth

---

<sup>34</sup> “Cuanto más pequeña se vuelve una población, más vulnerable es a los efectos combinados de la baja diversidad genética, la variación demográfica y la estocasticidad ambiental que tienden a reducir la reproducción, aumentar las tasas de mortalidad y, por lo tanto, reducir aún más su tamaño, llevando a la población a la extinción. Esta tendencia de las pequeñas poblaciones a declinar hacia la extinción se ha comparado a un vórtice, una masa de gas o líquido en espiral hacia adentro: cuanto más se acerca un objeto al centro del vórtice, más rápido se mueve.” (La traducción es nuestra).

extinction episode, caused by human activities rather than a natural disaster (Ceballos et al. 2015).<sup>35</sup> (p. 153)

La actual sexta extinción en masa, caracterizada por la acelerada pérdida de biodiversidad por causa de las actividades humanas, ha dado lugar a un fenómeno conocido como *defaunación antropogénica*. Este término hace referencia a la disminución de especies y poblaciones silvestres, así como a la reducción en la abundancia de individuos a escala local (Dirzo et al., 2014). En este contexto, es probable que la defaunación esté afectando las redes de interacciones bióticas de tipo mutualista entre plantas y animales, al interrumpir nichos ecológicos especializados. Estos nichos, alterados por las perturbaciones humanas causadas en el ecosistema, ya no resultan adecuados para las especies especialistas que dependen de ellos (Primack y Sher, 2016).

En este sentido Primack y Sher (2016) hacen el siguiente análisis:

Once a habitat has been altered, it may no longer be suitable for specialized species (Tingley et al. 2013). For example, wetland plants that require very specific and regular changes in water level may be rapidly eliminated when human activity affects the hydrology of an area. Species with highly specific dietary requirements are also at risk. For instance, there are species of mites that feed only on the feathers of a single bird

---

<sup>35</sup> “Sin embargo, los ratios de la extinciones son mucho más grandes que los ratios de especiación, y más del 99% de las extinciones de especies modernas están vinculadas con actividades humanas (Pimm and Jenkins 2005; Wake y Vrendenberg 2008). Nosotros estamos presenciando la llovizna del episodio de la sexta extinción en masa, causada por actividades humanas, más que desastres naturales (Ceballos et al. 2015).” (La traducción es nuestra).

species. If the bird species goes extinct, so do its associated feather mite species.<sup>36</sup> (p. 171).

Por lo tanto, la pérdida de especies especialistas, junto con la proliferación de especies supergeneralistas, probablemente acelere la pérdida de biodiversidad, especialmente a escala local. Esta situación, impulsada principalmente por acciones antrópicas, contribuye al empobrecimiento de las comunidades biológicas a escalas geográficas más amplias.

De hecho, la frecuencia de las extinciones locales es significativamente mayor en especies tropicales que en aquellas de zonas templadas, estas extinciones representan una señal biológica crítica que advierte sobre el estado de vulnerabilidad de los ecosistemas tropicales (Primack y Vidal, 2019). Por lo tanto, desde la perspectiva de la restauración ecológica, resulta fundamental adoptar un enfoque integrador que contemple tanto la biodiversidad como las interacciones que ocurren dentro del capital natural. Este enfoque puede contribuir a prevenir nuevas extinciones locales, conservar la diversidad biológica y, al mismo tiempo, proteger los servicios ecosistémicos que dependen directamente de dicho capital.

En cuanto a la administración ambiental y el enfoque integrador, Jørgensen (2009) hace la siguiente apreciación:

Humans are a major force in global change and drive ecosystem dynamics, from local environments to the entire biosphere. At the same time, human societies and global economies rely on ecosystem services. As such, human and natural systems can no

---

<sup>36</sup> “Una vez que se ha alterado un hábitat, es posible que ya no sea adecuado para especies especializadas (Tingley et al. 2013). Por ejemplo, las plantas de humedales que requieren cambios muy específicos y regulares en el nivel del agua pueden eliminarse rápidamente cuando la actividad humana afecta la hidrología de un lugar. Las especies con requisitos de dieta altamente específicos también están en riesgo. Por ejemplo, hay especies de ácaros que se alimentan solo de las plumas de una sola especie de ave. Si la especie de ave se extingue, lo hace también la especie asociada de ácaros de las plumas.” (La traducción es nuestra).

longer be treated independently because natural and social systems are strongly linked. Accumulating evidence suggests that effective environmental management and conservation strategies must take an integrated approach, one that considers the interactions and feedbacks between and within social, economic, and ecological systems.<sup>37</sup> (p. 25)

#### **1.4. La importancia del ecosistema de mangle para los seres humanos**

La valoración humana de los ecosistemas de manglar está estrechamente vinculada a los servicios ecosistémicos que estos brindan, tales como los servicios de sostenimiento, culturales, de aprovisionamiento y de regulación (Hogarth, 2015). Actualmente, la relevancia de los manglares se ha evaluado principalmente en función de los procesos de extracción y aprovechamiento — es decir, de explotación— de los recursos naturales, una práctica que ha persistido en América Latina desde la época colonial hasta la actualidad, conforme al análisis propuesto por Ulloa (2017). Este tipo de procesos extractivistas, como señala Ulloa (2017), se han caracterizado por generar desigualdades, apropiaciones y despojos sobre las naturalezas y territorios, coincidiendo con las críticas de otros autores que abordan estas problemáticas, en relación con dinámicas que favorecen al extractivismo, como Moore (2016), Haraway (2015), Crist (2013) y Altvater (2014). En este contexto, la presente investigación adopta esta vía de análisis, la cual analiza y visibiliza los sesgos que promueven la recuperación de servicios ecosistémicos por medio de la justificación del bienestar para la humanidad y la naturaleza, pero que difieren

---

<sup>37</sup> “Los humanos son la mayor fuerza importante en el cambio global e impulsan la dinámica de los ecosistemas, desde los entornos locales hasta toda la biosfera. Al mismo tiempo, las sociedades humanas y las economías globales dependen de los servicios ecosistémicos. Como tal, los sistemas humanos y naturales ya no pueden ser tratados de forma independiente porque los sistemas natural y social están fuertemente vinculados. La acumulación de pruebas sugiere que las estrategias efectivas de gestión ambiental y conservación deben adoptar un enfoque integrado, que considere las interacciones y retroalimentación entre y dentro de los sistemas sociales, económicos y ecológicos.” (La traducción es nuestra).

de sus motivaciones promoviendo acciones y dinámicas que favorecen a la economía extractivista.

Ahora bien, con respecto al tema de la relación entre el extractivismo, el colonialismo y el capitalismo, Moore (2016) afirma lo siguiente:

The genius of capitalism—from the global conquests that commenced in 1492—has been to treat the work of nature as a “free gift.” From the beginning, Europe’s great empires set out deploying science in its widest sense—mapping the world, collecting and organizing biogeographical knowledge, establishing new administrative technologies—to make the whole of nature work on the cheap. These were conquests that made plunder “work” for capitalism in a way that went beyond brute force and domination. But it is hard to sustain a civilization on the basis of plunder. By itself, plunder is too episodic; too violent; and over the long run, too costly. The Spaniards discovered this quickly in the sixteenth century—the mines of Potosí, the great silver mountain, would only yield their riches through new systems of colonial control, technology, and work. They also discovered that the great divide of “Nature” and “Society” could be very useful for rendering not only land, but labor, cheap: the Spaniards referred to Peru’s indigenous peoples as *naturales*. Not all humans were part of Humanity, the better that they could deliver Cheap Nature.<sup>38</sup> (p. 112)

---

<sup>38</sup> “La genialidad del capitalismo —desde la conquista global que comenzó en 1492— ha sido tratar el trabajo de la naturaleza como un «regalo gratuito». Desde el principio, los grandes imperios de Europa se propusieron hacer uso de la ciencia en su sentido amplio —hacer mapas del mundo, reunir y organizar el conocimiento biogeográfico, establecer nuevas tecnologías administrativas— para hacer que la naturaleza entera funcione a un bajo costo. Estas fueron las conquistas que hicieron que el saqueo «funcionara» para el capitalismo de una manera que fuese más allá de la fuerza bruta y la dominación. Pero es difícil sostener una civilización sobre la base del saqueo. Por sí mismo, el saqueo es demasiado episódico; demasiado violento; y a largo plazo, demasiado costoso. Los españoles descubrieron esto rápidamente en el siglo XVI —las minas de Potosí, la gran montaña de plata, solamente produciría sus riquezas a través de nuevos sistemas de control colonial, tecnología y trabajo. También descubrieron que la gran división entre «Naturaleza» y «Sociedad» podría ser muy útil para abaratar no solamente la tierra, sino también la mano de obra: los españoles se referían a la gente indígena de Perú como *naturales*. No todos los humanos formaban parte de la Humanidad, mejor que pudieran entregar Naturaleza Barata.” (La traducción es nuestra).

Por otro lado, el concepto de *capitaloceno* resulta muy útil, como herramienta de análisis, en la medida que permite identificar las posibles razones por las cuales, en la actualidad, varios ecosistemas se encuentran en estado crítico de vulnerabilidad, debido a la concepción de la naturaleza como mera materia útil dentro de los engranajes de explotación de los procesos económicos del capitalismo actual. Dicho de otro modo, una gran variedad de los ecosistemas del planeta corren el riesgo de colapsar y desaparecer, conjuntamente con el amplio abanico de especies, poblaciones y comunidades que lo conforman, las cuales corren el riesgo de extinguirse prematuramente.

De hecho, en el más reciente *Informe Planeta Vivo (2024)* se sugiere un cambio urgente de sistema económico y financiero con respecto a los graves daños ocasionados por la explotación sistemática de las actividades humanas en los ecosistemas del planeta:

En todo el mundo, más de la mitad del PIB (55 %), es decir, unos 58 billones de dólares, depende moderada o intensamente de la naturaleza y sus servicios. Sin embargo, nuestro sistema económico actual valora la naturaleza casi a cero, impulsando la explotación insostenible de los recursos naturales, la degradación del medio ambiente y el cambio climático. Los pagos directos, los incentivos fiscales y las subvenciones que agravan el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la degradación de los ecosistemas se estiman en casi 7 billones de dólares al año. En comparación, los flujos financieros positivos para las soluciones basadas en la naturaleza ascienden a unos míseros 200 000 millones de dólares. Redirigiendo tan solo el 7,7 % de los flujos financieros negativos, podríamos cubrir el déficit de financiación de las soluciones basadas en la naturaleza y obtener beneficios para la naturaleza, el clima y el bienestar humano. Mientras que la financiación climática mundial para el sector energético se acercó a los 1,3 billones de dólares en 2021/22, la necesidad es de unos asombrosos 9 billones de dólares anuales tanto para mitigación como para adaptación hasta 2030. Del mismo modo, la transición a un sistema alimentario sostenible necesita un enorme aumento del gasto: hasta 390 000-455 000 millones de dólares anuales de fuentes públicas y privadas, todavía menos de lo que los gobiernos gastan cada año en subvenciones agrícolas perjudiciales para el medio ambiente. (WWF, 2024, p. 12)

En el contexto de los ecosistemas en América Latina, se reconoce que la importancia de estos a menudo se evalúa desde una perspectiva económica particular. Esta visión suele estar influenciada por prácticas de restauración o conservación impulsadas por actores nacionales y transnacionales, cuyo interés en dichos ecosistemas responde a agendas gubernamentales, económicas o de desarrollo, las cuales, en ocasiones, generan conflictos y violencia.

De acuerdo con este aspecto, Ulloa (2017) hace el siguiente análisis:

Las discusiones en torno al Antropoceno y el Capitaloceno no han sido centrales en los debates sobre las transformaciones y conflictos socio ambientales. Estos procesos han complejizado las relaciones desiguales que se manifiestan en lo local como nuevas dinámicas identitarias —culturales y de género— y de producción de conocimientos, así como transformaciones de prácticas cotidianas, económicas, locales y de relaciones con lo no humano. Estos procesos se reflejan en las dinámicas territoriales y en el aumento de la presencia de actores transnacionales y nacionales que inciden en lo local, que transforman los entornos, debido a las políticas nacionales y gubernamentales ambientales, económicas y de desarrollo, que generan conflictos y violencia (Ulloa, 2014). (p. 68)

La importancia de los territorios con ecosistemas ricos en biodiversidad, como los manglares, está frecuentemente vinculada a dinámicas gubernamentales y tratados internacionales y nacionales que buscan posicionarlos como escenarios clave en temas de cambio climático, biodiversidad, agua, petróleo, agronegocios y minería. Estas agendas se articulan en distintos niveles bajo las visiones del desarrollo sostenible y los mercados verdes, impulsando acciones=) centradas en los servicios ecosistémicos y los mercados de carbono.

La centralidad de los servicios ecosistémicos en estas dinámicas político-económicas responde, en gran medida, a su capacidad de establecer una interfaz entre los procesos ecológicos y las valoraciones económicas. Esta aproximación permite traducir la complejidad de los ecosistemas en términos

cuantificables y monetizables, facilitando así su integración en marcos de toma de decisiones que operan bajo lógicas de costo-beneficio.

En palabras de Begon y Townsend (2021):

We have already introduced the idea of a utilitarian view of ecosystem processes that focuses on the services that ecosystems provide for people to use and enjoy (supporting, provisioning, regulating and cultural ecosystem services [...]). The concept of ecosystem services provides an important link between ecosystem ecology and community ecology because ecosystem productivity supports the biodiversity that is so important to human welfare and happiness. The ecosystem service concept also melds together ecological, economic and sociological concerns: a key feature of ecosystem services is that values can be assigned to them so that the dollar gains associated with particular enterprises at a location can be assessed against the dollar losses associated with lost or damaged ecosystem services.<sup>39</sup> (p. 648).

Sin embargo, tales estrategias suelen pasar por alto el valor intrínseco de la naturaleza, generando problemáticas ecológicas profundas. Por ejemplo, proyectos de restauración ecológica en ecosistemas modificados pueden conducir a una pérdida redundante de biodiversidad, tal como evidencia Macintosh et al (2002).

Con respecto a los procesos actuales de transformación ambiental y cambio climático, Ulloa (2017) afirma lo siguiente:

---

<sup>39</sup> “Ya hemos introducido la idea de una visión utilitaria de los procesos ecosistémicos, que se centra en los servicios que estos prestan para el uso y disfrute de las personas (servicios ecosistémicos de apoyo, aprovisionamiento, regulación y culturales [...]). El concepto de servicios ecosistémicos establece un vínculo importante entre la ecología ecosistémica y la ecología comunitaria, ya que la productividad ecosistémica sustenta la biodiversidad, tan importante para el bienestar y la felicidad humanos. El concepto de servicio ecosistémico también integra consideraciones ecológicas, económicas y sociológicas: una característica clave de los servicios ecosistémicos es que se les puede asignar un valor, de modo que las ganancias económicas asociadas con determinadas empresas en un lugar puedan compararse con las pérdidas económicas asociadas con la pérdida o el daño de los servicios ecosistémicos.” (La traducción es nuestra).

[...]los escenarios de monocultivos y agronegocios responden tanto a lógicas de incremento de producción de alimentos para la población global, como a la producción de monocultivos para biocombustibles o como sumideros de carbono—depósitos naturales o artificiales de carbono—para confrontar el cambio climático [...] Estos escenarios propician procesos extractivos y evidencia como las transformaciones climáticas están relacionadas con dinámicas extractivas que transforman territorios, naturalezas y poblaciones. En este sentido, los procesos actuales de transformación ambiental y cambio climático se relacionan con las dinámicas de extracción global local, que responden a una lógica económica particular, el Capitaloceno (p.69)

En el caso particular de Colombia, Invemar es una entidad gubernamental encargada de la investigación ambiental básica y aplicada sobre los recursos renovables, así como del estudio de los ecosistemas costeros y oceánicos adyacentes al territorio nacional (Guhl y Leiva, 2015). No obstante, según Guhl y Leiva, (2015) las prácticas promovidas por Invemar suelen estar influenciadas por problemáticas económicas y objetivos gubernamentales, lo que dificulta asumir plenamente la responsabilidad en la gestión de los sistemas de información ambiental y limita la integración entre los análisis ecosistémicos y las complejas interacciones entre sociedad y naturaleza

De acuerdo con las limitaciones encontradas en la entidad Invemar, Guhl y Leiva (2015) afirman lo siguiente:

[...] tiene limitaciones importantes en el momento de responder por tareas rutinarias de observación y monitoreo de los sistemas naturales y socioeconómicos de la región marina y costera del país. Su trabajo por proyectos, herencia fuerte de Colciencias, le da ventajas notables en la administración de la investigación y flexibilidad frente a los cambios de énfasis de las políticas de gobierno para abordar diferentes aspectos del conocimiento marino y costero, pero esto a su vez tiende a atomizar los trabajos, que difícilmente se integran para los análisis estructurales y ecosistémicos y el estudio ambiental de las relaciones sociedad-naturaleza, y diluye sus responsabilidades frente al manejo de los sistemas de información ambiental y la generación de indicadores ambientales. (p. 171)

En este sentido, resulta pertinente cuestionar si la dilución de responsabilidades en el manejo de los sistemas de información ambiental de los ecosistemas marinos y costeros, así como en la generación de indicadores ambientales, implica un incumplimiento de la normativa vigente, que exige informar de manera adecuada sobre los aspectos ambientales relevantes para orientar un desarrollo marino y costero sostenible.

Una de las principales limitaciones para impulsar el desarrollo sostenible en el país reside en la premisa adoptada por muchas entidades gubernamentales, como Invemar, que priorizan el crecimiento económico y la atracción de inversión extranjera sin considerar adecuadamente los costos ambientales asociados (Guhl y Leyva, 2015). En este marco, diversas metodologías implementadas en programas de desarrollo sostenible, conservación o restauración ecológica suelen aumentar los valores de uso a través de actividades que generan servicios ecosistémicos específicos. (Guhl y Leyva, 2015). No obstante, la presión que estas prácticas ejercen sobre los ecosistemas conlleva transformaciones irreversibles, lo que coincide con la crítica de Altvater (2014) a la economía política y el desarrollo capitalista: un modelo que impulsa cambios cuantitativos que se traducen en alteraciones cualitativas profundas de los sistemas, afectando de manera severa la biosfera y el planeta. En otras palabras, la constante búsqueda de crecimiento económico y acumulación de capital conduce a una explotación insostenible de los recursos naturales, generando impactos graves y muchas veces irreversibles sobre los sistemas ecológicos que sostienen la vida en la Tierra.

De manera más específica, Altvater (2014) hace una crítica de la economía política y el desarrollo capitalista con respecto a los límites de la biosfera de la siguiente manera:

La crítica de la economía política sería superflua si el desarrollo capitalista pudiera ejecutarse libre de crisis y siendo irrelevantes los efectos acumulativos por

transformación de la materia y la energía. Pero eso exigiría que no existieran “puntos de inflexión” en los sistemas planetarios, como los que señaló Friedrich Engels en el *Dialéctica de la Naturaleza*, esto es, cambios cuantitativos en transformaciones cualitativas de los sistemas, incluso la posibilidad de transformación radical de sistemas planetarios en nuevos estados de agregación de la materia. (p. 8)

De hecho, las actividades derivadas del modelo económico capitalista han llevado al planeta a sobrepasar alrededor de tres límites planetarios, tal como señala Max-Neef (2010):

There are ten planetary boundaries (Rockström et al. 2009), all of which are affected by economic activity. They are: climate change, rate of biodiversity loss, nitrogen cycle, phosphorous cycle, stratospheric ozone depletion, ocean acidification, global fresh water use, change in land use, atmospheric aerosol loading, and chemical pollution. Of these 10 boundaries, three have dangerously crossed their acceptable limits.<sup>40</sup> (p. 208)

Dicho esto, es importante resaltar que el diagnóstico de los impactos negativos de las actividades humanas son de tal magnitud, que pueden ser corroborados, desde el punto de vista geológico, en la estratigrafía del planeta. Con respecto a los impactos antropogénicos sobre la geología y ecología del planeta, Van Dyke y Lamb (2020) ofrecen, a continuación, una síntesis más que oportuna:

What has appeared as anthropogenic signatures in geological sediments are indicators of changes that humans have made in the surface and ecological processes of the Earth itself, and which are now affecting the composition of biological communities, even at regional and continental. The signatures are a product of, as Waters et al., put it “three linked force multipliers: accelerated technological development, rapid growth of the human population, and increased consumption of resources. These have combined to result in increased use of metals and minerals, fossil fuels, and agricultural fertilizers and increased transformation of land and nearshore marine ecosystems for human use”

---

<sup>40</sup> “Existen diez límites planetarios (Rockström et al., 2009), todos ellos afectados por la actividad económica. Estos son: el cambio climático, la tasa de pérdida de biodiversidad, el ciclo del nitrógeno, el ciclo del fósforo, el agotamiento del ozono estratosférico, la acidificación de los océanos, el uso global de agua dulce, el cambio en el uso del suelo, la carga atmosférica de aerosoles y la contaminación química. De estos diez límites, tres han sobrepasado peligrosamente sus límites aceptables.” (La traducción es nuestra).

(Waters et al. 2016:2–3). The net effect of technological development, population growth, and resource consumption has been a conversion of natural biomes to agriculture, cities, roads, and other human constructs, and to the replacement of wild animals and plants by domesticated species to meet growing demands for food. These problems have become worse since the beginning of the so-called “Great Acceleration,” a period of dramatically increased economic activity and resource consumption that intensified these and other geologic signals of the human effect on nature (Lewis and Maslin 2015).<sup>41</sup> ( p. 84)

Ahora bien, dentro del modelo económico capitalista actual, muchas actividades se enfocan en gestionar la provisión de servicios ecosistémicos para el bienestar presente y futuro de la humanidad. No obstante, resulta fundamental cuestionar si la forma más efectiva de preservar estos servicios es a través de prácticas subordinadas a un sistema productivo que beneficia únicamente a una economía particular, en lugar de considerar la economía global del sistema más amplio: el planeta Tierra.

Por otra parte, como señala la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, el modelo basado en la extracción de recursos naturales ha

---

<sup>41</sup> “Lo que ha aparecido como signos antropogénicos en los sedimentos geológicos son indicadores de los cambios que los humanos han hecho en la superficie y en los procesos ecológicos de la Tierra misma, y los cuales están ahora afectando la composición de las comunidades biológicas, incluso a escalas regionales y continentales. Las señales son un producto de, como lo dijeron Waters et. al., «tres multiplicadores de fuerza vinculados: el desarrollo tecnológico acelerado, el crecimiento rápido de la población humana y el incremento de consumo de recursos. Estos se han combinado para dar como resultado el incremento de uso de metales y minerales, combustibles fósiles y fertilizantes agrícolas, e incremento de transformación de la tierra y ecosistemas costeros para uso humano» (Waters et al. 2016:2–3). El efecto final del desarrollo tecnológico, del crecimiento de la población y del consumo de recursos ha sido una conversión de los biomas naturales para la agricultura, las ciudades, las carreteras y otras construcciones humanas, y para el reemplazo de animales y plantas salvajes por especies domesticadas para satisfacer la creciente demanda de comida. Estos problemas se han vuelto peores desde el comienzo de la llamada «Gran Aceleración», un periodo de dramático incremento de la actividad económica y el consumo de recursos, que intensificó estas y otras señales geológicas del efecto humano sobre la naturaleza (Lewis and Maslin 2015).” (La traducción es nuestra).

impulsado el crecimiento económico, pero a costa del capital natural (Guhl y Leyva, 2015). Por ello, aunque los ecosistemas —y en particular los manglares— son valiosos para generar capitales específicos, es necesario enfocar los esfuerzos en adoptar premisas de desarrollo económico más integrales. Esto implica no solo buscar el aumento de ingresos y productividad territorial, sino también promover mejoras en las condiciones de vida de las comunidades. Asimismo, se deben impulsar alternativas que fortalezcan la autonomía de las comunidades vulnerables y, sobre todo, valorar el carácter intrínseco de la biodiversidad, los ecosistemas y los límites planetarios.

### **1.5. Estándares para la restauración ecológica y gestión de ecosistemas amenazados**

Debido a la degradación del hábitat, la contaminación, la fragmentación y el cambio climático causados por actividades antrópicas, en los últimos 50 años se ha observado un notable declive en las poblaciones de numerosas especies animales y vegetales, evidenciando su vulnerabilidad a la extinción y a puntos críticos de inflexión (WWF, 2024). Frente a esta realidad, se han establecido metas a través de acuerdos internacionales como el Acuerdo de París sobre Cambio Climático, el Marco Mundial para la Biodiversidad y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. Más recientemente, en 2024, el Marco Global de Biodiversidad (GBF) de Kunming-Montreal ha propuesto diversos objetivos para intensificar los esfuerzos en conservación, destacándose el objetivo 2, que busca restaurar el 30 % de las áreas degradadas para 2030, con el fin de fortalecer la resiliencia de los ecosistemas.

La Society for Ecological Restoration (SER) ha desarrollado principios y estándares internacionales para la práctica de la restauración ecológica (SER, 2004; SER, 2019; Nelson et al., 2024), fomentando el avance en la ciencia, la práctica y la formulación de políticas. Su objetivo es preservar la biodiversidad,

fortalecer la resiliencia frente al cambio climático y mejorar la relación entre naturaleza y cultura. Estos estándares abarcan la valoración, planeación y diseño, implementación, gestión continua, así como el monitoreo y la evaluación de los proyectos. No obstante, la aplicación de dichos estándares enfrenta desafíos metodológicos, especialmente en la planificación e implementación de estrategias para recuperar diversas especies, debido a la falta de información sobre la ecología y las complejas interacciones bióticas y abióticas que aún permanecen poco estudiadas (Hallet et al., 2013).

He aquí lo que afirman Hallet et al. (2013):

“Previous attempts to assess commonalities among restoration goals, however, have been impeded by inadequate communication between restoration ecologists and practitioners (Cabin et al. 2010) and a lack of available data (Suding 2011, but see Bernhardt & Palmer 2011)”<sup>42</sup> (p. 313)

Según investigaciones previas reportadas por Hallet et al. (2013), en proyectos de restauración ecológica considerados “ejemplares” es poco común que se integren las interacciones bióticas y abióticas a escala de paisaje. Además, en la formulación de objetivos, que suelen centrarse en restablecer atributos del ecosistema como la eliminación de amenazas, la resiliencia y la autosostenibilidad, estos aspectos rara vez se abordan de manera integral. Esta situación probablemente responde a que los atributos definidos por la SER se enfocan principalmente en patrones y procesos ecológicos vinculados a los servicios ecosistémicos, orientando así los objetivos de restauración hacia beneficios para los valores humanos, en lugar de priorizar el valor intrínseco de la biodiversidad y la naturaleza (Hallet et al., 2013).

Hallet et al. (2013) hacen énfasis en lo siguiente:

---

<sup>42</sup> Sin embargo, los intentos anteriores de evaluar los puntos en común entre los objetivos de restauración se han visto interrumpidos por una comunicación inadecuada entre los ecólogos y los profesionales de la restauración y la falta de datos disponibles (La traducción es nuestra)

The SER-defined attributes describing ecosystem form—similarity to reference conditions and presence of indigenous species—were frequently cited and often measured. Attributes related to biotic and abiotic functional interactions—presence of functional groups and the capacity of the physical environment to support populations—were also common, although these interactions were rarely considered at the landscape scale. Fewer projects had goals for ecosystem function unrelated to abiotic-biotic interactions. Attributes describing ecosystem stability—elimination of threats, resilience, and self-sustainability—were rarely reflected in project goals. The SER-defined attributes focus exclusively on ecological patterns and processes. Restoration goal setting, however, is a human-defined process based on human values (Higgs 2003).<sup>43</sup> (pp. 315-316)

Actualmente, aunque las metas y principios básicos de la restauración ecológica están siendo revisados para abordar problemáticas derivadas de su aplicación, la atención sigue centrada principalmente en la gestión y administración de los servicios ecosistémicos restaurados, sin cuestionar las políticas profundas del capitalismo depredador que afectan la economía de la naturaleza. Por ello, es fundamental reconocer que la restauración ecológica tiene límites y que existe el riesgo de que, bajo la falsa creencia de que los ecosistemas complejos son plenamente recuperables, se facilite la pérdida de áreas de conservación de alto valor. Esta situación puede favorecer esquemas de compensación que permiten intervenir en territorios cruciales para la

---

<sup>43</sup> “Los atributos definidos por SER que describen el ecosistema Forma: similitud con las condiciones de referencia y presencia de Especies autóctonas, fueron citadas con frecuencia y a menudo. Atributos relacionados con lo funcional biótico y abiótico interacciones: presencia de grupos funcionales y la capacidad del entorno físico para apoyar a las poblaciones, fueron También comunes, aunque estas interacciones rara vez fueron consideradas a escala del paisaje. Menos proyectos que tenían objetivos para la función del ecosistema no relacionada con las interacciones abiótico-biótica. Atributos que describen la estabilidad del ecosistema: eliminación de Las amenazas, la resiliencia y la autosostenibilidad rara vez Reflejado en los objetivos del proyecto. Los atributos definidos por el SER se centran exclusivamente en lo ecológico patrones y procesos. Sin embargo, el establecimiento de objetivos de restauración es un Proceso definido por humanos basado en valores humanos (Higgs 2003).” (La traducción es nuestra)

biodiversidad. En consecuencia, los gestores deben entender la vulnerabilidad y los límites de los ecosistemas ante las presiones antrópicas, incluidas aquellas relacionadas con la restauración misma, para tomar decisiones informadas y responsables (Hobbs et al., 2011).

Por otro lado, las extinciones en masa de poblaciones de especies que aun no han sido descubiertas y la disminución constante de poblaciones de éstas, deberían estar presentes en el discurso formal de los administradores de la naturaleza, como por ejemplo la desaparición de vertebrados en el Neotrópico entre 1979 y 2010, la disminución del 42% de especies de anfibios en America latina y el Caribe, 37% de mamíferos, 25% de las aves, y 18% de las especies de reptiles que clasifican como amenazadas (WWF, 2014; Primack et al., 2019).

El panorama para los ecosistemas de manglar resulta poco alentador. Estos ecosistemas, únicos desde el punto de vista ecológico y altamente productivos en términos de almacenamiento de carbono, son clave para mitigar el calentamiento global y esenciales para la vida de numerosas especies. A pesar de que representan menos del 1 % de los bosques tropicales y menos del 0.4 % de los bosques mundiales (Spalding et al., 1997), los manglares enfrentan las tasas de deforestación más elevadas. Entre 1980 y 2005, su área total disminuyó en un 19 % a nivel global (FAO, 2007; Duke et al., 2007).

Si bien procesos de origen antrópico, como la urbanización y la explotación, junto con factores asociados al cambio climático, como el aumento del nivel del mar, inciden en la deforestación de los manglares (Rivera-Monroy et al., 2004), la escasez de investigación y la limitada difusión de información agravan la crisis ecológica relacionada con la pérdida de biodiversidad en estos ecosistemas.

En la etapa de monitoreo e investigación para el diseño e implementación de proyectos de restauración ecológica, es fundamental considerar la

*ecomorfología de los manglares*, entendida como la relación entre la forma de la costa y los procesos geofísicos que la modelan. Estas características determinan los patrones estructurales y de crecimiento de los manglares, ya que sus formaciones responden a ajustes específicos que varían según el clima regional y los procesos oceanográficos. De hecho, se ha evidenciado que la variabilidad morfológica y dinámica de las costas influye directamente en la distribución de las especies de mangle, las cuales se adaptan a diferentes condiciones topográficas y a patrones locales de inundación. Así, en zonas como áreas ribereñas, franjas costeras o sectores interiores, pueden desarrollarse formaciones monoespecíficas, donde cada especie predomina según su tolerancia fisiológica a las condiciones ambientales particulares (Twilley, 2009).

Por otro lado, los vacíos ecológicos también se originan, en parte, a partir de la narrativa dominante del *capitaloceno*, la cual configura una visión ambiental basada en el extractivismo y la acumulación de capital. Esta perspectiva concibe a la naturaleza como una fuente de insumos —materiales y energéticos— destinados a la producción de valores de uso, como ocurre en la instrumentalización de los servicios ecosistémicos vinculados al funcionamiento específico de ciertas especies.

La instrumentalización de la naturaleza mediante el uso del concepto de servicios ecosistémicos ha suscitado un amplio debate académico en torno a sus implicaciones éticas y prácticas. Este debate gira en torno a una cuestión central: si dicho enfoque contribuye a perpetuar la lógica antropocéntrica propia del modelo económico dominante, o si, por el contrario, representa una oportunidad para superarla.

Por otro lado, dentro del debate académico también se aborda el problema del influjo ideológico del antropocentrismo, en su sentido más básico, el cual gira en torno a la creencia humana de que todo lo que existe giraría en torno a las

necesidades humanas y, en consecuencia, la existencia de la naturaleza no humana existiría solamente como mero medio al “servicio” de los fines de la especie humana, sin tener en cuenta a los demás seres vivos. Sin embargo, como lo acaba de indicar Begon y Townsend (2021), al mencionar la posición crítica de algunos ecólogos con respecto al marcado acento antropocéntrico inherente al concepto de servicios ecosistémicos, la naturaleza no existe para “servirnos”. Es más, para algunos autores, como es el caso de Lestel (2010), esta posición es errónea, e incluso ingenua, dado que el error más grave no consiste en ubicar a la especie humana en el centro del mundo, sino en creer que el mundo posee la intención de privilegiar a uno de sus organismos, en este caso al ser humano, en detrimento del resto de seres vivos.

En palabras de Lestel (2010):

(...) Placer l’homme au centre de tout est une façon feutrée de rejeter tout le reste dans les marges. L’erreur fatale n’est pas de placer l’homme au centre du monde, mais de croire que le monde a un centre qui privilégie indûment l’une de ses créatures aux dépens de toutes les autres.<sup>44</sup> (p. 22)

Por otro lado, es importante subrayar que, en la actualidad, es altamente probable que ningún ecosistema permanezca al margen del régimen de explotación económica, el cual se justifica bajo la lógica de los beneficios que ofrece al consumo humano. Esta visión utilitarista suele ignorar el profundo impacto que dicha explotación tiene sobre el equilibrio de la economía primaria del planeta: la naturaleza misma.

En relación con el concepto de *servicios*, Callicott (2006) afirma lo siguiente:

---

<sup>44</sup> “(...) Colocar al hombre en el centro de todo es una manera sigilosa de expulsar todo el resto al margen. El error fatal no es colocar al hombre en el centro del mundo, sino de creer que el mundo tiene un centro que privilegia indebidamente una de sus criaturas a expensas de todas las criaturas.” (La traducción es nuestra).

(...) Often overlooked by people who identify themselves first and foremost as “consumers” are the varied services performed by other species working diligently in the complexly orchestrated economy of nature (Meadows 1990; Daily 1997; Heal 2001). Green plants replenish the atmosphere with oxygen and remove carbon dioxide. Certain kinds of insects, birds, and bats pollinate flowering plants, including many agricultural species, and are being lost at a frightening rate (Buchmann and Nabhan 1996). Fungi and microbes in the soil decompose dead organic material and play a key role in recycling plant nutrients. Rhizobial bacteria turn atmospheric nitrogen into usable nitrate fertilizer for plants. If the Gaia hypothesis (Lovelock 1988) is correct, Earth’s temperature and the salinity of its oceans are organically regulated. The human economy is a subsystem of the economy of nature and would abruptly collapse if any of these and other major service sectors of the larger natural economy were to be disrupted. The scale of the impact of the human economy on the economy of nature has now become pervasive. (...).<sup>45</sup> (p. 112)

Un ejemplo de esta problemática es la proliferación de bosques de manglar mono y multiespecíficos, configurados de manera similar a plantaciones forestales, con énfasis en funciones como el almacenamiento de dióxido de carbono, conocido como “carbono azul”. Aunque estas formaciones pueden generar ciertos servicios ecosistémicos, no reproducen las características ecológicas complejas de un bosque natural, lo que dificulta sustancialmente los

---

<sup>45</sup> “(...) A menudo pasados por alto por las personas que se identifican a sí mismas ante todo como «consumidores» son los diversos servicios prestados por otras especies que trabajan diligentemente en la economía complejamente orquestada de la naturaleza (Meadows 1990; Daily 1997; Heal 2001). Las plantas verdes reponen la atmósfera con oxígeno y eliminan dióxido de carbono. Ciertos tipos de insectos, aves y murciélagos polinizan las plantas con flores, incluyendo muchas especies agrícolas, y se están perdiendo a un ritmo alarmante (Buchmann y Nabhan 1996). Los hongos y microbios en el suelo descomponen la materia orgánica muerta y desempeñan un papel clave en el reciclaje de nutrientes de las plantas. Las bacterias rizóbicas convierten el nitrógeno atmosférico en fertilizante de nitrato utilizable para las plantas. Si la hipótesis de Gaia (Lovelock 1988) es correcta, la temperatura de la Tierra y la salinidad de sus océanos están reguladas orgánicamente. La economía humana es un subsistema de la economía de la naturaleza y colapsaría abruptamente si cualquiera de estos y otros sectores de servicios importantes de la economía natural más amplia se vieran alterados. La magnitud del impacto de la economía humana sobre la economía de la naturaleza se ha vuelto omnipresente. (...)” (La traducción es nuestra).

esfuerzos de restauración ecológica y conservación (Ulloa, 2017; Flores et al., 2007).

En el caso de Colombia, aunque se encuentra entre los diez países con mayor potencial de almacenamiento de carbono en sus manglares (Yepes et al., 2016) y ocupa el segundo lugar a nivel mundial en biodiversidad (Rangel-Ch. et al., 2015), sus bosques tropicales al igual que todos los bosques de manglar enfrentan una preocupante disminución en la capacidad de almacenamiento de carbono forestal, así como una acelerada pérdida de especies, lo que contribuye a agravar aún más la crisis climática. (Yepes et al., 2016).

Ahora bien, dada la importancia y vulnerabilidad de los bosques tropicales en Colombia, la normativa ambiental nacional contempla instrumentos jurídicos orientados a enfrentar estas problemáticas. El artículo 1.º de la Ley 23 de 1973 establece disposiciones para la prevención y control del deterioro ambiental, así como para la restauración de los recursos naturales renovables (RNR). Esta ley, junto con la Ley 99 de 1993, incorpora los principios de prevención y precaución como fundamentos esenciales para la toma de decisiones ambientales. En particular, el principio de precaución, tal como lo establece la Ley 99 de 1993, señala que: *“las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente”*.

Sin embargo, a nivel normativo, la gestión ambiental no se cumple plenamente, especialmente en lo relacionado con la investigación ambiental básica y aplicada sobre los recursos naturales renovables y el medio ambiente de las zonas costeras. Asimismo, se evidencia deficiencia en la emisión de conceptos

técnicos que orienten la conservación y el aprovechamiento sostenible de estos recursos (Guhl y Leiva, 2015).

En palabras de Guhl y Leiva (2015):

Proponer estudios e investigaciones para ser realizados por otras entidades del sistema de ciencia y tecnología, así como promover la creación de redes de centros de investigación para estimular y aprovechar la capacidad científica de que dispone el país, son objetivos que se plantean para todos los institutos y que van en la dirección de articular y coordinar y potenciar la investigación científica ambiental. Este objetivo parece estar lejano hoy, 2014, veinte años después de formulada la norma, y habría que establecer los mecanismos para lograrlo, pues se trata de vincular a las ONG y a las universidades públicas y privadas en un proyecto científico que responda a la complejidad de lo ambiental (p. 156)

Incluso, Guhl y Leiva (2015) son contundentes respecto al sistema de información ambiental y señalan lo siguiente:

Si el Sistema de Información Ambiental no está funcionando como debiera, es evidente que no es por carencia de normas claras al respecto, como lo evidencian el texto anterior, el decreto 1600 y demás normas citadas en este ensayo. Hace falta un trabajo a fondo para examinar el asunto y compro-meterse institucionalmente para lograrlo. El artículo 12 del decreto 1276 y el 10° del decreto 1603 son reiterativos y asignan responsabilidades muy claras sobre el particular: Artículo 12. El manejo de información ambiental. El Invemar administrará los datos y la información ambiental correspondiente al área de su especialidad y contribuirá a su análisis y difusión, de acuerdo con lo establecido en las disposiciones que regulen el Sistema de Información Ambiental. (p. 158)

Las deficiencias estructurales del Sistema de Información Ambiental se hacen particularmente evidentes cuando se examina el estado del conocimiento sobre ecosistemas específicos de alta importancia ecológica. Esta problemática institucional se refleja directamente en la limitada disponibilidad de información científica sobre la dinámica de ecosistemas críticos, generando

vacíos de conocimiento que comprometen tanto la comprensión de los procesos ecológicos como la formulación de políticas de conservación efectivas.

Como lo indica claramente Tavera (2014) en su documento lineamientos nacionales para el monitoreo del manglar en Colombia (Convenio de asociación No 156 de 2016 Minambiente-ASOCARS):

En el contexto nacional la información sobre la dinámica de los bosques de mangles es escasa, solo algunos autores (Rodríguez, Nivia, & Garzón, 2004, Sánchez, Ulloa, & Tavera, 2004, (Sánchez, Ulloa, Tavera, & Gil, 2005, Tavera, Sánchez, Ulloa, & Zamora, 2005 y Valle, Osorno, & Gil, 2011) han abordado estudios en relación con: tasas de mortalidad y reclutamiento, incremento diamétrico y cambios en la composición florística; y en muy pocas ocasiones se relacionan éstos con las condiciones del medio (Sánchez, Ulloa, & Tavera, 2004). Es así como hay vacíos en el conocimiento lo que limita el discernimiento de las relaciones causales entre los cambios suscitados en la composición y estructura del bosque con perturbaciones sobre el ecosistema. (p.13)

Estos vacíos de conocimiento sobre ecosistemas críticos como los manglares no constituyen meramente un problema académico o de gestión local, sino que representan una limitación fundamental para comprender y anticipar transformaciones ambientales de alcance planetario. La ausencia de información sistemática sobre la dinámica de estos ecosistemas clave impide evaluar adecuadamente su capacidad de resiliencia frente a las presiones antropogénicas crecientes, lo cual cobra especial relevancia en un contexto global donde los sistemas naturales se aproximan peligrosamente a umbrales críticos de funcionamiento.

Como lo afirma el Informe Planeta Vivo (2024):

En el mundo natural, es muy probable que se produzcan varios puntos de inflexión si se mantienen las tendencias actuales, con consecuencias potencialmente catastróficas. Entre ellos hay puntos de inflexión globales que suponen graves amenazas para la humanidad y la mayoría de las especies, que dañarían los sistemas de soporte vital de la Tierra y desestabilizarían las sociedades en todas partes. (p. 7)

La restauración ecológica reconoce la importancia del conocimiento interdisciplinario y científico; sin embargo, en la planificación de acciones de restauración y más específicamente rehabilitación, muchas entidades, como Invemar, evidencian falencias metodológicas derivadas de la omisión de perspectivas multidisciplinarias. Por ejemplo, según Guhl y Leiva (2015), Invemar enfrenta dificultades en sus tareas de observación y monitoreo de áreas marino-costeras debido a análisis estructurales que se centran únicamente en la eficiencia de los resultados de restauración ecológica vinculados a servicios ecosistémicos específicos, mientras que descuida sus responsabilidades en el manejo integral de los sistemas de información ambiental y en la generación de indicadores ambientales.

Asimismo, Guhl y Leiva (2015) evidencian que el instituto Invemar, al igual que muchas otras instituciones, opera dentro de un marco político que lo obliga a “cumplir con determinados propósitos de Estado y de gobierno”, lo que condiciona sus observaciones, estudios y el seguimiento de procesos naturales y socioeconómicos, los cuales deberían ser independientes de los intereses gubernamentales. Esta visión utilitaria de la naturaleza, predominante en las entidades gubernamentales, tiende a enfocarse en la solución de problemas inmediatos, dejando de lado aquellos desafíos de largo plazo relacionados con la sostenibilidad de los ecosistemas (Guhl, 2012).

Con ello, la naturaleza ha quedado convertida en una especie de supermercado que ofrece sus productos de acuerdo con las reglas del comercio, pero a costa de olvidar los valores, las implicaciones y las complejidades de la base natural y de su oferta de servicios y su interrelación con los sistemas sociales, ignorando que, de todas maneras, es en ellas donde finalmente se sustentan la vida y las posibilidades de desarrollo. Por las razones citadas, en los últimos años la labor de apoyo de los institutos al MAVDT se ha centrado más en apoyar la solución de problemas urgentes, que en los asuntos que resultan de una visión de largo plazo que busque la sostenibilidad con base en los aportes de la ciencia y la tecnología (p. 202)

En este sentido, resulta fundamental que las entidades ambientales cumplan estrictamente con la normativa colombiana, asegurando la adecuada conservación de la diversidad genética en las metodologías aplicadas a la propagación de especies de mangle en los proyectos de restauración ecológica. Esto es especialmente relevante para las especies raras y endémicas, que además constituyen elementos clave para el mantenimiento de la biodiversidad en los ecosistemas costeros.

## **Conclusión**

Mediante este capítulo subrayamos la existencia de un sólido cuerpo de conocimiento científico que subraya la importancia crítica de la diversidad genética y la biodiversidad de especies para el funcionamiento y la supervivencia de los ecosistemas de manglar. La literatura revisada evidencia que una baja diversidad genética incrementa los riesgos de depresión endogámica y exogámica, disminuyendo la capacidad adaptativa de las poblaciones y elevando su vulnerabilidad a la extinción. Asimismo, se ha documentado ampliamente que las complejas redes de interacciones bióticas — en particular las relaciones mutualistas— son esenciales para mantener la funcionalidad ecosistémica y prevenir cascadas de extinción.

No obstante, la evidencia analizada pone de manifiesto una desconexión sistemática entre este sólido conocimiento científico y las prácticas reales de restauración ecológica en Colombia. Los proyectos evaluados, como los realizados en los esteros Julio y Gonzalo del Pacífico colombiano, en el momento de la práctica, revelan un enfoque reduccionista enfocado en la reforestación con monocultivos, sin incorporar aspectos genéticos, estudios de ecosistemas de referencia ni análisis de las complejas interacciones bióticas.

Esta desconexión no es casual, sino que refleja la subordinación de las práctica de restauración del estudio de caso, a objetivos políticos y económicos que privilegian la producción de servicios ecosistémicos específicos por encima de una conservación integral de la biodiversidad. El análisis institucional y documental por Guhl y Leyva (2015), evidencia que entidades como Invenmar operan bajo lógicas gubernamentales que priorizan resultados inmediatos y cuantificables, relegando la investigación científica rigurosa a un segundo plano.

En el contexto más amplio del *capitaloceno*, esta problemática evidencia cómo la instrumentalización económica de la naturaleza pervierte incluso las actividades supuestamente conservacionistas, convirtiéndolas en ejercicios de rehabilitación que generan ecosistemas simplificados en lugar de bosques de manglar funcionalmente complejos. Así, se produce una paradoja: aunque existe el conocimiento científico necesario para llevar a cabo restauraciones ecológicamente robustas, las presiones del modelo económico dominante dificultan su aplicación efectiva.

Por tanto, la restauración ecológica de manglares en Colombia demanda que se cumpla la transformación paradigmática que supere el enfoque utilitario vigente e incorpore criterios científicos rigurosos, capaces de reconocer el valor intrínseco de la biodiversidad y la complejidad ecosistémica, como está recomendado en la resolución No. 1263 de 2018 que adoptó los término de referencia para la formulación, complementación o actualización de los estudios de caracterización, diagnóstico y zonificación del manglar. Posiblemente, a través de este cambio, será posible diseñar intervenciones que realmente contribuyan a la conservación y recuperación de estos ecosistemas esenciales.

## **CAPÍTULO 2**

### **LIMITACIONES DEL PARADIGMA ANTROPOCÉNTRICO-REDUCCIONISTA EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE MANGLARES: HACIA UN ENFOQUE HOLÍSTICO Y BIOCÉNTRICO**

En este capítulo se abordará el tema de las limitaciones del enfoque antropocéntrico y del reduccionismo metodológico en la restauración ecológica. Para tal propósito, este capítulo se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las manifestaciones y consecuencias del reduccionismo metodológico y el antropocentrismo en la práctica de la restauración ecológica de manglares? En este orden de ideas, el objetivo de este capítulo consiste en analizar críticamente las limitaciones del paradigma antropocéntrico-reduccionista en la restauración ecológica de manglares y fundamentar la necesidad de adoptar enfoques holísticos y biocéntricos para una práctica de restauración ecológica efectiva.

Este capítulo desarrollará una crítica sistemática al paradigma dominante en la restauración ecológica de manglares mediante un análisis que progresa desde las manifestaciones específicas del problema hacia la propuesta de alternativas paradigmáticas. Este capítulo iniciará con el examen de las causas estructurales que generan pérdida de diversidad genética y biodiversidad en ecosistemas de manglar, evidenciando cómo el enfoque antropocéntrico y el reduccionismo metodológico contribuyen a estos procesos de degradación ecosistémica. Después, se profundizará en el análisis de las consecuencias ecológicas que resultan del hecho de privilegiar los monocultivos de rehabilitación sobre la biodiversidad ecosistémica, demostrando cómo estas prácticas comprometen la funcionalidad y resiliencia de los manglares.

Este capítulo tomará como estudio de caso el proyecto de restauración del Pacífico colombiano, a partir del cual se ilustrará concretamente los desaciertos metodológicos y conceptuales que caracterizan la práctica contemporánea de la restauración ecológica. También se examinará las raíces epistemológicas del problema: primero, la problemática que resulta cuando se subordina el valor intrínseco de la biodiversidad a criterios utilitarios, desde la perspectiva de un enfoque antropocéntrico, y segundo, la demostración de las limitaciones del reduccionismo metodológico para comprender sistemas caracterizados por propiedades emergentes y complejidad sistémica.

Finalmente, este capítulo culminará con la articulación de un enfoque alternativo que integra el holismo metodológico y el biocentrismo ético, proporcionando los fundamentos teóricos y prácticos necesarios para una transformación paradigmática en la restauración ecológica de manglares. Esta progresión lógica permite transitar desde la crítica destructiva hacia la propuesta constructiva, estableciendo las bases conceptuales para una práctica de la restauración ecológica que está a la altura tanto de la complejidad científica como de la riqueza ética inherente a estos ecosistemas vitales.

## **2.1. Causas de la pérdida de diversidad genética y del incremento de la pérdida de la biodiversidad de especies en el ecosistema de manglar.**

Las acciones que contribuyen a la pérdida de diversidad genética en las especies de mangle, así como a la pérdida de biodiversidad de las especies que habitan en los ecosistemas de manglar derivan en gran medida del enfoque antropocéntrico y del reduccionismo metodológico en la gestión de los ecosistemas. El *Informe Planeta Vivo* (2024) lo señala de la siguiente manera:

La naturaleza se gestiona y explota cada vez más para satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos, agua, energía, madera, fibra y otros bienes. Esta apropiación acelerada de la naturaleza está deteriorando el tejido de la vida del que todos dependemos. Las políticas y prácticas actuales suelen ignorar las múltiples contribuciones de la naturaleza a las personas en favor de un estrecho conjunto de valores de mercado centrados en el crecimiento económico a corto plazo. Las utilidades no comerciales asociadas a estas contribuciones de la naturaleza —como la regulación del clima, el suministro de agua, los suelos sanos o la alegría y el asombro que inspira— se pasan por alto y se menosprecian. Por nuestro propio bien, debemos aceptar los diversos valores de la naturaleza y asegurarnos de que se reflejen en las políticas públicas, las inversiones del sector privado y las acciones individuales a escala local, nacional y mundial (p. 20)

En este sentido, abordamos cómo estas aproximaciones contemplan las especies como entidades aisladas en su propia biología, conectadas únicamente por su capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos, en lugar de reconocerlas como elementos interconectados con el contexto que las rodea, de acuerdo a criterios ecológicos científicos. De acuerdo con la idea de que las especies encontradas en el ecosistema de manglar están interconectadas, Hogarth (2015) hace énfasis en lo siguiente:

Mangroves, seagrass meadows, coral reefs and, indeed, intervening tidal creeks and the open ocean are not isolated from each other; rather, they are interconnected by the reciprocal flow of organic matter and mineral nutrients, soluble, particulate and in the form of living and actively moving organisms.<sup>46</sup> (p. 173)

Ahora bien, una de las posibles acciones que contribuye a la pérdida de biodiversidad genética, en el contexto de la restauración ecológica en procesos de rehabilitación son las metodologías de reforestación que probablemente pueden resultar en acciones contraproducentes, durante la fase de recolección

---

<sup>46</sup> “Los manglares, praderas de pastos marinos, arrecifes de coral y, de hecho, los canales de marea intermedios y el océano abierto no están aislados entre sí; más bien, están interconectados por el flujo recíproco de materia orgánica y nutrientes minerales, solubles, particulados y en forma de organismos vivos y en movimiento activo.” (La traducción es nuestra).

debido a que según Montoya-Pfeiffer (2022), la recolección de propágulos y semillas de unos pocos individuos provoca depresión por endogamia; así mismo, la selección de propágulos y semillas provenientes de individuos geográficamente alejados genera problemas de adaptabilidad por exogamia :

No obstante, existen evidencias de que algunas actividades de restauración pueden generar efectos negativos sobre la diversidad genética, tales como el uso de propágulos y semillas provenientes de uno solo o algunos pocos individuos, lo cual puede provocar la depresión por endogamia en las nuevas poblaciones[...] o también el uso de propágulos y semillas provenientes de lugares muy alejados y diferentes al área de restauración, que puede resultar en la pérdida de adaptabilidad por exogamia. (p. 74)

Paralelamente, otra de las posibles acciones que contribuye indirectamente a la pérdida de diversidad genética —y, en consecuencia, a la pérdida de biodiversidad de especies— es la falta de priorización en la investigación de aspectos ecológicos fundamentales de la biología de las especies. Un ejemplo de esta carencia de información es la limitada comprensión de la relación entre las defoliaciones masivas es decir, mutaciones relacionadas con las deficiencias de clorofila y la baja variabilidad genética resultante de procesos de endogamia en embriones del género *Rhizophora* spp. (Klekowski et al., 1994) y que podría replicarse en poblaciones de mangle establecidas mediante reforestación en monocultivo por proyectos de restauración ecológica.

Investigation of intraspecific genetic diversity in mangrove populations can also be illuminating. Among the red mangroves of Florida and the Bahamas (*R. mangle*), studies of chlorophyll-deficient mutations indicate that the population relies predominantly on self-pollination: more than 95% of embryos appear to result from self-crossing. As a result of inbreeding, the populations contain relatively little genetic variation. *Rhizophora* tends to form dense monospecific forests. Agricultural ecosystems are also genetically uniform monocultures and, as a result, are often particularly prone to disease and pest infestations. Is the low genetic diversity of mangroves a contributory

factor in the occasional mass-defoliation episodes which have been recorded [...]?<sup>47</sup> (p. 200)

Por otro lado, la falta de atención frente a la crisis de pérdida de biodiversidad resulta evidente en la exclusión de poblaciones de especies ecológicamente indispensables para el adecuado funcionamiento y estabilidad de los ecosistemas. Diversos estudios han documentado la dependencia de los ecosistemas respecto a la diversidad de especies para mantener su estabilidad; no obstante, esta información es omitida o ignorada en ciertos proyectos de restauración.

De acuerdo con la diversidad de especies en los ecosistemas, Zanden et al. (2016) afirman lo siguiente:

The diversity-stability debate is a well-known research theme related to food webs (McCann 2000). Early studies noted that species-poor ecosystems were more likely to undergo severe fluctuations. For example, monocultures appear more susceptible to pest outbreaks, and islands are more susceptible to species invasion (Elton 1958). These observations led to the conventional wisdom that more species and more complex food webs beget stability (MacArthur 1955). In contrast, May (1973) found that species-rich mathematical food web models were less stable than simple models, thereby

---

<sup>47</sup> “La investigación de la diversidad genética intraespecífica en las poblaciones de manglares también puede ser aclaradora. Entre los manglares rojos de Florida y las Bahamas (*R. mangle*), los estudios de mutaciones deficientes en clorofila indican que la población depende superiormente de la autopolinización: más del 95 % de los embriones parecen ser el resultado del autocruzamiento. Como resultado de la endogamia, las poblaciones contienen relativamente poca variación genética. *Rhizophora* tiende a formar densos bosques monoespecíficos. Los ecosistemas agrícolas también son monocultivos genéticamente uniformes y, como resultado, a menudo son particularmente propensos a las infestaciones de enfermedades y plagas. ¿Es la baja diversidad genética de los manglares un factor contribuyente en los episodios ocasionales de defoliación masiva que se han registrado[...]?” (La traducción es nuestra)

challenging ecologists to more carefully consider how food web configuration affects stability (Rooney and McCann 2012).<sup>48</sup> (p. 307)

Ahora bien, las especies de mangle son vulnerables a la extinción<sup>49</sup> (Hogarth, 2015), asimismo, se encuentra en peligro su ecosistema y la biodiversidad de especies que habita en él, debido a las perturbaciones humanas (Lovelock et al., 2022):

Mangrove forests have declined globally from an estimated 225,000 km<sup>2</sup> in the 1970s to about 137,000 km<sup>2</sup> in 2014 [...]. This decline has led to adverse impacts on the livelihoods of coastal communities; reduced coastal protection leading to loss of property, lives, and infrastructure with extreme events; diminished fisheries; increased social conflict; reduced carbon sequestration capacity while increasing greenhouse gas (GHG) emissions; and decreased nutrient cycling and other important ecosystem

---

<sup>48</sup> “El debate sobre la diversidad y la estabilidad es un tema de investigación muy conocido relacionado con las redes alimentarias (McCann 2000). Los primeros estudios señalaron que los ecosistemas de especies pobres tenían más probabilidades de sufrir fluctuaciones severas. Por ejemplo, los monocultivos parecen más susceptibles a los brotes de plagas, y las islas son más susceptibles a la invasión de especies (Elton 1958). Estas observaciones llevaron a la sabiduría convencional de que más especies y redes alimentarias más complejas generan estabilidad (MacArthur 1955). Por el contrario, May (1973) encontró que los modelos matemáticos de redes alimentarias ricos en especies eran menos estables que los modelos simples, desafiando así a los ecólogos a considerar más cuidadosamente cómo la configuración de la red alimentaria afecta la estabilidad (Rooney y McCann 2012).” (La traducción es nuestra).

<sup>49</sup> Las especies sensibles a la extinción presentan características como de ámbito de distribución geográfico muy restringido, pocas poblaciones, poblaciones generalmente de tamaño pequeño, y un tamaño poblacional en constante disminución debido al aprovechamiento humano (Primack y Sher, 2016).

services, including those that support resilience of adjacent coral reefs and seagrass meadows [...] <sup>50</sup> (p. 1)

Por esa razón es de importancia realizar investigaciones pertinentes sobre la diversidad genética de especies de manglar, sobre todo en áreas que no han sido investigadas, aunque en Colombia se han desarrollado algunos estudios de diversidad genética del manglar de las especies *Avicennia germinans* L (Salas-leyva et al. 2009) y *Pelliciera rhizophorae* (Cerón-Souza et al. 2005), es necesario realizar más esfuerzos para comprender las dinámicas de reproducción de los individuos para evitar problemáticas derivadas de bajo flujo genético, así como también, es de importancia analizar los puntos calientes de diversidad o “hot-spots”, los cuales son sitios con altísima diversidad pero a su vez, altamente amenazados. para realizar acciones de conservación (Montoya-Pfeiffer, 2021).

Ahora bien, la restauración ecológica es una técnica que posee una base sólida de teoría ecológica, sin embargo, puede adquirir conocimientos prácticos desde la prueba y el error, por medio de experimentos que están dirigidos a obtener resultados particulares (Palmer et al, 2016)

[...] restorationists can also learn from empirical “vernacular” experimentation and traditional ecological knowledge (TEK) (Martinez 2014). Both modes of learning develop over time, based on varying trials (intentionally or otherwise) and selecting approaches that best achieve desired outcomes, informing others of advances and adapting practices to new knowledge. Both approaches also identify “what works” over multiple

---

<sup>50</sup> “Los bosques de manglares han disminuido a nivel mundial de un estimado de 225.000 km<sup>2</sup> en la década de 1970 a unos 137.000 km<sup>2</sup> en 2014 [...]. Esta disminución ha llevado a impactos adversos en los medios de vida de las comunidades costeras; reducción de la protección costera que conduce a la pérdida de propiedad, vidas e infraestructura con eventos extremos; disminución de las pesquerías; aumento del conflicto social; reducción de la capacidad de secuestro de carbono al tiempo que aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI); y disminución del ciclo de nutrientes y otros servicios ecosistémicos importantes, incluidos aquellos que apoyan la resiliencia de los arrecifes de coral adyacentes y los prados de pastos marinos.” (La traducción es nuestra).

trials, which can sometimes extend over many years. Together, science-based, experiential, and TEK approaches can guide restoration goals, treatments options, and experimental designs (Rieger et al. 2014).<sup>51</sup> (p. 13)

Sin embargo, debido a la crisis de biodiversidad, en medio de un contexto de crisis climática, es pertinente que las decisiones de la realización de prácticas empíricas de proyectos de restauración ecológica tengan precauciones con respecto a los posibles resultados desalentadores, ya que podría incrementar en cierta medida la pérdida de diversidad genética y de biodiversidad de especies. En este sentido, resulta urgente que la restauración ecológica comprenda sus límites de acción. Como lo afirma Ehrenfeld (2000), quien asegura que existen retos importantes en la recuperación de especies en peligro, como también la contemplación de una gran cantidad de conocimientos ecológicos que aun no son claros, lo que podría producir que la restauración de especies termine en fracaso.

He aquí lo que afirma Ehrenfeld (2000):

There are several problems, however, that may be associated with attempts to restore individual species [...] First, the definition of a species' habitat, which is an essential, primary step in defining conditions for both conservation and restoration, can involve implicit, unrecognized knowledge of ecosystem- or landscape-level interactions and processes. Failure to understand the larger-scale processes may lead to failure of

---

<sup>51</sup> “[...] Los restauracionistas también pueden aprender de la experimentación empírica «vernácula» y del conocimiento ecológico tradicional (TEK) (Martinez 2014). Ambos modos de aprendizaje se desarrollan con el tiempo, basándose en diferentes pruebas (intencionalmente o de otra manera) y en la selección de enfoques que mejor logren los resultados deseados, informando a otros de los avances y adaptando las prácticas a nuevos conocimientos. Ambos enfoques también identifican «lo que funciona» a través de múltiples pruebas, que a veces pueden extenderse durante muchos años. Juntos, los enfoques basados en la ciencia, experienciales y TEK pueden guiar los objetivos de restauración, las opciones de tratamientos y los diseños experimentales (Rieger et al. 2014).” (La traducción es nuestra).

reintroducciones, many of which may appear paradoxical (Montalvo et al. 1997).<sup>52</sup> (pp. 3-4)

La comprensión de que la restauración tiene límites y que no todas las perturbaciones se pueden tratar de manera empírica, es importante para diseñar estrategias de investigación más efectivas, donde se comprenda más a profundidad la complejidad de los ecosistemas y sus especies. Un ejemplo de los riesgos de la restauración ecológica efectuada sin los suficientes conocimientos ecológicos, es postulada por Ehrenfeld (2000):

Another problem, sometimes associated with species based restoration, is the ancillary damage done to other species as a result of an intense effort focused on one species. Meffe (1992), for example, described attempts to restore salmonid fisheries in the Pacific Northwest as “techno-arrogance” because the methods used to increase fish populations are causing a variety of other conservation problems, such as increased fishing of native salmon stocks and genetic “pollution” of native populations [...] Thus, the agency or group that decides which species should be the object of restoration efforts may inadvertently cause the loss of habitat for species for which there are no competing interest groups to generate public support.<sup>53</sup> (p. 4)

---

<sup>52</sup> “Sin embargo, existen varios problemas que pueden estar asociados con los intentos de restaurar especies individuales [...] En primer lugar, la definición del hábitat de una especie, que es un paso esencial y primario para definir las condiciones tanto para la conservación como para la restauración, puede implicar un conocimiento implícito y no reconocido de las interacciones y procesos a nivel de ecosistema o paisaje. La falta de comprensión de los procesos a mayor escala puede llevar al fracaso de las reintroducciones, muchas de las cuales pueden parecer paradójicas (Montalvo et al., 1997).” (La traducción es nuestra).

<sup>53</sup> “Otro problema, a veces asociado con la restauración basada en especies, es el daño adicional que se produce a otras especies como resultado de un esfuerzo intenso centrado en una sola. Meffe (1992), por ejemplo, describió los intentos de restaurar las pesquerías de salmónidos en el Pacífico Noroeste como «arrogancia tecnológica», ya que los métodos empleados para aumentar las poblaciones de peces están causando diversos problemas de conservación, como el aumento de la pesca de poblaciones de salmón nativas y la «contaminación» genética de las poblaciones nativas. [...] Por lo tanto, la agencia o el grupo que decide qué especies deben ser objeto de los esfuerzos de restauración puede causar inadvertidamente la pérdida de hábitat de especies para las que no existen grupos de interés que compitan entre sí para generar apoyo público.” (La traducción es nuestra).

No obstante, aunque se logre comprender la ecología y muchas de las interacciones que actualmente son desconocidas y se modifiquen los esfuerzos de restauración para beneficiar la diversidad genética, si no se produce un cambio ideológico fundamental, estos esfuerzos seguirán orientándose hacia el restablecimiento de servicios ecosistémicos dirigidos a proporcionar bienestar exclusivamente a la especie humana. Esta perspectiva instrumental impide el desarrollo adecuado de las interacciones bióticas y abióticas con sus correspondientes funciones ecológicas, lo que conducirá no solo a la degradación de las especies de manglar, sino de cualquier otra especie que se pretenda recuperar bajo esta ideología de explotación. Por tanto, la transformación hacia enfoques ecocéntricos emerge como una necesidad imperativa para el éxito a largo plazo de los programas de restauración ecológica.

## **2.2. Monocultivos de rehabilitación ecológica versus biodiversidad ecosistémica: efectos en la funcionalidad y resiliencia de los manglares**

La rehabilitación encaminada a la restauración ecológica de algunos sistemas ecológicos perturbados, como los ecosistemas de manglar, busca restablecer en ciertas ocasiones, funciones específicas, como los de estructura, utilizando técnicas de reforestación en monocultivo.

Con respecto a la rehabilitación López-Portillo et al. (2017) aseguran lo siguiente:

In contrast, rehabilitation is not defined as a return to previously existing conditions, a view characterized as “the myth of carbon copy” (Hilderbrand et al. 2005), but to a defined “better” or improved state (Lewis 1990). It has been proposed that rehabilitation is aligned with restoration as both management strategies generally take a culturally acceptable original (pre anthropogenic era, sensu Crutzen and Stoermer 2000) or

historic ecosystem/landscape as a reference for planned initiatives to halt degradation and initiate more sustainable ecosystem trajectories (Aronson et al. 2007)<sup>54</sup> (p. 301)

No obstante, diversos estudios han documentado que la reforestación de manglares mediante técnicas de monocultivo puede tener consecuencias negativas para la biodiversidad. Por ejemplo, Macintosh et al. (2002) observaron que en áreas restauradas bajo este enfoque, la diversidad de especies es significativamente menor en comparación con zonas de manglar bien conservadas. Este tipo de rehabilitación, centrada en pocas especies, conlleva además una pérdida sustancial de variabilidad genética (Hogarth, 2015), lo que puede limitar la capacidad adaptativa de las especies frente a cambios ambientales y climáticos. De forma paralela, las acciones antrópicas que generan fragmentación del hábitat también afectan negativamente el flujo de diversidad genética. Esta interrupción puede favorecer la depresión por endogamia y otros problemas asociados a la disminución del tamaño poblacional (Primack y Vidal, 2019).

En palabras de Primack y Vidal (2019):

La fragmentación del hábitat puede precipitar la declinación y extinción de una población que se distribuye en forma amplia, dividiéndola en dos subpoblaciones o más, cada una localizada en un área restringida y con una cantidad limitada de compañeros para aparearse. Estas poblaciones más pequeñas son más vulnerables a la depresión endogámica, a la deriva genética y a otros problemas asociados con un tamaño poblacional pequeño [...]. Mientras que un área grande de hábitat podía mantener una sola población grande, es posible que ninguno de los fragmentos pueda

---

<sup>54</sup> “Por el contrario, la rehabilitación no se define como un retorno a las condiciones previamente existentes, una visión caracterizada como «el mito de la copia al carbono» (Hilderbrand et al. 2005), sino a un estado definido «mejor» o mejorado (Lewis 1990). Se ha propuesto que la rehabilitación esté alineada con la restauración, ya que ambas estrategias de gestión generalmente toman un original culturalmente aceptable (era pre-antrópica, sensu Crutzen y Stoermer 2000) o un ecosistema/paisaje histórico como referencia para las iniciativas planificadas para detener la degradación e iniciar trayectorias ecosistémicas más sostenibles (Aronson et al. 2007)” (La traducción es nuestra).

mantener una subpoblación lo bastante grande para subsistir por un periodo largo. (p. 174)

Otra de las posibles consecuencias de la disminución del flujo genético por ejemplo se puede apreciar en la especie *Rhizophora mangle* que tiende a formar bosques monoespecíficos, lo cual podría producir mutaciones a nivel genómico y en consecuencia estas mutaciones se relacionan con deficiencias de clorofila (Hogarth, 2015). De acuerdo a la baja diversidad genética de las especies de mangle, Hogarth (2015) afirma lo siguiente:

Investigation of infraspecific genetic diversity in mangrove populations can also be illuminating. Among the red mangroves of Florida and the Bahamas (*R. mangle*), studies of chlorophyll-deficient mutations indicate that the population relies predominantly on self-pollination: more than 95% of embryos appear to result from self-crossing. As a result of inbreeding, the populations contain relatively little genetic variation. *Rhizophora* tends to form dense monospecific forests. Agricultural ecosystems are also genetically uniform monocultures and, as a result, are often particularly prone to disease and pest infestations. Is the low genetic diversity of mangroves a contributory factor in the occasional mass-defoliation episodes which have been recorded?<sup>55</sup> (p. 200)

Ahora bien, la baja diversidad genética de las poblaciones de mangle suele ser baja en los límites extremos de su área geográfica, lo cual tiene implicaciones en la capacidad de resistir a cambios climáticos o perturbaciones. Sin embargo (Hogarth, 2015) plantea preguntas importantes como: ¿aumentar

---

<sup>55</sup> “La investigación de la diversidad genética infraespecífica en las poblaciones de manglares también puede ser esclarecedora. Entre los manglares rojos de Florida y las Bahamas (*R. mangle*), los estudios de mutaciones deficientes en clorofila indican que la población depende predominantemente de la autopolinización: más del 95 % de los embriones parecen ser el resultado del autocruzamiento. Como resultado de la endogamia, las poblaciones contienen relativamente poca variación genética. *Rhizophora* tiende a formar densos bosques monoespecíficos. Los ecosistemas agrícolas también son monocultivos genéticamente uniformes y, como resultado, a menudo son particularmente propensos a las infestaciones de enfermedades y plagas. ¿Es la baja diversidad genética de los manglares un factor contribuyente en los episodios ocasionales de defoliación masiva que se han registrado?”. (La traducción es nuestra).

artificialmente la diversidad genética de la población en expansión ofrecería mejores perspectivas de éxito a largo plazo? (Hogarth, 2015), y ¿posiblemente se podrían aplicar a futuras investigaciones con respecto a la situación de los monocultivos de poblaciones de mangle?

[...] Are the pioneering populations at the present extremities of geographical range, in general, more likely to be successful at further extending their range? Or would artificially increasing the genetic diversity of the expanding population offer better long-term prospects for success? Similar considerations, of course, apply to some degree to almost any mangrove replanting or rehabilitation project.<sup>56</sup> (p. 201)

Las interrogantes sobre la diversidad genética en poblaciones de mangle se extienden naturalmente hacia consideraciones más amplias sobre la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas de manglar. La diversidad genética limitada en poblaciones pioneras no solo afecta la capacidad de adaptación de las especies individuales, sino que también influye en la dinámica del ecosistema en su conjunto. Esta relación entre diversidad genética y estabilidad ecosistémica resulta particularmente relevante ante el hecho de que los manglares enfrentan múltiples presiones ambientales, lo que exige tanto variabilidad genética; así como diversidad de especies en la comunidad para mantener su funcionalidad a largo plazo.

En este orden de ideas, el funcionamiento del ecosistema y su resiliencia dependen en gran medida de dos factores clave: las perturbaciones de origen antrópico y la diversidad de especies que habitan en estos sistemas. En este sentido, Nordhaus et al. (2019) demuestran cómo la complejidad del ecosistema y la composición de las comunidades de especies varían en función

---

<sup>56</sup> “¿Es más probable que las poblaciones pioneras en las extremidades actuales de los límites geográficos, en general, tengan éxito en ampliar aún más su alcance? ¿O aumentar artificialmente la diversidad genética de la población en expansión ofrecería mejores perspectivas de éxito a largo plazo? Consideraciones similares, por supuesto, se aplican hasta cierto punto a casi cualquier proyecto de replantación o rehabilitación de manglares.” (La traducción es nuestra)

de la intensidad y tipo de perturbaciones humanas. Por su parte, Hogarth (2015) señala que una mayor diversidad de especies está directamente relacionada con un incremento en la productividad primaria.

Analysis of several hundred such studies, across a range of species and ecosystems, strongly supports the conclusion that greater species diversity is generally associated with greater primary production [...] <sup>57</sup> (p. 206)

La productividad primaria aumenta inicialmente con la inclusión de grupos funcionales<sup>58</sup>, pero no necesariamente siempre es de este modo, la inclusión de diferentes grupos funcionales puede causar competencias entre las especies, debido a que pueden actuar a un mismo nivel trófico, por otro lado el incremento de la riqueza de las especies en los grupos funcionales podría incrementar estabilidad y previsibilidad en el ecosistema (Hogarth, 2015)

Once an appropriate mix of functional groups has been reached, adding further species may intensify competitive interactions between species, but will not significantly enhance productivity of the ecosystem as a whole. A further increase in species richness may increase stability and predictability of the ecosystem without a concomitant increase in productivity. <sup>59</sup> (p. 207)

---

<sup>57</sup> “El análisis de varios cientos de estudios de este tipo, en una gama de especies y ecosistemas, apoya firmemente la conclusión de que una mayor diversidad de especies generalmente se asocia con una mayor producción primaria [...]” (La traducción es nuestra).

<sup>58</sup> El concepto de *grupos funcionales* es comúnmente utilizado en el ámbito de la restauración ecológica. Según Hogarth (2015), un grupo funcional se define como una forma particular de aprovechar los recursos del entorno. Por ejemplo, aunque árboles, arbustos y algas epífitas operan dentro del mismo nivel trófico, lo hacen de maneras muy distintas.

<sup>59</sup> “Una vez que se ha alcanzado una combinación adecuada de grupos funcionales, agregar más especies puede intensificar las interacciones competitivas entre especies, pero no mejorará significativamente la productividad del ecosistema en su conjunto. Un aumento adicional en la riqueza de especies puede aumentar la estabilidad y la previsibilidad del ecosistema sin un aumento concomitante de la productividad.” (La traducción es nuestra).

Ahora bien, la declinación de poblaciones de especies es proporcional a la funcionalidad, por lo tanto a medida que las especies disminuyen las interacciones importantes con otras especies puede que no tengan un impacto notable en el ecosistema y como resultado las especies no pueden cumplir con su función ecológica (O'Brien et. al., citados por Dunning et. al., 2006):

[...] As the density of a species decreases, functionality also decreases. Thus as the species declines, it may cease to be an important interactor with other species, may no longer have a noticeable impact on the ecosystem, or be unable to fulfill its ecological role. A species' ecological role may be defined by the effects it has on the abundance, distribution, or behavior of other species, an abiotic component of its ecosystem, or by the unique ecological phenomena it represents.<sup>60</sup> (p. 435)

Ahora bien, en el contexto de la restauración ecológica aseguran que cuando un ecosistema ha sido perturbado por acciones antropicas se pierden o se ganan grupos funcionales, los cuales generan una retroalimentación asociada con el mantenimiento de diferentes de comunidades, lo cual puede generar que el sistema incremente su habilidad para absorber el impacto de la perturbación sin sacrificar la función (Suding et al., 2016):

For example, managers are often faced with situations where functional groups have either been lost (e.g., overexploitation of top predators by overfishing) or gained (e.g., introduction of exotic N-fixing plants). As functional group abundance shifts, the feedbacks associated with maintaining different community types may also shift,

---

<sup>60</sup> Desde la perspectiva de la conservación, se utiliza el término *poblaciones ecológicamente funcionales*. En relación con este concepto, O'Brien et. al. (citados por Dunning et. al., 2006) destacan que si aspiramos a mantener la compleja red de interacciones dentro de las comunidades ecológicas, debemos ir más allá de asegurar únicamente la persistencia de las especies objetivo. En su lugar, el objetivo principal debe ser conservar poblaciones lo suficientemente grandes como para que puedan desempeñar sus funciones ecológicas, y así contribuir a la preservación de la complejidad de las interacciones comunitarias. A estas poblaciones con tamaños adecuados para cumplir dicho rol se las denomina *poblaciones ecológicamente funcionales* (PEF).

compromising the ability of the system to absorb disturbance without sacrificing function (DeAngelis 2012).<sup>61</sup> (p. 42)

En la misma línea de argumentos, se han establecido un debate importante, el cual se pregunta , ¿ Si el efecto de muestreo es un mecanismo biológico real que opera en la naturaleza o es un artefacto experimental aleatorio de especies para reunir comunidades experimentales? “Sampling effect”, o efecto de muestreo, es la preferencia del uso de comunidades que tienen una relación positiva con funciones ecosistémicas (Jørgensen, 2009).

De acuerdo al establecimiento del debate Jørgensen (2009) afirma lo siguiente:

Critics argue that a positive relationship between species diversity and ecosystem function is a sampling artifact rather than a result of experimentally manipulated biodiversity per se. Such a ‘sampling effect’ can arise because communities comprising more species have a greater chance of being dominated by the most productive taxa. Yet, controversy surrounding the ‘sampling effect’ itself exists given the duality in its possible interpretation: is this a real biological mechanism that operates in nature or is it an experimental artifact of using random draws of species to assemble experimental communities?<sup>62</sup> (p. 23)

---

<sup>61</sup> “Por ejemplo, los gerentes a menudo se enfrentan a situaciones en las que los grupos funcionales se han perdido (por ejemplo, la sobre explotación de los principales depredadores por sobrepesca) o se han ganado (por ejemplo, la introducción de plantas exóticas de fijación de N). A medida que la abundancia del grupo funcional cambia, las retroalimentación asociadas con el mantenimiento de diferentes tipos de comunidad también pueden cambiar, comprometiendo la capacidad del sistema para absorber la perturbación sin sacrificar la función (DeAngelis 2012)” (La traducción es nuestra).

<sup>62</sup> “Los críticos argumentan que una relación positiva entre la diversidad de especies y la función del ecosistema es un artefacto de muestreo, más que el resultado de la biodiversidad manipulada experimentalmente en sí. Este «efecto de muestreo» puede surgir porque las comunidades con más especies tienen mayor probabilidad de estar dominadas por los taxones más productivos. Sin embargo, existe controversia en torno al propio «efecto de muestreo», dada la dualidad en su posible interpretación: ¿se trata de un mecanismo biológico real que opera en la naturaleza o de un artefacto experimental consistente en extraer especies al azar para formar comunidades experimentales?” (La traducción es nuestra).

Por otro lado, en el contexto de la restauración ecológica el conocimiento acerca de las dinámicas que contribuyen a la resiliencia<sup>63</sup>, es decir a las dinámicas que absorben las perturbaciones de los ecosistemas, aun no son bien entendidas y los métodos para la medición de estas dinámicas también siguen siendo inciertas (Suding et al., 2016):

In extending restoration to resilience, a primary challenge is that while the concept of resilience has widespread appeal, the mechanisms contributing to it are not yet well understood, and methods for measuring it are also still largely uncertain (Folke 2006)<sup>64</sup> (p. 44)

De hecho, de acuerdo con el concepto de grupos funcionales, en el contexto de la restauración ecológica se han identificado varias deficiencias, como lo identifica Carlucci et al. (2020):

A common approach has been to classify species into “functional groups” a priori, and then trust that reintroducing members of each group would restore the targeted ecosystem services (Perring et al. 2012). Nonetheless, a priori grouping of species into “functional groups” has several shortcomings. First, the performance of a species in a given functional group may be context dependent, as the performance of a function may be determined by trait-environment interactions (Brancalion et al. 2019a). Second, a species may belong to more than one functional group, and thereby perform several services in varying degrees (Díaz et al. 2007). Third, the link between species and ecosystem services is mediated by effect traits, that is, those that impact ecosystem processes (Lavorel & Garnier 2002; Violle et al. 2007). Species have multiple effect traits

---

<sup>63</sup> En relación con la definición de *resiliencia*, Palmer et al. (2016) señalan que el concepto fue introducido originalmente por C.S. Holling en 1973, como una medida de la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones. Desde entonces, su significado ha evolucionado para abarcar no solo la persistencia de los sistemas, sino también su capacidad para adaptarse a lo largo del tiempo y frente a condiciones cambiantes.

<sup>64</sup> “En la restauración que se extiende a la resiliencia, un desafío principal es que, si bien el concepto de resiliencia tiene un atractivo generalizado, los mecanismos que contribuyen a él aún no se entienden bien, y los métodos para medirlo también siguen siendo en gran medida inciertos (Folke 2006)” (La traducción es nuestra).

that contribute independently or jointly to ecosystem services (Gamfeldt et al. 2008).<sup>65</sup> (p. 1373)

Ahora bien, aunque aún no se cuenta con un conocimiento preciso sobre los grupos funcionales en el contexto de la restauración ecológica y su integración en ecosistemas perturbados (Palmer et al., 2016), es fundamental que los objetivos de restauración no se limiten únicamente a aquellos grupos que presentan una relación positiva con funciones ecosistémicas específicas. También debe prestarse atención a los organismos que forman parte de las múltiples y complejas interacciones que caracterizan a los ecosistemas. Así pues, estos organismos poseen un valor intrínseco y, por tanto, deben ser protegidos, independientemente de su rol funcional.

En palabras de O'Brien et. al. (citados por Dunning et. al., 2006):

Finally, we consider the rich web of interactions that define natural communities worthy of protection for intrinsic reasons alone (Callicott et al. 1999; Callicott and Mumford 1997; Redford and Richter 1999)<sup>66</sup> (p. 436)

---

<sup>65</sup> “Un enfoque común ha sido clasificar a las especies en «grupos funcionales» a priori, y luego confiar en que reintroducir a los miembros de cada grupo restauraría los servicios de ecosistemas específicos (Perring et al. 2012). Sin embargo, la agrupación a priori de especies en «grupos funcionales» tiene varias deficiencias. En primer lugar, el rendimiento de una especie en un grupo funcional determinado puede depender del contexto, ya que el rendimiento de una función puede estar determinado por las interacciones rasgo-entorno (Brancaion et al. 2019a). En segundo lugar, una especie puede pertenecer a más de un grupo funcional y, por lo tanto, realizar varios servicios en diversos grados (Díaz et al. 2007). En tercer lugar, el vínculo entre las especies y los servicios del ecosistema está mediado por los rasgos de efecto, es decir, aquellos que afectan los procesos del ecosistema (Lavorel & Garnier 2002; Violle et al. 2007). Las especies tienen múltiples rasgos de efecto que contribuyen de forma independiente o conjunta a los servicios del ecosistema (Gamfeldt et al. 2008)” (La traducción es nuestra).

<sup>66</sup> “Finalmente, consideramos la rica red de interacciones que definen a las comunidades naturales dignas de protección solo por razones intrínsecas (Callicott et al. 1999; Callicott y Mumford 1997; Redford y Richter 1999)” (La traducción es nuestra).

Ahora bien, en esta línea de ideas, es importante destacar los estudios que analizan la notable biodiversidad que habita en los bosques de manglar y su estrecha relación ecológica con los árboles de mangle. Aunque los manglares tienden a organizarse de forma relativamente homogénea, ya sea en parches monoespecíficos o en pequeños grupos de especies, albergan una gran diversidad biológica (Hogarth, 2015):

Mangroves tend to arrange themselves into relatively homogeneous, almost monospecific patches or bands, often aligned with physical gradients of the environment [...] At a scale of hectares, a mangrove forest may encompass many species and be regarded as relatively diverse<sup>67</sup> (p. 207)

Entre las especies que habitan el ecosistema de manglar podemos resaltar la presencia de diferentes ensamblajes de especies de aves, de hecho, estudios como los de Mohd-Azlan et al. (2015), demuestran que la heterogeneidad del hábitat, influye en la composición de las especies, en los manglares, y que la heterogeneidad proporciona nichos en un espacio determinado, y a su vez esta asociado con el aumento en la riqueza de especies de aves. En este mismo sentido, se resalta la importancia de la presencia de comunidades funcionales de plantas en los ecosistemas de mangle, ya que éstas determinan muchos ensamblajes de especies de aves en el ecosistema Mohd-Azlan et al. (2015).

De acuerdo con la composición de especies de aves Mohd-Azlan et al. (2015) afirman lo siguiente:

Consistent with MacArthur and MacArthur's [...] model, vegetation structure is a primary determinant of the composition of many bird species assemblages. In arid Australian landscapes comprising simple habitats, bird community composition is determined by breeding requirements and vegetation structure rather than resource

---

<sup>67</sup> “Los manglares tienden a organizarse en parches o bandas relativamente homogéneos, casi monoespecíficos, a menudo alineados con gradientes físicos del medio ambiente [...] En una escala de hectáreas, un bosque de manglares puede abarcar muchas especies y considerarse relativamente diverso.” (La traducción es nuestra)

availability and disturbance regimes [...]. Structurally simple mangrove forests may affect the bird community in a similarly deterministic way. Besides being an important factor in contributing to the increase in species richness and diversity, habitat structure is also an important determinant influencing habitat selection and distribution of species, especially in complex habitats such as tropical forest [...]<sup>68</sup>. (pp. 119-120)

Muchas especies de aves dependen primariamente del alimento que se encuentra en los arboles de manglar, o de la fauna invertebrada que habita en los arboles de mangle, en este sentido Hogarth (2015) afirma lo siguiente:

Many mangrove birds, particularly passerines, depend primarily for food on the trees themselves, or their associated invertebrate fauna. Analysis of feeding behaviour of the birds of Panamanian mangroves suggests a number of largely insectivorous guilds. Some 33 species, mainly warblers, gleaned insects from leaves, woodpeckers and similar birds (12 species in all) foraged in bark, flycatchers (15 species) caught winged insects in the air, and eight species of hummingbird caught insects and spiders by hovering, as well as feeding on nectar (Lefebvre and Poulin 1997)<sup>69</sup> (p.99)

---

<sup>68</sup> “De acuerdo con MacArthur y el modelo [...] de MacArthur, la estructura de la vegetación es un determinante principal de la composición de muchos conjuntos de especies de aves. En los áridos paisajes australianos que comprenden hábitats simples, la composición de la comunidad de aves está determinada por los requisitos de reproducción y la estructura de la vegetación en lugar de la disponibilidad de recursos y los regímenes de perturbación [...]. Los bosques de manglares estructuralmente simples pueden afectar a la comunidad de aves de una manera igualmente determinista. Además de ser un factor importante para contribuir al aumento de la riqueza y diversidad de las especies, la estructura del hábitat también es un determinante importante que influye en la selección y distribución del hábitat de las especies, especialmente en hábitats complejos como el bosque tropical [...]” (la traducción es nuestra)

<sup>69</sup> “Muchas aves de manglares, particularmente los pasiones, dependen principalmente de la comida de los propios árboles, o de su fauna invertebrada asociada. El análisis del comportamiento de alimentación de las aves de los manglares panameños sugiere una serie de gremios en gran parte insectívoros. Unas 33 especies, principalmente currucas, insectos recogidos de hojas, pájaros carpinteros y aves similares (12 especies en total) envejecidas en corteza, los cazamoscas (15 especies) atraparon insectos alados en el aire, y ocho especies de colibríes atraparon insectos y arañas al volar, además de alimentarse de néctar (Lefebvre y Poulin 1997)” (La traducción es nuestra).

Por otro lado, en el manglar también se pueden encontrar mamíferos, que comúnmente habitan en ecosistemas diferentes cercanos al ecosistema de manglar, en ocasiones se encuentran algunos mamíferos que han sido eliminados en otros ecosistemas (Hogarth, 2015):

Few mammals are characteristic of mangrove habitats. Most species found in mangroves are those that occur in adjacent habitats, although in some cases mangroves harbour species that have been eliminated elsewhere. Those that do occur in mangroves avoid immersion by being either highly mobile or tree-living. <sup>70</sup> (p. 102)

Dentro de la gran variedad de mamíferos que visitan el ecosistema de manglar se encuentran delfines, nutrias, mapaches, ciervos, antílopes, venados, cerdos salvajes, roedores, tigres de Bengala, búfalos, entre otros (Hogarth, 2015). Ninguna de estas especies es especialista exclusiva del ecosistema de manglar; sin embargo, existen algunos mamíferos que habitan estrictamente en este ambiente (Hogarth, 2015).

En cuanto a otras especies presentes en los manglares, especialmente en Colombia, destacan las hormigas pertenecientes a las subfamilias Dolichoderinae, Formicinae, Myrmicinae y Pseudomyrmicinae. Estas son conocidas por establecer relaciones mutualistas con homópteros de la superfamilia Coccoidea y la familia Pseudococcidae (Ortiz et al., 2018). Además, se ha reportado una interacción mutualista entre termitas y hongos: cuando el hongo *Cytospora rhizophorae* invade al mangle rojo, facilita la colonización del árbol por hormigas y diversos insectos, lo que favorece su reproducción (Ortiz et al., 2018).

---

<sup>70</sup> “Pocos mamíferos son característicos de los hábitats de los manglares. La mayoría de las especies que se encuentran en los manglares son aquellas que se encuentran en hábitats adyacentes, aunque en algunos casos los manglares albergan especies que han sido eliminadas en otros lugares. Los que ocurren en los manglares evitan la inmersión al ser altamente móviles o de vida de árboles.” (La traducción es nuestra).

De acuerdo con la relación termita y hongo en el mangle rojo, Ortiz et al. (2018) afirma lo siguiente:

En los manglares no existen estudios que refieran el papel de las hormigas como agentes mecánicos de bacterias fitopatógenas, sin embargo Tattar y wier, relacionan la presencia de las termitas dentro de lesiones en mangle rojo y su posible papel como agentes mecánicos de *Cytospora rhizophorae*. Estos insectos habitan las lesiones causadas por el hongo y luego entran en contacto con partes sanas del árbol. La investigación sugiere que la relación termita-hongo puede ser de tipo mutualista, pues el hongo podría estar ayudando a las termitas a descomponer la corteza del mangle para facilitar su colonización por parte de los insectos a cambio de un medio seguro de propagación (p. 120)

Por otro lado, las bacterias de los géneros *Marinobacterium*, *Microcoleus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Clostridium* y *Klebsiella* han estado vinculadas a ciclos del nitrógeno y fósforo, los cuales son elementos esenciales para el crecimiento de los arboles de mangle (Ortiz et al., 2018). Ahora bien, quizás una de las dinámicas más importantes en el ecosistema de manglar es provocada por los cangrejos los cuales pueden llegar a influenciar la estructura del bosque, dinámicas de suelo y ciclo de nutrientes (Jørgensen, 2009).

Con respecto a las especies de cangrejos, Jørgensen (2009) afirma lo siguiente:

One of the most published links between mangrove biodiversity and ecosystem function may be the presence of crabs in mangrove wetlands. Crabs can influence forest structure, litter dynamics, and nutrient cycling of mangrove wetlands, suggesting that they are a keystone guild in these forested ecosystems<sup>71</sup> (pp. 310-311)

---

<sup>71</sup> “Uno de los vínculos más publicados entre la biodiversidad de los manglares y la función del ecosistema puede ser la presencia de cangrejos en los humedales de los manglares. Los cangrejos pueden influir en la estructura forestal, la dinámica de los camadas y el ciclo de nutrientes de los manglares, lo que sugiere que son un gremio clave en estos ecosistemas forestales” (La traducción es nuestra).

Los cangrejos, como la especie *Clibanarius panamensis* también juegan un papel importante siendo depredadores de percebes en las raíces de los árboles de mangle, junto con otras especies, como los caracoles *Thais kiosquiformis* y *Morula lugubris* (Hogarth, 2015). De hecho, el rol de estas especies es importante en la salud y permanencia de los árboles de mangle:

Barnacle encrustation can reduce root growth. When their natural predators were excluded from the aerial roots of the red mangrove, *Rhizophora mangle*, in Costa Rica, *Balanus* coverage increased dramatically, reaching more than 80%, blocking lenticels and reducing gas exchange and respiration: root production fell by 52%. The key predators in this case were the snails *Thais kiosquiformis* and *Morula lugubris* and the hermit crab *Clibanarius panamensis* (Perry 1988).<sup>72</sup> (p. 108)

Los organismos incrustantes en los manglares desempeñan funciones ecológicas complejas. Mientras que especies como los percebes pueden afectar negativamente a sus huéspedes al bloquear lentícelas y reducir el crecimiento, otras especies como las esponjas incrustantes aportan beneficios al suministrar nutrientes nitrogenados y formar barreras protectoras contra isópodos perforadores. Estos organismos sésiles crean las condiciones adecuadas para el establecimiento de una cascada de especies más móviles, incluyendo copépodos, caracoles pastoreadores y depredadores invertebrados. La comunidad resultante, dominada funcionalmente por filtradores como percebes, ascidias y briozoos, junto con depredadores y forrajeadores generalistas, demuestra la importancia de estas interacciones en la estructuración de los ecosistemas de manglar y el mantenimiento de su rica diversidad biológica (Hogarth, 2015).

---

<sup>72</sup> “La incrustación de percebes puede reducir el crecimiento de la raíz. Cuando sus depredadores naturales fueron excluidos de las raíces aéreas del manglar rojo, el mango de *Rhizophora*, en Costa Rica, la cobertura de *Balanus* aumentó drásticamente, alcanzando más del 80%, bloqueando los lenticelas y reduciendo el intercambio de gases y la respiración: la producción de raíces cayó un 52 %. Los depredadores clave en este caso fueron los caracoles tailandeses *kiosquiformis* y *Morula lugubris* y el cangrejo ermitaño *Clibanarius panamensis* (Perry 1988).” (La traducción es nuestra).

De acuerdo con las al desempeño de algunas especies en los manglares Hogarth (2015) afirma lo siguiente :

Considered in terms of functional groups, mangrove root-fouling communities are relatively consistent and predictable. The dominant organisms are filter feeders: barnacles, ascidians, Baryozoa, tube-building polychaete worms, and bivalve molluscs. There are a number of predators, such as Thaidid molluscs, and some more general foragers, including crabs. These broad categories, however, include many species and a great deal of variation in space and time. The richness and diversity of the assemblages of mangrove root fauna, and the considerable variation between sites, and even between neighboring roots, raise questions of what factors determine community structure and the species present.<sup>73</sup> (p. 109)

Ahora bien, de acuerdo a la variedad de especies e interacciones reportadas alrededor del mundo, es pertinente preguntarse si las acciones como la rehabilitación encaminadas a la restauración realizan el esfuerzo suficiente para restablecer las variadas y plurales funciones ecosistémicas, o si por el contrario, solo se esfuerza en restablecer funciones benéficas para los humanos. En esta misma vía de análisis, Vitousek et al. (1997) plantean lo siguiente:

Human modification of Earth's biological resources—its species and genetically distinct populations— is substantial and growing. Extinction is a natural process, but the current rate of loss of genetic variability, of populations, and of species is far above background rates; it is ongoing; and it represent a wholly irreversible global change. At

---

<sup>73</sup> “Consideradas en términos de grupos funcionales, las comunidades de enraizamiento de manglar son relativamente consistentes y predecibles. Los organismos dominantes son alimentadores de filtro: percebes, ascidios, barizosos, gusanos poliquetos que construyen tubos y moluscos bivalvos. Hay una serie de depredadores, como los moluscos Thaidid, y algunos recolectores más generales, incluidos los cangrejos. Estas amplias categorías, sin embargo, incluyen muchas especies y una gran variación en el espacio y el tiempo. La riqueza y diversidad de los conjuntos de fauna de raíces de manglares, y la considerable variación entre los sitios, e incluso entre raíces vecinas, plantean preguntas sobre qué factores determinan la estructura de la comunidad y las especies presentes.” (La traducción es nuestra).

the same time, human transport of species around Earth is homogenizing Earth's biota, introducing many species into new areas where they can disrupt both natural and human systems. <sup>74</sup> (p. 498)

Ahora bien, los estudios sobre la ecología del manglar y la función ecológica de sus especies subrayan la importancia crucial de mantener poblaciones diversas para asegurar el adecuado funcionamiento y la salud del ecosistema. La alta biodiversidad revela complejas interacciones bióticas y abióticas entre las especies y su entorno, lo que a su vez evidencia la vulnerabilidad del sistema frente a las perturbaciones de origen humano. Es por eso que, en este contexto, resulta urgente replantear la comprensión de los ecosistemas de manglar, no como simples conjuntos de comunidades eficientes en la producción de funciones ecológicas específicas, sino como sistemas megadiversos que requieren un estudio profundo y una conservación integral. En particular, en términos de restauración, es fundamental reconocer su valor intrínseco, más allá de la generación de servicios ecosistémicos que puedan proveer.

### **2.3. Desaciertos en el proyecto de restauración ecológica *in situ* del Pacífico colombiano**

La restauración ecológica ha contribuido con conocimientos empíricos acerca de problemáticas causadas por prácticas poco apropiadas en los proyectos de intervención ambiental, entre estas problemáticas destacan la deriva genética,

---

<sup>74</sup> “La modificación humana de los recursos biológicos de la Tierra, sus especies y poblaciones genéticamente distintas, es sustancial y creciente. La extinción es un proceso natural, pero la tasa actual de pérdida de variabilidad genética, de poblaciones y de especies está muy por encima de las tasas de antecedentes; está en curso; y representa un cambio global totalmente irreversible. Al mismo tiempo, el transporte humano de especies alrededor de la Tierra está homogeneizando la biota de la Tierra, introduciendo muchas especies en nuevas áreas donde pueden interrumpir tanto el sistema natural como el humano.” (La traducción es nuestra).

eventos fundadores, ruptura de complejos genéticos coadaptados, depresión por endogamia y exogamia, flujo genético reducido, adaptación limitada a los extremos climáticos y ambientales, y efectos asociados al pequeño tamaño de las poblaciones, como lo afirman Richards et al. (2016):

Restoration ecology is particularly well configured to contribute empirical tests of genetic drift, founder events, breakup of coadapted gene complexes and maladaptation, inbreeding and outbreeding depression, reduced gene flow, adaptation to climatic and environmental extremes, and small effective population size, all of which are possible outcomes of the restoration process itself. These are all promising areas of research in restoration genetics.<sup>75</sup> (p. 142)

Estas consecuencias genéticas son particularmente relevantes en ecosistemas sensibles como los manglares, donde la diversidad genética juega un papel fundamental en su capacidad de adaptación y resiliencia frente al cambio climático y otras perturbaciones( Hogarth, 2015). Estos ecosistemas costeros representan zonas de alta biodiversidad y proporcionan servicios ecosistémicos cruciales como protección costera, secuestro de carbono, y hábitat para numerosas especies comerciales y no comerciales (Polanía et al., 2015).

Según el manual *La restauración de los manglares en Colombia: técnicas, saberes y experiencias*, el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar) y la Corporación Regional del Cauca llevaron a cabo un plan de restauración ecológica en la zona comprendida entre El Cuerval, La Caleta, los esteros Concepción y El Loro, así como en la bocana del río Naya, en el río Micay. (Tavera y Rodríguez-Peláez, 2022).

---

<sup>75</sup> “La ecología de la restauración está particularmente bien configurada para contribuir con pruebas empíricas de deriva genética, eventos fundadores, ruptura de complejos genéticos coadaptados y maladaptación, depresión de endogamia y extracción, flujo genético reducido, adaptación a extremos climáticos y ambientales y pequeño tamaño efectivo de la población, todos los cuales son posibles resultados del proceso de restauración en sí. Todas estas son áreas prometedoras de investigación en genética de restauración”. (La traducción es nuestra).

Los objetivos del plan de restauración se enfocan en la recuperación del hábitat de manglar con el fin de restablecer los servicios ecosistémicos culturales y de aprovisionamiento. En este contexto, se propone la recuperación de poblaciones de especies como *Anadara tuberculosa*, *Anadara similis*, conocida como piangua y *Phalacrocorax olivaceus*, conocido como Pato Cuervo para el área comprendida entre El Cuerval, La Caleta y los esteros Concepción y El Loro. Por otro lado, para el sector de la bocana del río Naya, se plantea la recuperación de la especie *Mora oleifera*.

Así pues, el objetivo específico definido para la restauración de los esteros Julio y Gonzalo la restauración de los esteros Julio y Gonzalo fue definido de la siguiente manera:

Aportar al restablecimiento del hábitat de manglar del sector “entre el Cuerval, La Caleta y los Esteros Concepción y el Loro”, contribuyendo a la recuperación de poblaciones de piangua (*Anadara tuberculosa* y *A. similis*) y pato cuervo (*Phalacrocorax olivaceus*) para aportar a la permanencia de las actividades productivas tradicionales que la comunidad ejerce sobre estos recursos y otros de interés (Tavera y Rodríguez-Peláez, 2022, p. 113).

Para el sector los esteros La Trocha-Santa Rita, el objetivo establecido fue el siguiente:

Aportar en el restablecimiento del proceso de sucesión del manglar del sector “bocana del Naya”, contribuyendo a la recuperación de la asociación natal (de mangle nato, *Mora oleifera*) e incrementando la oferta de recursos forestales para suplir la demanda para uso doméstico de las comunidades locales que tradicionalmente realizan actividades de forestería. (Tavera y Rodríguez-Peláez, 2022, p. 113).

Según Tavera y Rodríguez-Peláez (2022) establecieron acciones de reforestación para la recuperación del hábitat de manglar por medio de:

Recolección y selección de aproximadamente 15.000 propágulos o plántulas del género *Rhizophora* para sembrar en los Esteros Julio y Gonzalo pertenecientes al Cuerval [...] Recolección y selección de aproximadamente 3.125 propágulos o plántulas de mangle nato (*Mora oleífera*) para sembrar en el área del Estero La Trocha-Santa Rita perteneciente al río. (pp. 113-115).

Adicionalmente, se establecieron otras acciones para contribuir a la disminución de impactos por medio de diálogos con los agricultores, remoción de raíces de plantas invasoras y eliminación de material vegetal que obstruía la regeneración natural (Tavera y Rodríguez-Peláez, 2022).

Al analizar el plan de restauración correspondiente al área “entre el Cuerval, La Caleta y los esteros Concepción y el Loro, y la bocana del Naya” en el río Micay (Tavera y Rodríguez-Peláez, 2022), se identifican algunas ausencias importantes en la planeación del proyecto que podrían derivar en problemáticas ecológicas respecto a la permanencia del ecosistema de manglar que se pretende recuperar.

Inicialmente, no se incluyeron acciones que promuevan la recuperación de grupos funcionales, los cuales son importantes para brindar mejoramiento al ecosistema, eficiencia y estabilidad. Las poblaciones ecológicas funcionales podrían facilitar procesos ecológicos y además las especies relevantes son esenciales para la permanencia de las menos significantes (O’Brien et al., 2006). De hecho, en el contexto de Colombia, los proyectos que han realizado acciones de restauración con base en la comunidad de manglar han sido los más efectivos (Rodríguez-Rodríguez et al, 2021). En cuanto a las prácticas de reforestación no son claros los criterios utilizados para llevar a cabo estas acciones, ni hay registro de investigaciones pertinentes para determinar la metodología de recolección y selección. Resultaría importante realizar estudios complementarios para identificar los mecanismos ecológicos que gobiernan el ecosistema en particular, para contribuir con información útil para la toma de decisiones (Suding et al., 2016)

Understanding the mechanisms that govern the response of an ecological system to change requires knowledge of the type of dynamics that govern the system, but this information is difficult to obtain because these processes occur on different scales of space, time, and ecological organization (Pickett et al. 1987; Rinaldi and Scheffer 2000; Beisner et al. 2003) [...] Identifying constraints that can slow or alter the natural recovery of a system may be one way of predicting restoration trajectories (Zedler and Callaway 1999; Holl and Aide 2011; Suding 2011; Cosentino et al. 2014). They also can indicate interventions that may be most effective [...]<sup>76</sup> (p. 36)

Por ejemplo también se podrían incluir estudios sobre el tamaño efectivo de la población para evitar cuellos de botella poblacional, prevención del efecto fundador, minimización de la estocasticidad demográfica, prevención del efecto Allee.

De acuerdo con el efecto Allee, Primack y Vidal (2019) afirman lo siguiente:

Muchas poblaciones pequeñas son inestables desde un punto de vista demográfico debido a que pueden alterarse sus interacciones sociales (en especial aquellas que afectan el apareamiento) una vez que la densidad poblacional cae debajo de cierto nivel [...]. A estas interacciones del tamaño de la población, la densidad poblacional y la tasa de crecimiento de la población a veces se les llama el efecto de Allee. (p. 278)

Tampoco se menciona un ecosistema de referencia para la planificación del proyecto ni para una posible futura evaluación de los resultados. Los ecosistemas de referencia son un modelo que en sus atributos ecosistémicos se aproxima lo más posible al ecosistema original, y se toma en cuenta dentro de

---

<sup>76</sup> “Comprender los mecanismos que rigen la respuesta de un sistema ecológico al cambio requiere conocer el tipo de dinámicas que gobiernan el sistema, pero esta información es difícil de obtener porque estos procesos ocurren en diferentes escalas de espacio, tiempo y organización ecológica (Pickett et al. 1987; Rinaldi y Scheffer 2000; Beisner et al. 2003) [...] Identificar restricciones que pueden ralentizar o alterar la recuperación natural de un sistema puede ser una forma de predecir trayectorias de restauración (Zedler y Callaway 1999; Holl y Aide 2011; Suding 2011; Cosentino et al. 2014). También pueden indicar intervenciones que pueden ser más efectivas [...].”(La traducción es nuestra).

los proyectos de restauración para la elaboración de objetivos y metas, así como para el monitoreo y la evaluación del estado final del ecosistema restaurado (SER, 2019).

De acuerdo con el concepto de ecosistema de referencia el SER (2019) afirma lo siguiente:

Requires systematic site assessment and planning to identify reference ecosystems, and to develop clear and measurable targets, goals, and objectives. Site assessment will lead to the identification of a reference ecosystem to measure progress, an approach for assessing restoration outcomes should be identified early and address the range of ecosystem attributes considered.<sup>77</sup> (p. 3)

Sin la incorporación de un ecosistema de referencia, resulta difícil establecer métricas claras para medir el éxito y evaluar el avance de los procesos de restauración. Aunque en algunos casos resulta complejo identificar áreas bien conservadas, debido a múltiples factores como la colonización europea (Cisneros-Linding, 2017; Dennhardt et al., 2016), es posible considerar otras alternativas, tal como señala Cisneros-Linding (2017):

Pero Packard y Mutel contemplan otras opciones como, por ejemplo, elegir restaurar la comunidad mejor representada por la vegetación remanente presente en el sitio. Esta opción puede ser la mejor si se encuentran especies amenazadas, o si se cuenta con pocos recursos para llevar a cabo el proyecto de restauración. (p. 176)

Ahora bien, es importante destacar que esta dificultad se intensifica aún más cuando uno de los objetivos es la recuperación de poblaciones de diversas especies:

---

<sup>77</sup> “Requiere una evaluación y planificación sistemática del sitio para identificar ecosistemas de referencia y desarrollar metas, metas y objetivos claros y medibles. La evaluación del sitio conducirá a la identificación de un ecosistema de referencia para medir el progreso, un enfoque para evaluar los resultados de la restauración debe identificarse temprano y abordar la gama de atributos del ecosistema considerados” (La traducción es nuestra).

Como parte de los objetivos del plan de restauración de los esteros Julio y Gonzalo, se pretende “Aportar al restablecimiento del hábitat de manglar del sector” con el fin de recuperar “poblaciones de piangua (*Anadara tuberculosa* y *A. similis*) y pato cuervo (*Phalacrocorax olivaceus*) para a portar a la permanencia de las actividades productivas tradicionales. (p. 113)

Esto sugiere que las acciones implementadas para alcanzar dicho objetivo se enfocan principalmente en la remoción de especies invasoras, la reducción de impactos negativos y la selección y recolección de propágulos del género *Rhizophora*, sin considerar otras especies de flora, fauna y microorganismos que forman parte esencial del proceso de recuperación. Estas especies contribuyen a las interacciones bióticas y abióticas necesarias para la transición ecológica, mediada por comunidades de grupos funcionales.

Si bien es necesaria la remoción de especies invasoras (SER, 2019) y la disminución de impactos (SER, 2019), aun éstas acciones no son suficientes para el restablecimiento del habitat de manglar y más aun poblaciones de especies, ya que su objetivo y acciones es muy limitado. Con respecto a proyectos de restauración con objetivos limitados, Palmer et al. (2016) aseguran lo siguiente:

Attempts to reverse environmental degradation that are not ecological restoration include the use of hardscapes or nonnative species to reduce excessive soil erosion and run-off, and other types of engineered systems that cannot be self-sustaining given their design or placement in a highly modified landscape context, such as strip mines, chemically polluted brownfields, or severely eroded sites (Palmer and Ruhl 2015). Other examples of projects with limited objectives (Suding et al. 2015) include maximizing a single ecosystem service, such as stabilizing a steep slope using a monoculture of

nonnative, deep rooted trees (Mao et al. 2012), or postmining reclamation of a formerly forested region to a nonnative grassland (Yeiser et al. 2016).<sup>78</sup> (p. 6)

Para la recuperación de las poblaciones de *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*, es fundamental profundizar en los estudios sobre su distribución en el contexto del cambio climático. Además, resulta necesario considerar datos de ocurrencia de estas especies junto con variables ambientales relacionadas con las propiedades fisicoquímicas del suelo y la posible distribución futura de los manglares (Selvaraj y Portillo-Cabrera, 2024). En este sentido, se recomienda el uso de herramientas basadas en modelos de distribución de especies, que permiten identificar las probabilidades de ocurrencia en función de las características ambientales. Estas herramientas pueden proporcionar información relevante para la conservación de dichas especies y facilitar la comprensión de su distribución en relación con las áreas destinadas a futuros proyectos de restauración ecológica.

En palabras de Selvaraj y Portillo-Cabrera (2024):

In this context, tools such as Species Distribution Models (SDMs) “environmental suitability models” have been suggested [...]. These tools allow predicting the potential distribution of species in geographic space and time, based on correlating the known occurrence data of species with their environmental preferences. [...] The primary outputs of SDMs are environmental suitability maps of the species, demonstrating the species’ probability of occurrence as a function of the environmental features of the

---

<sup>78</sup> “Los intentos de revertir la degradación ambiental que no son restauración ecológica incluyen el uso de paisajes duros o especies no nativas para reducir la erosión excesiva del suelo y la escorrentía, y otros tipos de sistemas de ingeniería que no pueden ser autosuficientes dado su diseño o colocación en un contexto paisajístico altamente modificado, como minas de franjas, zonas de campos brundados químicamente o sitios gravemente erosionados (Palmer y Ruhl 2015). Otros ejemplos de proyectos con objetivos limitados (Suding et al. 2015) incluyen maximizar un solo servicio de ecosistema, como la estabilización de una pendiente empinada utilizando un monocultivo de árboles no nativos y de raíces profundas (Mao et al. 2012), o la recuperación posterior a la minería de una región anteriormente boscosa a un pasto no nativo (Yeiser et al. 2016).” La traducción es nuestra).

geographic area. [...] The knowledge generated through these tools enables the identification of protected and conservation areas, the assessment of climate change effects, and other analyses.<sup>79</sup> (p. 2)

En este mismo sentido, para la recuperación del ave *Phalacrocorax olivaceus*, se necesitan investigaciones complementarias para su recuperación.

Los objetivos y las acciones del plan de restauración no abordan lo suficiente la complejidad de la comunidad biológica necesaria para el restablecimiento del hábitat de manglar en el sentido de que en los ecosistemas naturales ocurren procesos responsables de patrones de distribución y abundancia que juegan un rol único en la historia biológica de cada especie a través de múltiples procesos subyacentes, incluyendo origen de la diversificación, extinción, migración-emigración, procesos abióticos (eventos geológicos, cambios biogeoquímicos, ciclos de nutrientes), interacciones bióticas (depredación, facilitación y competencia), como lo destaca Naeem (2016).

De acuerdo con los procesos que ocurren dentro de una comunidad biológica, Naeem (2016) afirma lo siguiente:

When we look at a biological community and want to determine what processes are responsible for its patterns in distribution and abundance, we are looking at a collection of plant, animal, and microbial species that, like bubbles, are the endpoint of many underlying processes. This long list of processes includes origination, diversification, extinction, emigration, immigration and abiotic processes such

---

<sup>79</sup> “En este contexto, se han sugerido herramientas como los Modelos de Distribución de Especies (SDM) «modelos de idoneidad ambiental» [...]. Estas herramientas permiten predecir la distribución potencial de las especies en el espacio y el tiempo geográficos, basándose en la correlación de los datos conocidos de ocurrencia de especies con sus preferencias ambientales. [...] Los resultados principales de los SDM son mapas de idoneidad ambiental de las especies, que demuestran la probabilidad de ocurrencia de la especie en función de las características ambientales del área geográfica.[...] El conocimiento generado a través de estas herramientas permite la identificación de áreas protegidas y de conservación, la evaluación de los efectos del cambio climático y otros análisis.” (La traducción es nuestra).

geological events like glaciation and continental drift, biogeochemical changes in nutrient cycling, naturally occurring climate change, and more, all of which had their effects over enormous spatial (10–103 km<sup>2</sup>) and temporal scales (10<sup>2</sup>–10<sup>6</sup>). Shorter-term and smaller-scale processes on the list include disturbance (e.g., drought, flood, and fire), naturally occurring biological invasion, emigration and biotic interactions (e.g., predation, facilitation, competition) that further modify biological diversity. This list of processes may seem daunting, but they are the means by which we can make sense of, and ultimately manage the extraordinary diversity of life that characterizes well-functioning ecosystems.<sup>80</sup> (p. 58)

En este sentido, al ignorar la biodiversidad de especies que habitan los ecosistemas de manglar y priorizar únicamente la recuperación de algunas especies específicas, no solo se desatiende la historia de vida de las especies objetivo, sino también la historia natural que ha moldeado los bosques de manglar, pasando por alto los procesos fundamentales que sustentan el funcionamiento del ecosistema. Por otro lado, las prácticas de restauración ecológica que no consideran la diversidad biológica ni el funcionamiento integral del ecosistema tienden a favorecer sistemas antrópicos que carecen de sostenibilidad a largo plazo. Sobre este tipo de sistemas, Naeem (2016) señala lo siguiente:

---

<sup>80</sup> “Cuando miramos una comunidad biológica y queremos determinar qué procesos son responsables de sus patrones de distribución y abundancia, estamos viendo una colección de especies vegetales, animales y microbianas que, como burbujas, son el punto final de muchos procesos subyacentes. Esta larga lista de procesos incluye origen, diversificación, extinción, emigración, inmigración y procesos abióticos, como eventos geológicos como la glaciación y la deriva continental, los cambios biogeoquímicos en el ciclo de nutrientes, el cambio climático natural y más, todos los cuales tuvieron sus efectos sobre enormes escalas espaciales (10-103 km<sup>2</sup>) y temporales (10<sup>2</sup>-10<sup>6</sup>). Los procesos a corto plazo y a menor escala en la lista incluyen perturbación (por ejemplo, sequía, inundación e incendio), invasión biológica natural, emigración e interacciones bióticas (por ejemplo, depredación, facilitación, competencia) que modifican aún más la diversidad biológica. Esta lista de procesos puede parecer desalentadora, pero son los medios por los que podemos dar sentido y, en última instancia, gestionar la extraordinaria diversidad de la vida que caracteriza a los ecosistemas que funcionan bien”.(La traducción es nuestra).

Anthropic systems are managed systems that are unsustainable (e.g., high input agriculture that require constant inputs or unsustainably harvested fisheries), or sustainable (e.g., sustainable agroforestry). No-analog or novel systems consist of species combinations and often environmental conditions that have no historical analogs. “Re-wilded” (using modern species to replace extinct species) and highly engineered systems (such as bioreactors), would fall into this category.<sup>81</sup> (p. 59)

Al mismo tiempo, los objetivos de biodiversidad no se visualizan claramente y podrían no tener éxito a largo plazo debido a que no se está considerando la “deuda de extinción” (Naeem, 2016):

From a restoration perspective, the extinction debt argues that biodiversity targets are likely to be missed in the long term if addressing the extinction debt is not part of the restoration plan (Dobson et al. 1997; Huxel and Hastings 1999; Rappaport et al. 2015)<sup>82</sup>. (p. 70)

La deuda de extinción es el tiempo transcurrido desde que se pierde un hábitat hasta que las especies que dependen de él desaparecen por completo (Primack y Sher, 2016). Esta deuda podría aumentar si no se toman acciones para proteger los hábitats y especies en riesgo (Primack y Vidal, 2019). En el caso de los ecosistemas de mangle, si no se toman acciones desde la restauración ecológica, donde se incluyan las diversas comunidades biológicas, para

---

<sup>81</sup> “Los sistemas antropogénicos son sistemas gestionados que son insostenibles (por ejemplo, agricultura de altos insumos que requieren insumos constantes o pesca cosechada de forma insostenible) o sostenibles (por ejemplo, agroforestal sostenible). Los sistemas no analógicos o novedosos consisten en combinaciones de especies y, a menudo, en condiciones ambientales que no tienen análogos históricos. «Re-wilded» (utilizando especies modernas para reemplazar especies extintas) y sistemas altamente diseñados (como bioreactores), entrarían en esta categoría”. (La traducción es nuestra).

<sup>82</sup> “Desde una perspectiva de restauración, la deuda de extinción argumenta que es probable que se pierdan los objetivos de biodiversidad a largo plazo si abordar la deuda de extinción no es parte del plan de restauración (Dobson et al. 1997; Huxel y Hastings 1999; Rappaport et al. 2015)” (La traducción es nuestra).

umentar la estabilidad y buen funcionamiento del ecosistema, se podría estar contribuyendo a la deuda de extinción.

Con respecto a la deuda de extinción Primack y Vidal (2019) afirman lo siguiente:

Muchas especies pueden perdurar durante años, décadas o siglos representadas por unos pocos individuos en poblaciones pequeñas y dispersas (entre las plantas leñosa, en particular, los individuos aislados pueden subsistir centenares de años). Sin embargo, su destino final será la extinción (Janzen, 2001). Tales especies, condenadas a la extinción a causa de actividades humanas, han sido llamadas “los muertos vivientes” o especies “destinadas a la extinción”. De hecho, hay muchas especies en esta categoría en los fragmentos que quedan de las selvas tropicales ricas en biodiversidad. A la presunta pérdida final de especies después de la destrucción y la fragmentación de su hábitat se le conoce como la deuda de extinción (Cousins y Vanhoenacker, 2011) (p. 247)

El caso del plan de restauración del Pacífico colombiano refuerza la necesidad de incorporar criterios que integren la biodiversidad y promuevan su estudio. En primer lugar, porque las especies de mangle son vulnerables y están en peligro de extinción (Duke et al., 2007). En segundo lugar, porque esta incorporación contribuye a evitar la generación de una deuda de extinción, no solo de las especies de interés, sino también de otras especies cruciales para el funcionamiento del ecosistema (Naeem, 2016). Finalmente, en tercer lugar, favorece la permanencia de los bosques de manglar al fomentar y preservar la diversidad de interacciones bióticas.

En cuanto a la importancia de incluir la biodiversidad en los planes de restauración, es fundamental destacar que los servicios ecosistémicos son producto de múltiples poblaciones de especies, cada una desempeñando un rol único y específico en dichas funciones. Por esta razón, para asegurar la generación efectiva de servicios ecosistémicos particulares, es necesario realizar esfuerzos enfocados en la inclusión de una amplia diversidad de

especies. En relación con los diversos escenarios de la biodiversidad, Naeem (2016) sostiene lo siguiente:

Biodiversity represents the location of a species assemblage in multidimensional space [...] A degraded habitat, for example, from the standpoint of biodiversity, is one that has declined not just in taxonomic diversity (e.g., number of species), but in functional, phylogenetic and many other dimensions of biodiversity. When community composition changes, the shift is unlikely to be constrained to one dimension, which means that changes in ecosystem functions and services will not be unidimensional either. This multidimensional construct may seem abstract, but it can be readily translated into application.<sup>83</sup> (p. 62)

Por otro lado, también es necesario que se implementen estudios de genética en los planes de restauración, con respecto a los monocultivos, ya que no se tiene conocimiento de las consecuencias de los diferentes métodos de reproducción de especies en peligro: “The consequences of different breeding systems on genetic management of threatened species have received limited attention.”<sup>84</sup> (Frankham, 2009, p. 662).

Desde la perspectiva de la restauración ecológica, resulta fundamental adoptar las prioridades y necesidades científicas que Frankham (2009) identifica para la biología de la conservación, reconociendo que aunque estas recomendaciones fueron originalmente concebidas para la conservación de especies amenazadas, su aplicación en proyectos de restauración es

---

<sup>83</sup> “La biodiversidad representa el área de un conjunto de especies en un espacio multidimensional [...] Un hábitat degradado, por ejemplo, desde el punto de vista de la biodiversidad, es uno que ha disminuido no solo en diversidad taxonómica (por ejemplo, número de especies), sino en dimensiones funcionales, filogenéticas y muchas otras de la biodiversidad. Cuando la composición de la comunidad cambia, es poco probable que el cambio se limite a una dimensión, lo que significa que los cambios en las funciones y servicios del ecosistema tampoco serán unidimensionales. Esta construcción multidimensional puede parecer abstracta, pero se puede traducir fácilmente en aplicación” (La traducción es nuestra)

<sup>84</sup> “Las consecuencias de los diferentes sistemas de reproducción en la gestión genética de las especies en peligro ha recibido atención limitada.” (La traducción es nuestra).

igualmente crucial para evitar consecuencias genéticas adversas. La restauración ecológica debería implementar sistemáticamente el manejo genético racional de poblaciones fragmentadas, aplicar principios genéticos para evaluar los impactos del cambio climático y especies invasoras, e incorporar rutinariamente pruebas genéticas como la depresión endogámica en las evaluaciones de viabilidad poblacional. Más específicamente, los proyectos de restauración requieren desarrollar métodos para predecir el riesgo de depresión exogámica, recopilar información extensiva sobre su ocurrencia, y obtener estimaciones cuantitativas del costo de la endogamia en poblaciones silvestres para fundamentar decisiones de translocación. Sin estos estudios previos, la restauración ecológica corre el riesgo de generar consecuencias no deseadas como la pérdida de adaptaciones locales, la introducción inadvertida de incompatibilidades genéticas, el colapso reproductivo por hibridación inadecuada, y la reducción de la variabilidad genética cuantitativa necesaria para la adaptación futura. Por tanto, la práctica de la restauración ecológica debe integrar rigurosamente análisis y pruebas genéticas, asegurando que las intervenciones fortalezcan genuinamente la resiliencia genética y adaptativa de los ecosistemas restaurados.

#### **2.4. El problema del enfoque antropocéntrico en la práctica de la restauración ecológica**

La omisión de las emergencias en los sistemas megadiversos, como los ecosistemas de manglar no solo se encuentra relacionada con el reduccionismo metodológico, sino también con el antropocentrismo, el cual es definido como el lugar que los seres humanos ocupan, siendo el centro del universo y que, por lo tanto, todo alrededor es destinado para satisfacer sus necesidades (Crist, 2013):

Defining anthropocentrism in precise terms is anything but simple. Etymologically anthropocentrism refers to the deluded placement of humans at the center with everything else existing to serve them, much like the geocentric perspective positioned Earth at the center as the most exalted celestial body of the universe.<sup>85</sup> (p. 134).

No obstante, es importante resaltar que, a o largo del análisis crítico que realiza Crist (2019) sobre la expresión contemporánea del antropocentrismo, este va mucho más allá de ser una creencia *naïve* sobre la posición de la especie humana con respecto a la naturaleza, para convertirse en una ideología, centrada en la idea de la superioridad humana, que fundamenta la explotación de la biosfera.

En palabras de Crist (2019):

Human supremacy has prescribed an actionable ideology for setting upon the world. Ultimately, this worldview has sponsored the occupation of the biosphere. The corralling of wild nonhumans, indigenous peoples, and wild nature into the geographical margins (such as reserves and reservations), often outside the preoccupations of collective consciousness, and the simultaneous humanization of the world—the globalized ecumene—have yielded a widely shared mental schema of Earth: Earth increasingly appears as a physical backdrop (and even a “starter-planet”) for humanity’s unfolding destiny and a stage for civilization’s continued march.<sup>86</sup> (p. 58)

---

<sup>85</sup> “Definir el antropocentrismo en términos precisos no es nada simple, etimológicamente, el antropocentrismo se refiere al lugar engañoso de los humanos en el centro de todo lo existente, para servirlos. Más como la perspectiva geocéntrica, posicionada en el centro de la tierra como el más exaltado y celestial cuerpo del universo.” (La traducción es nuestra).

<sup>86</sup> “La supremacía humana ha establecido una ideología útil para atacar el mundo. En última instancia, esta visión de mundo ha patrocinado la ocupación de la biosfera. El acorralamiento de los salvajes no humanos, de la gente indígena y de la naturaleza salvaje dentro de los márgenes geográficos (como reservas y resguardos), frecuentemente por fuera de las preocupaciones de la conciencia colectiva y de la simultánea humanización del mundo —el ecumene globalizado—, ha producido un esquema mental de la Tierra ampliamente compartido: la Tierra aparece cada vez más como un telón de fondo físico (e incluso como un «planeta de inicio») para el despliegue del destino de la humanidad y un escenario para la marcha continua de la civilización.” (La traducción es nuestra).

De este modo, la ideología de la supremacía humana ha legitimado la ocupación de la biosfera, relegando tanto a la naturaleza salvaje como a los pueblos indígenas a espacios marginales, como reservas. Esta visión transforma a la Tierra en un mero escenario para el progreso de la civilización, al despojarla de su valor intrínseco para convertirla en objeto de explotación humana.

He aquí lo que dice Crist (2019) al respecto:

In a world dominated by Western civilization, industrialization, and domestic animals, human supremacy has come to manifest as three invisible shared beliefs: that Earth belongs to humanity; that the planet consists of resources for the betterment of people; and that human beings are of distinguished stature by comparison to all other species. These beliefs are “invisible” not because they are hidden or difficult to detect, but in the sense that they are rarely explicitly stated or reflected upon. They are clearly operative as unvoiced assumptions according to which people, corporations, nation-states, and other social entities comport themselves in the biosphere. The invisible operation of this belief system is the upshot of a long history of the self-positioning of *Anthropos* front and center: an unbroken tradition of anthropocentrism that reaches back to classical antiquity and has its roots in the birth of civilization.<sup>87</sup> (p. 51)

---

<sup>87</sup> “En un mundo dominado por la civilización occidental, la industrialización y los animales domésticos, la supremacía humana ha llegado a manifestarse como tres invisibles creencias compartidas: que la Tierra pertenece a la humanidad; que el planeta consta de recursos para el mejoramiento de la gente; y que los seres humanos están en distinguida estatura en comparación con todas las demás especies. Estas creencias no son «invisibles» porque estén escondidas o sean difíciles de detectar, sino en el sentido de que pocas veces se ha manifestado o reflexionado explícitamente acerca de ellas. Son claramente operativas como supuestos sin voz en concordancia con lo que la gente, las corporaciones, los Estados-nación y de más entidades sociales se comportan en la biosfera. La operación invisible de este sistema de creencia es el resultado final de una larga historia de autoposicionamiento del *Anthropos* al frente y en el centro: una tradición de antropocentrismo ininterrumpida que se remonta a la antigüedad clásica y tiene sus raíces en el nacimiento de la civilización.” (La traducción es nuestra).

Por otro lado, el antropocentrismo, junto con la valoración utilitaria del entorno, recurre a un reduccionismo metodológico que privilegia enfoques cuantificables. Este tipo de metodologías, centradas en la medición precisa, tienden a orientar el conocimiento ecológico hacia la provisión de servicios ecosistémicos con fines exclusivamente humanos.

Con respecto a esta idea, Hunter et al. (2014) afirman lo siguiente:

Anthropocentrists put enormous emphasis on instrumental values, which they generically call ecosystem services thus emphasizing the link to ecosystem processes. This inevitably diminishes the importance of species with less instrumental value, such as the half dozen or so species of moths associated with chestnut forest that are now extinct.<sup>88</sup> (p. 6).

Ahora bien, es muy importante señalar que, la raíz de la crisis de biodiversidad, se han realizado diversas discusiones acerca de la valoración de los ecosistemas. También se han elaborado a través del tiempo ciertas definiciones para los servicios ecosistémicos, donde se incluye una valoración más amplia. Esta clasificación incluye los valores personales, valores culturales, valores socioculturales y valores ecológicos (MEA, 2005). No obstante, aquella inclusión de valores ecológicos aún se enfoca, en cierta medida, en los servicios ecosistémicos que benefician a los humanos y no en evitar la extinción de las especies. Es decir, sus verdaderas motivaciones pueden diferir de las justificaciones que ofrecen por sus actividades.

Por ejemplo, en la práctica de la restauración ecológica se puede evidenciar uno de los resultados del antropocentrismo, como por ejemplo cuando el

---

<sup>88</sup> “Los antropocentristas ponen un énfasis enorme en los valores instrumentales, a los cuales ellos, generalmente llaman, servicios ecosistémicos de este modo enfatizan en el derecho a los procesos ecosistémicos. Esto disminuye la importancia de especies con menos valor instrumental, como la media docena de polillas asociadas con los bosques de castaño que ahora están extintas.” (La traducción es nuestra).

enfoque en los servicios ecosistémicos refleja una perspectiva utilitaria que subordina el valor intrínseco de la biodiversidad a los beneficios humanos, afectando incluso que aspectos de la ecología se deben investigar o no, y el reduccionismo metodológico como cuando, por ejemplo, se simplifica la complejidad de los ecosistemas y se pierden de vista las propiedades emergentes y la complejidad del sistema.

Un ejemplo ilustrativo lo constituyen las investigaciones que evidencian que, a pesar de los avances en restauración, ni la composición de especies ni los servicios ecosistémicos se han recuperado por completo en muchos casos (Crouzeilles et al., 2016; Moreno-Mateos et al., 2017; Shimamoto et al., 2018). Carlucci et al. (2020) destacan que esta recuperación incompleta se debe, en parte, a la ausencia de un enfoque explícito para restaurar los servicios ecosistémicos —tales como el aprovisionamiento, la regulación, el soporte y los servicios culturales (MEA, 2005)—, los cuales suelen evaluarse de manera posterior a la intervención. En este sentido, proponen que la incorporación de un marco basado en rasgos funcionales podría resultar más eficaz que los enfoques tradicionales, particularmente en ecosistemas tropicales diversos, al permitir vincular de manera directa la restauración ecológica con la recuperación de servicios ecosistémicos y, por ende, generar beneficios tanto para la naturaleza como para el bienestar humano. No obstante, estas investigaciones, posiblemente motivadas por la maximización de servicios ecosistémicos, presentan limitaciones relevantes. En primer lugar, tienden a pasar por alto que las comunidades con alta diversidad específica poseen mayor capacidad del ecosistema para sostenerse y cumplir sus funciones ecológicas clave. Asimismo, ignoran que todavía existen importantes vacíos en el conocimiento sobre las comunidades ecológicas, tales como la riqueza de especies, la abundancia relativa y los rasgos funcionales de las especies individuales. Resulta particularmente significativo el desconocimiento sobre el papel de las especies raras, a pesar de que múltiples estudios han demostrado que la productividad primaria puede incrementarse entre un 20 % y un 60 %

gracias a la presencia de unas pocas especies consideradas raras, por otra parte, el empleo de comunidades sintéticas en investigaciones experimentales presenta limitaciones adicionales, ya que los resultados obtenidos pueden no ser buenos predictores de los procesos o patrones que ocurren en ecosistemas naturales, donde las especies ensambladas cuentan con extensas historias de interacción coevolutiva (Plotkin y Forsyth, citados por Oriens et al., 2006).

La necesidad de incorporar un enfoque basado en rasgos funcionales en ecosistemas tropicales surge a partir de la demanda por generar servicios ecosistémicos, dado que las metas relacionadas con la recuperación tanto de la composición de especies como de los servicios ecosistémicos no han sido completamente alcanzadas (Carlucci et al., 2020). No obstante, este planteamiento conlleva una problemática ética en torno a qué decisiones tomar y qué valores priorizar. Carlucci et al. (2020) señalan que “mediante el uso de marcos basados en rasgos, los profesionales de la restauración pueden seleccionar conjuntos alternativos de especies nativas que ofrecen servicios ecosistémicos similares” (p.1372). Sin embargo, esta estrategia, aunque promueva el uso de especies nativas, podría generar interacciones competitivas con otras especies ya presentes en el área de restauración, las cuales posiblemente se encuentran adaptadas a los regímenes de disturbio impuestos por actividades humanas (Cisneros-Linding, 2017). Este escenario podría conducir a la formación de comunidades empobrecidas y menos resilientes (Cisneros-Linding, 2017).

El planteamiento descrito revela múltiples tensiones éticas inherentes a la práctica de restauración contemporánea que convergen en una problemática central: la legitimidad moral de la intervención humana dirigida en sistemas ecológicos. Esta práctica genera conflictos éticos fundamentales que emergen, en primer lugar, de la necesidad de jerarquizar valores ecosistémicos aparentemente incompatibles: ¿debe priorizarse la provisión de servicios para el bienestar humano o la integridad ecológica per se? Esta decisión

fundamental conduce inevitablemente a la asunción del papel de “diseñadores de ecosistemas” mediante la selección deliberada de especies basada en criterios funcionales, lo que a su vez genera una potencial injusticia inter-específica al discriminar sistemáticamente contra especies resilientes a disturbios humanos en favor de configuraciones teóricamente más “funcionales”. Esta problemática se agrava por el hecho de que la protección de la biodiversidad *per se* está sujeta a compromisos cuando se gestiona todo el portafolio de servicios ecosistémicos, ya que resulta imposible maximizar simultáneamente objetivos imperfectamente correlacionados, y los beneficios vitales derivados de la biodiversidad no siempre se correlacionan con otros servicios ecosistémicos, estableciendo una relación variable y dependiente del contexto que complica aún más las decisiones de restauración.

En esta óptica, en cuanto a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, (Chan et al., 2007) afirman lo siguiente:

Biodiversity protection *per se* is subject to compromise in managing the whole portfolio of services because it is impossible to maximize imperfectly correlated goals simultaneously and the life-fulfilling benefits arising from biodiversity are imperfectly correlated with other ecosystem services: although some minimum level of biodiversity is required for ecosystem function, the relationship is variable and context dependent.<sup>89</sup> (p. 61).

En este sentido, podemos tomar como ejemplo los proyectos de restauración que utilizan especies no nativas para restablecer alguna función del ecosistema relacionada con los servicios ecosistémicos, si bien se restablece la función ecosistémica, la interacción biótica que la especie nativa tenía con otras

---

<sup>89</sup> “La protección de la biodiversidad en si misma, está sujeta a compromisos en la gestión de toda la cartera de servicios porque es imposible maximizar simultáneamente objetivos imperfectamente correlacionados y los beneficios que satisfacen la vida derivados de la biodiversidad que están imperfectamente correlacionados con otros servicios ecosistémicos: aunque se requiere cierto nivel mínimo de biodiversidad requerida para la función del ecosistema, la relación es variable y depende del contexto.” (La traducción es nuestra).

especies resulta eliminada, por lo que no resulta útil para continuar con el enriquecimiento de la biodiversidad de los ecosistemas.

De acuerdo con las especies no nativas Chan et al. (2007) afirman lo siguiente:

This imperfect relationship is exacerbated because non-native species often perform certain services better than native species. For example fast growing non-native Eucalypts may be ideal<sup>90</sup> (p. 61).

Cuando se privilegian los valores antropocéntricos sobre los ecocéntricos, el resultado no es la conservación de la biodiversidad sino, paradójicamente, la promoción de prácticas que intensifican su pérdida. Por ejemplo, la perspectiva de Kareiva y sus colobaradores, que Cafaro (2014) crítica fuertemente, sostiene una posición discursiva desinformada, en la cual se justifica la extinción de algunas especies, concebidas de antemano como meros “ejemplares”, que y minimiza su importancia en los ecosistemas y en la biosfera:

What do Anthropocene proponents have to say about species extinctions? Here is Kareiva and coauthors, in an article titled “Conservation in the Anthropocene” that is worth quoting at some length: Ecologists and conservationists have grossly overstated the fragility of nature... In many circumstances, the demise of formerly abundant species can be inconsequential to ecosystem function. The American chestnut, once a dominant tree in eastern North America, has been extinguished by a foreign disease, yet the forest ecosystem is surprisingly unaffected. The passenger pigeon, once so abundant that its flocks darkened the sky, went extinct, along with countless other

---

<sup>90</sup> “Esta relación imperfecta es exacerbada porque las especies no nativas a menudo realizan ciertos servicios mejor que las especies nativas. Por ejemplo, los eucaliptos no nativos de rápido crecimiento pueden ser ideales.” (La traducción es nuestra).

species from the Steller's sea cow to the dodo, with no catastrophic or even measurable effects.<sup>91</sup> (p. 141).

Esta perspectiva dentro de la restauración ecológica resulta peligrosa para la ejecución de proyectos donde se pretende restablecer la biodiversidad, pues podría resultar en acciones pragmáticas, ocasionales, esporádicas y espontáneas que benefician a los servicios ecosistémicos y no en acciones permanentes y estructurales que están en armonía con los ritmos de la naturaleza, como lo señala la norma colombiana (Nannetti y Leyva, 2015).

Por otro lado, incluso si solamente se pretendiera conservar los servicios ecosistémicos bajo la arbitrariedad de ignorar todo lo que implica la biodiversidad, resultaría en una problemática que perjudicaría en la misma medida a la especie humana. Según Chan et al. (2007), en la conservación se puede evidenciar que, aunque se trate de conservar la biodiversidad por medio de los valores que benefician a los servicios ecosistémicos, es infortunadamente poco probable que se garantice la conservación de la biodiversidad:

---

<sup>91</sup> “Qué tienen que decir los defensores del Antropoceno sobre las extinciones de especies? Aquí está Kareiva y coautores, en un artículo titulado «Conservación en el Antropoceno» que vale la pena citar extensamente: Los ecólogos y conservacionistas han exagerado enormemente la fragilidad de la naturaleza... En muchas circunstancias, la desaparición de especies anteriormente abundantes puede ser intrascendente para el funcionamiento del ecosistema. El castaño americano, una vez un árbol dominante en el este de América del Norte, ha sido extinguido por una enfermedad extranjera, sin embargo el ecosistema forestal está sorprendentemente inalterado. La paloma migratoria, una vez tan abundante que sus bandadas oscurecían el cielo, se extinguió, junto con innumerables otras especies desde la vaca marina de Steller hasta el dodo, sin efectos catastróficos o siquiera mensurables.” (La traducción es nuestra).

It is likely that even a comprehensive assessment of conservation's positive externalities will not ensure the preservation of biological diversity to the extent that most conservationists desire.<sup>92</sup> (p. 62).

Por otro lado, un enfoque biocéntrico permitiría resaltar la importancia de reconocer el **valor intrínseco** de las especies y sus interacciones con el medio. De no adoptarse este enfoque, la creciente dependencia de tecnologías basadas en modelos económicos competitivos podría reemplazar ciertos procesos ecológicos, orientando los intereses de la restauración y conservación hacia nuevas tecnologías en lugar de hacia los productores naturales de servicios ecosistémicos, es decir, los propios ecosistemas naturales (Chan et al., 2007).

Alternatively, we must satisfy ourselves that biodiversity that cannot survive in the marketplace is not worth conserving. Good, services, and their providers get bought and sold. They also get discontinued, become obsolete, compete with one another, and go bankrupt (Janzen 2001). Markets and technology are unpredictable, and they are therefore fickle friends for conservation, which typically seeks to provide biodiversity protection in perpetuity. If we argue, or even imply, that native bees are important because they provide pollination services to coffee farmers, what do we say about bees that become obsolete when coffee prices bottom out and coffee farmers become pineapple farmers? What is our plan for conserving water sheds after technology delivers competitively superior filtration and purification? Internalizing externalities and

---

<sup>92</sup> “Es probable que incluso una evaluación integral de las externalidades positivas de la conservación no garantice la preservación de la diversidad biológica en la medida que la mayoría de los conservacionistas desean.” (La traducción es nuestra).

harnessing market forces may buy biodiversity some time, but we should not expect this alone to deliver protection in perpetuity.<sup>93</sup> (p. 64)

El predominio del paradigma antropocéntrico en la restauración ecológica contemporánea genera una paradoja fundamental: mientras busca asegurar el bienestar humano a través de la maximización de servicios ecosistémicos, simultáneamente socava las bases mismas de la diversidad biológica que sustenta dichos servicios. Esta contradicción se manifiesta tanto en los sesgos metodológicos que reducen la complejidad ecosistémica a variables cuantificables, como en los dilemas éticos que surgen de la instrumentalización de la naturaleza. La perspectiva que minimiza la importancia de las extinciones de especies, como la defendida por algunos autores, entre ellos Cafaro (2014), ejemplifica los riesgos de un enfoque pragmático que ignora el valor intrínseco de la biodiversidad y las complejas interdependencias ecológicas.

Paradójicamente, incluso desde una perspectiva puramente utilitarista, este enfoque resulta contraproducente, ya que es improbable que la conservación basada exclusivamente en servicios ecosistémicos garantice la preservación de la diversidad biológica a largo plazo. Más aún, el avance tecnológico podría eventualmente reemplazar muchos servicios ecosistémicos naturales, dejando a los ecosistemas sin justificación económica para su conservación. En

---

<sup>93</sup> “Alternativamente, nosotros deberíamos ratificarnos que, la biodiversidad no se puede conservar en el mercado. Los bienes, servicios y sus proveedores se compran y se venden. También ellos se suspenden, se vuelven obsoletos, y compiten entre ellos y quiebran (Janzen, 2001). El mercado y la tecnología son impredecibles, y ellos son sin embargo amigos volubles para la conservación, los cuales típicamente busca proveer la protección de la biodiversidad en perpetuidad. Si nosotros discutir o incluso implicamos, que las abejas nativas son importantes porque ellos proveen servicios de polinización a los caficultores, ¿qué decimos acerca de las abejas que se convierten obsoletas cuando los precios del café llegan a precios bajos, y los caficultores se convierten en cultivadores de piña? ¿Cuál es nuestro plan para conservar las cuencas hidrográficas después de que las competencias de entrega competitivamente superen la filtración y la Purificación del agua? Interiorizar las externalidades y aprovechar las fuerzas del mercado puede permitirnos ganar tiempo para la biodiversidad, pero no debemos esperar que esto entregue por si solo protección y perpetuidad.” (La traducción es nuestra).

contraste, la adopción de una perspectiva biocéntrica que reconozca el valor intrínseco de las especies y sus interacciones ofrece una base más sólida y permanente para la restauración ecológica, una que trasciende las fluctuaciones económicas y tecnológicas para establecer acciones estructurales en armonía con los ritmos naturales. La verdadera sostenibilidad en la restauración ecológica requiere, por tanto, no solo superar el reduccionismo metodológico que fragmenta la complejidad ecosistémica, sino una transformación ética fundamental que reconozca la interdependencia intrínseca entre el bienestar humano y la integridad de la biosfera.

## **2.5. El problema del método reduccionista en la restauración ecológica**

En la práctica de la restauración ecológica actual predomina el reduccionismo metodológico en algunos casos de estudio, que pretenden comprender el funcionamiento de sistemas megadiversos, como los bosques de mangle, mediante el estudio de especies aisladas. Este enfoque reduce la historia natural de las especies a funciones estructurales que proporcionan servicios ecosistémicos específicos para los humanos. Sin embargo, esta aproximación presenta limitaciones fundamentales, ya que el comportamiento de todo sistema complejo exhibe propiedades emergentes, las cuales son definidas según Kidner (2012) de la siguiente manera:

An emergent property is one which results from the systemic interaction of the components of a system, and cannot be understood as simply due to the summative functioning of the parts of that system.<sup>94</sup> (p. 7)

Las propiedades emergentes trascienden la suma de sus componentes individuales (Medel et al., 2009), lo cual contradice las acciones restaurativas

---

<sup>94</sup> “Una propiedad emergente es aquella que resulta de la interacción sistémica de los componentes de un sistema, y no puede entenderse simplemente como resultado del funcionamiento sumativo de las partes de ese sistema.” (La traducción es nuestra).

de algunas prácticas en la restauración ecológica, donde se omiten incluir algunos requerimientos ecológicos para el enriquecimiento de la biodiversidad y por ende, la estabilidad del ecosistema, como por ejemplo, los proyectos que son realizados en áreas muy pequeñas, como lo afirma Smith y Smith (2015):

The size of restoration projects was often a key factor in their failure. Small, isolated fragments tend to support species at low population levels and are thus prone to local extinction. These isolated patches were too distant from other patches of native grassland for the natural dispersal of other species, both plant and animal. Isolated patches of prairie often lacked the appropriate pollinator species required for successful plant reproduction.<sup>95</sup> (p. 373)

O también, en esta misma línea de argumentos, se puede apreciar la omisión de ciertas especies clave para los ecosistemas, como afirma Contos et al. (2021) de la siguiente manera:

The return of invertebrates to revegetated areas is crucial for restoration goals as they are critical components of functioning ecosystems. Invertebrates may fail to actively recolonize due to inadequate habitat within the restoration site or characteristics that limit dispersal, such as a lack of wings (Haase & Pilotto, 2019). Regardless of the cause, proactive solutions are rarely implemented when monitoring reveals that important trophic groups have failed to recolonize revegetated sites.<sup>96</sup> (p. 4)

---

<sup>95</sup> “La magnitud de los proyectos de restauración fue a menudo un factor clave en su fracaso. Los fragmentos pequeños y aislados tienden a albergar especies con bajos niveles de población y, por lo tanto, son propensos a la extinción local. Estas áreas aisladas estaban demasiado alejadas de otras áreas de pastizales nativos para la dispersión natural de otras especies, tanto vegetales como animales. Las áreas aisladas de pradera a menudo carecían de las especies polinizadoras adecuadas para una reproducción vegetal exitosa.” (La traducción es nuestra).

<sup>96</sup> “El regreso de los invertebrados a las áreas revegetadas es crucial para los objetivos de restauración, ya que son componentes esenciales del funcionamiento de los ecosistemas. Los invertebrados pueden no recolonizar activamente debido a un hábitat inadecuado dentro del sitio de restauración o a características que limitan su dispersión, como la falta de alas (Haase y Pilotto, 2019). Independientemente de la causa, rara vez se implementan soluciones proactivas cuando el monitoreo revela que grupos tróficos importantes no han recolonizado los sitios revegetados.” (La traducción es nuestra).

En este sentido, la práctica de la restauración ecológica a menudo omite la complejidad inherente de los ecosistemas, así como la importancia de las especies en el contexto de la pérdida de biodiversidad y su ecología. Los ecosistemas están compuestos por organismos que interactúan entre sí en múltiples niveles (Medel et al., 2009). En relación con los sistemas complejos, como lo son los ecosistemas, Medel et al. (2009) afirman lo siguiente:

Los sistemas complejos se caracterizan por estar formados por múltiples partes que interactúan entre sí, frecuentemente con la complejidad adicional de hacerlo a múltiples niveles. (p. 18)

Esta complejidad inherente se manifiesta claramente al analizar la captación de nutrientes, de las especies de mangle, donde las propiedades emergentes son extremadamente comunes. Por lo tanto, el uso de enfoques reduccionistas resulta **limitado** para captar la complejidad y la interdependencia de los procesos que sustentan el funcionamiento de sistemas nutricionales en condiciones naturales. Los bosques de mangle, distribuidos principalmente en zonas tropicales y subtropicales, se desarrollan en suelos donde la disponibilidad de nitrógeno y fósforo es naturalmente limitada. La presencia de estos nutrientes esenciales en el hábitat del mangle depende fundamentalmente de recursos relacionados con la dinámica del agua, pues la entrada de estos nutrientes mediante otros procesos como la fijación de nitrógeno atmosférico es relativamente insignificante (Hogarth, 2015).

No obstante, encontramos fenómenos emergentes o propiedades emergentes, que se entienden en palabras de Odum y Barrett (2006) como:

Una consecuencia importante de la organización jerárquica es que los componentes o subconjuntos se combinan para producir “todos funcionales” de mayor tamaño, en los cuales emergen nuevas propiedades que no estaban presentes en el nivel inferior. En consecuencia, una **propiedad emergente** de un nivel ecológico o unidad no puede predecirse al estudiar los componentes de dicho nivel o unidad. Otra manera de

expresar ese mismo concepto es mediante la **propiedad irreducible**: es decir, una propiedad del todo que no puede reducirse a la suma de las propiedades de sus partes. Aunque las observaciones realizadas a cualquier nivel ayudan a estudiar el siguiente, nunca explican de manera completa los fenómenos que ocurren en ese siguiente nivel, el cual debe ser estudiado, de manera independiente, para completar el cuadro. (p. 6)

Estás propiedades emergentes, originados mediante interacciones bióticas complejas, como el caso documentado de *Rhizophora mangle* en las islas de Florida, donde el crecimiento del manglar fue significativamente mayor debido a la presencia de una colonia de cría de garzas y pelícanos, lo que resultó en una entrada considerable de nutrientes en forma de guano (Onuf et al., 1977). Esta emergencia entre aves y mangle no solo produjo el crecimiento de ejemplares que proporcionan servicios ecosistémicos como protección contra la erosión costera y hábitat para especies de importancia económica, sino que representa un resultado de la coevolución de las relaciones entre diferentes especies a lo largo del tiempo. Según Medel et al. (2009), estas habilidades cooperativas entre diferentes especies dentro de un ecosistema son esenciales para sostener la diversidad de la vida y nuestras propias sociedades, ya que “la habilidad de los ecosistemas terrestres para sostener la diversidad de la vida, así como nuestras propias sociedades, depende en gran medida de las complejas tramas de interacción planta-animal” (p. 6). Por tanto, resulta evidente la importancia del reconocimiento de estas interacciones que corren el riesgo de extinguirse debido a intervenciones metodológicas inadecuadas.

Sin embargo, aunque estas interacciones puedan ser evidenciadas, los proyectos de restauración raramente toman en cuenta este tipo de emergencias. Las metodologías implementadas en el desarrollo de proyectos de restauración son fundamentalmente reduccionistas, ya que sus técnicas priorizan aspectos cuantitativos pero no suelen identificar fenómenos emergentes como las interacciones bióticas y abióticas entre especies que pueden proporcionar beneficios significativos a la especie que se intenta recuperar. Incluso Hogarth (2015) reconoce que para conocer las posibles

causas de la distribución de los diferentes manglares no es suficiente solamente el conocimiento que arroja la medición de parámetros físicos:

Why do mangroves show zonation? Before considering the possible causes of zonation patterns, it is worth remembering that a ‘snapshot’ view of adult species distribution may be misleading. Whatever the processes that promote zonation, they may operate differently on propagules, seedlings, saplings, and adult trees. The distribution of adult trees is the outcome of all processes that have affected preceding life-cycle stages.”<sup>97</sup> (p. 58).

En este sentido, se evidencia cómo la práctica de la restauración ecológica, a pesar de sus esfuerzos por recuperar ciertos atributos de los ecosistemas, suele desconocer en cierta medida, la naturaleza dinámica y compleja de estos sistemas. Esta desconexión entre las acciones restaurativas y la comprensión profunda de la ecología se encuentra reforzada por una tendencia más amplia dentro del ambientalismo contemporáneo, caracterizada por la mercantilización creciente de la naturaleza y la primacía otorgada a enfoques cuantitativos. Dicho enfoque reduce los ecosistemas a un conjunto de servicios susceptibles de ser medidos y comercializados, dejando de lado dimensiones esenciales relacionadas con la experiencia y el conocimiento humano del entorno natural.

Como lo expone Kingsnorth (2014):

Neo-environmentalists also tend to exhibit an excitable enthusiasm for markets. They like to put a price on things like trees, lakes, mist, crocodiles, rainforests, and watersheds, all of which can deliver “ecosystem services” which can be bought and sold, measured and totted up. Tied in with this is an almost religious attitude toward the scientific method. Everything that matters can be measured by science and priced by

---

<sup>97</sup> “¿Por qué los manglares presentan zonificación? Antes de considerar las posibles causas de los patrones de zonificación, conviene recordar que una visión general de la distribución de las especies adultas puede ser engañosa. Cualquiera que sea el proceso que promueve la zonificación, puede operar de manera diferente en propágulos, plántulas, árboles jóvenes y árboles adultos. La distribución de los árboles adultos es el resultado de todos los procesos que han afectado las etapas anteriores del ciclo de vida.” (La traducción es nuestra).

markets, and any claims without numbers attached can be easily dismissed. This is presented as “pragmatism” but is actually something rather different: an attempt to exclude from the green debate any interventions based on morality, emotion, intuition, spiritual connection, or simple human feeling.<sup>98</sup> (pp. 5-6)

Esta lógica mercantilista y cuantitativa, característica del neoambientalismo, se refleja de manera práctica en algunas de las metodologías de restauración ecológica que priorizan la cuantificación de servicios ecosistémicos por encima de una comprensión integral de los procesos ecológicos. Al reducir los ecosistemas a unidades medibles y comercializables, estas aproximaciones no solo simplifican la complejidad intrínseca de los sistemas naturales, sino que además malinterpretan profundamente su naturaleza dinámica y sus mecanismos de autorregulación.

Ahora bien, los ecosistemas se caracterizan por mantener un equilibrio dinámico y no estático, lo que expone deficiencias metodológicas significativas en la práctica de la restauración ecológica. Estas deficiencias tienen su origen tanto en la limitada información recopilada para una comprensión integral del sistema a evaluar, como en las metodologías empleadas, cuyo enfoque se centra en realizar mediciones orientadas a adaptar el medio hacia un estado que permita la provisión sostenible de servicios ecosistémicos para el bienestar humano, como podría ser el caso de la remediación o rehabilitación. Sin embargo, este enfoque desestima la importancia de los demás organismos

---

<sup>98</sup> “Los neo-ambientalistas también tienden a mostrar un entusiasmo evitable por los mercados. A ellos les gusta poner un precio a cosas como árboles, lagos, niebla, cocodrilos, selva tropical y cuencas hidrográficas, todos los cuales pueden prestar «servicios ecosistémicos», que pueden ser comprados y vendidos, medidos y contabilizados. Todo esto está relacionado con una actitud casi religiosa hacia el método científico. Todo lo que importa puede ser medido por la ciencia y recibir un precio por los mercados, y cualquier reclamo sin números adjuntos puede ser fácilmente rechazada. Esto es presentado como «pragmatismo», pero es en realidad algo bastante diferente: un intento de excluir del debate verde cualquier intervención basada en la moralidad, la emoción, la intuición, la conexión espiritual o el simple sentimiento humano.” (La traducción es nuestra).

presentes, que son fundamentales y complementarios para la persistencia de los árboles de mangle. Esta aproximación representa, según Mayr (2006), un error conceptual al aplicar una metodología reduccionista en un sistema inherentemente dinámico, dado que:

la emergencia se origina mediante las nuevas relaciones (interacciones) de los componentes previamente desconectados. De hecho, el no tener en cuenta la importancia de tales conexiones constituye una de las fallas básicas del reduccionismo (p. 104).

Así pues, la evidencia del estudio de caso y diversos autores, sugiere que los enfoques reduccionistas en restauración de manglares no solo limitan nuestra comprensión de estos sistemas complejos, sino que pueden comprometer la efectividad a largo plazo de los proyectos de restauración al ignorar las propiedades emergentes que sustentan la resiliencia y funcionalidad de estos ecosistemas (Lewis, 2005; Bosire et al., 2008). Por tanto, es necesario incluir el holismo metodológico donde se reconozcan y incorpore la naturaleza compleja y las propiedades emergentes de los sistemas de manglar para lograr una restauración ecológica verdaderamente efectiva y sostenible.

En efecto, la necesidad de un enfoque metodológico holístico en la restauración de manglares encuentra su fundamento epistemológico en corrientes filosóficas que cuestionan la suficiencia del reduccionismo científico para comprender la realidad de los sistemas complejos. En particular, el paradigma que privilegia el estudio de las interacciones entre componentes, por encima del análisis de elementos aislados, ofrece un marco conceptual sólido y adecuado para abordar la complejidad intrínseca de los ecosistemas de manglar y sus procesos de restauración.

Con respecto al concepto de holismo metodológico, Allen (2018) lo define de la siguiente manera:

El *materialismo holístico* (o dialéctico) sostiene que el estudio de las partes aisladas no es la manera más precisa de comprender la realidad. Los materialistas holistas no creen que el todo es igual a algo más que la suma de sus partes de alguna manera misteriosa, es decir, en virtud de alguna fuerza vital o incognoscible. Mantienen, sin embargo, que lo importante no es simplemente la suma total de las partes individuales *sino la forma como interactúan*. Los materialistas holísticos sostienen que una de las características de las partes es la naturaleza de su interacción con las demás partes del todo y que, de hecho, no podemos conocer la parte sin tener conocimiento de sus interacciones, porque también éstas definen su carácter. Así pues, aun cuando los mecanicistas holistas no menosprecian el estudio de las partes por separado, buscan también estudiar esas partes en el contexto de la totalidad a la que pertenecen. Por ejemplo, un mecanicista holista podría estudiar una sola célula nerviosa para determinar sus respuestas, sus características de conducción y demás cosas por el estilo, pero no habría de afirmar que esto nos proporciona una necesaria comprensión de cómo actúa la célula dentro del organismo intacto. Un mayor estudio de los haces nerviosos, del sistema nervioso, de la composición de los fluidos del cuerpo y del equilibrio hormonal tendría que efectuarse antes de que pudiese trazarse el cuadro del funcionamiento de los nervios en su marco biológico (de la vida real). (pp. 34-35)

## **2.6. Hacia un enfoque holístico y biocéntrico de la restauración ecológica**

Ahora bien, una de las estrategias de investigación adecuadas para el reconocimiento del valor de la naturaleza es la implementación del holismo ecológico, el cual es definido por Elliot (1995) de la siguiente manera :

Como dijimos anteriormente, cualquier ética que nos guíe en nuestro trato al medio natural es, en el sentido más general, una ética ambiental. El término «ética ambiental» tiene en ocasiones usos más restringidos. En ocasiones se utiliza para indicar una ética que considera moralmente relevantes a otros individuos distintos a las personas, y que proporciona argumentos de peso a las exigencias morales ambientalistas. Una ética centrada en la vida es una ética ambiental en este sentido, y una ética centrada en los animales lo es con menos claridad. Sin embargo, algunos reservan el término para una ética específica, el holismo ecológico, presumiblemente porque piensan que sólo una ética semejante proporciona una protección moralmente satisfactoria del entorno natural (véase Callicott, 1979). El holismo ecológico considera moralmente relevantes

dos tipos de cosas; el conjunto de la biosfera y los grandes ecosistemas que la componen. Los animales individuales, incluidos los humanos, así como las plantas, las rocas, moléculas, etc., que componen estos grandes sistemas no son moralmente relevantes; sólo importan en tanto en cuanto contribuyen al mantenimiento del todo significativo al que pertenecen. ¿Por qué deberíamos preocuparnos si se causa la extinción de una especie? Deberíamos preocuparnos no por lo que esto supone para sus miembros individuales o incluso para la propia especie sino porque la extinción va en contra de la meta de mantener la biosfera o los ecosistemas. Es una cuestión debatida la de si el holismo ecológico puede considerarse estructuralmente diferente de las otras éticas. Estas atendían a individuos, y el «holismo» puede considerarse caracterizado por un centro de atención diferente. Sin embargo, es posible considerar a la biosfera y a los ecosistemas como individuos, si bien individuos extremadamente complejos. (p. 397)

Según Odum y Barrett (2006), implementar el holismo es una necesidad debido a la insuficiencia del reduccionismo para resolver problemáticas urgentes. El holismo metodológico es la teoría donde se establece que no es posible entender completamente todo un sistema investigando únicamente sus partes o propiedades individuales; teoría que sostiene que las entidades tienen existencia como un todo, en lugar de ser solo la suma de sus partes.

Cabe resaltar que el concepto holismo no es propiamente aplicable solamente a sistemas biológicos, ya que muchos sistemas inorgánicos son también holísticos. Así pues, en biología se utiliza el término “organicismo”, el cual implica tener en cuenta el programa genético (Mayr, 1982). Como señala Capra (1998), los sistemas vivos exhiben propiedades emergentes que no pueden predecirse a partir del conocimiento de sus componentes individuales, lo que refuerza la necesidad de adoptar perspectivas sistémicas en el estudio de la naturaleza.

El organicismo descrito, originalmente en 1928, describe el organicismo como la dependencia del todo con las partes que lo componen, ejerciendo así el todo el control sobre todos sus componentes:

The wholes are so related to their parts that not only does the existence of the whole depend on the orderly cooperation and interdependence of its parts, but the whole exercises a measure of determinative control over its parts.<sup>99</sup> (Ritter y Bailey, citados por Mayr, 2016, p. 31).

Esta perspectiva encuentra respaldo en la teoría general de sistemas de Bertalanffy (1976), quien argumenta que los sistemas abiertos mantienen su organización a través del intercambio continuo de materia y energía con su entorno, desarrollando propiedades que trascienden las características de sus elementos constitutivos.

Ahora bien, según Smuts (citado en Mayr, 2016), a nivel del individuo encontramos que los organismos son considerados el todo de orden compuesto y que están formados por partes que interactúan entre sí y constan de muchas partes a diferentes niveles en relación dinámica.

Por lo tanto, al tratar de comprender la vida de un organismo y al pretender dar explicaciones a sus problemáticas, se debe tener conocimiento del todo, que es, en efecto, sus relaciones particulares con su integridad y con las interacciones de las partes, que son otros todos a diferentes niveles, que a su vez son el resultado de la vida del organismo en estudio (Novikoff, 1945). Esta comprensión jerárquica de la organización biológica es fundamental para entender los procesos ecológicos, como lo señala Checkland (1993) al destacar que los sistemas complejos requieren enfoques metodológicos que reconozcan tanto la autonomía relativa de cada nivel como su interdependencia funcional.

Con respecto a este asunto, Novikoff (1945) afirma lo siguiente:

---

“Los todos están tan relacionados con sus partes que no solo la existencia del todo depende de la cooperación ordenada y la interdependencia de sus partes, sino que el todo ejerce una medida de control determinante sobre sus partes.” (La traducción es nuestra).

The wholes of one level become parts of the next higher level... both parts and wholes are material entities, and integration is the result of the interaction of parts as a consequence of their properties [...] Holism does not regard living organisms as machines made up of a multitude of discrete parts (physicochemical units) that can be taken apart like the pistons of an engine and can be described without reference to the system from which they have been taken apart.<sup>100</sup> (p. 209)

Esta comprensión holística de los sistemas naturales encuentra su complemento ético en el enfoque biocéntrico, el cual considera el valor intrínseco de los organismos y concibe al ser humano como miembro de la comunidad de la vida en el planeta Tierra. La vida humana se concibe como una parte integral del orden natural de la biosfera; de este modo, se considera que el lugar de los humanos en el sistema de la naturaleza es igual al lugar que ocupan otras especies. Con el enfoque biocéntrico, no se niegan las diferencias entre humanos y otras especies, sino que se comprende que los humanos son una especie perteneciente a una población entre muchas otras y que, por lo tanto, comparten circunstancias ambientales comunes (Taylor, 2011).

Como argumenta Callicott (1989), el biocentrismo ofrece una base ética sólida para la conservación al reconocer que todos los organismos vivos poseen valor independientemente de su utilidad para los humanos. Esta perspectiva se alinea con la propuesta de Naess (1989) sobre la ecología profunda, que enfatiza la necesidad de desarrollar una nueva relación con la naturaleza basada en el respeto y la interdependencia.

El no defender los valores que promueve el biocentrismo y que, por el contrario, promueve los valores del antropocentrismo, conduce de cierta

---

<sup>100</sup> “Los conjuntos de un nivel se convierten en partes del siguiente nivel ... tanto las partes como los todos son entidades materiales, y la integración es el resultado de la interacción de las partes como consecuencia de sus propiedades [...] El holismo no considera a los organismos vivos como máquinas formadas por una multitud de partes discretas (unidades fisicoquímicas) que se pueden desmontar como los pistones de un motor y se pueden describir sin referencia al sistema del que se han desmontado.” (La traducción es nuestra).

manera al no enriquecimiento de la biodiversidad, sino, por el contrario, a promover prácticas que conduzcan a la extinción de la biodiversidad. Como ejemplo de esta perspectiva problemática, encontramos la posición de Kareiva y sus colaboradores, según Wuerthner et al. (2014), quienes utilizan un discurso que justifica la extinción de algunos ejemplares y minimiza su importancia en los ecosistemas y, por ende, en la biosfera:

Ecologists and conservationists have grossly overstated the fragility of nature... In many circumstances, the demise of formerly abundant species can be inconsequential to ecosystem function. The American chestnut, once a dominant tree in eastern North America, has been extinguished by a foreign disease, yet the forest ecosystem is surprisingly unaffected. The passenger pigeon, once so abundant that its flocks darkened the sky, went extinct, along with countless other species from the Steller's sea cow to the dodo, with no catastrophic or even measurable effects.<sup>101</sup> (p. 141)

De hecho, con respecto a la pérdida de poblaciones de la especie de oso polar, Kareiva y sus colaboradores, según Wuerthner et al. (2014), asimilan este evento como un suceso que ocurre de manera natural, omitiendo por completo el calentamiento global provocado por las altas concentraciones de dióxido de carbono que la especie humana produce:

Even that classic symbol of fragility—the polar bear, seemingly stranded on a melting ice block—may have a good chance of surviving global warming if the changing environment continues to increase the populations and northern ranges of harbor seals and harp seals. Polar bears evolved from brown bears 200,000 years ago during a cooling period in Earth's history, developing a highly specialized carnivorous diet focused on seals. Thus, the fate of polar bears depends on two opposing trends—the

---

<sup>101</sup> “Los ecologistas y conservacionistas han sobreestimado mucho la fragilidad de la naturaleza...En muchas circunstancias, la desaparición de especies anteriormente abundantes puede ser intrascendente a la función ecosistémica. El castaño americano, un árbol dominante en este de Norte America, ha sido extinguido por una enfermedad foránea, ahora el ecosistema de bosque es sorprendentemente no afectado. La paloma mensajera, una vez tan abundante que sus manadas oscurecían el cielo, se extinguieron, junto con incontables otras especies desde, la vaca marina de Steller hasta el dodo, con no efectos catastróficos o incluso medibles.” (La traducción es nuestra).

decline of sea ice and the potential increase of energy-rich prey. The history of life on Earth is of species evolving to take advantage of new environments only to be at risk when the environment changes again.<sup>102</sup> (Kareiva, citado por Cafaro, 2014, p. 141)

Las implicaciones de adoptar simultáneamente el holismo metodológico y el biocentrismo trascienden el ámbito teórico y se materializan en la práctica de la restauración ecológica. La problemática en esta clase de discursos, promovidos inicialmente por el desconocimiento y en segunda instancia por el ideal del antropocentrismo, incentiva a que se restauren funciones ecológicas de valor utilitario para el bienestar de la humanidad, en este sentido, esta situación influye en la restauración de los servicios ecosistémicos también.

Ahora bien, Callicott (2006), expone uno de los debates en el contexto del valor que se le asigna a los humanos y a la naturaleza, de la siguiente manera:

Environmental philosophers customarily divide value into two main types, expressed by alternative pairs of terms: **instrumental** or **utilitarian** as opposed to **intrinsic** or **inherent**. Instrumental or utilitarian value is the value that something has as a means to another's ends. Intrinsic or inherent value is the value that something has as an end in itself. The intrinsic value of human beings is rarely contested. The intrinsic value of nonhuman natural entities and nature as a whole has been the subject of much controversy. Perhaps because the suggestion that nonhuman natural entities and nature as a whole may also have intrinsic value is so new and controversial, some prominent conservationists (e.g., Myers 1983) have preferred to provide a purely

---

<sup>102</sup> “Incluso el símbolo clásico de fragilidad —el oso polar, parece varado en un cubo de hielo por deterretirse— podría tener una buena oportunidad de sobrevivir al calentamiento global, si el cambio climático continua las poblaciones y rangos de focas de puerto y focas de arpa incrementaría. Los osos polares evolucionaron de los osos marrones hace 200,000 años atrás, durante el periodo de enfriamiento en la historia de la Tierra, desarrollando dieta carnívora altamente especializada concentrándose en focas. De este modo, el destino de los osos polares depende de dos tendencias opuestas: la disminución del hielo marino y el aumento potencial de las presas ricas en energía. La historia de la vida en la Tierra es de especies que evolucionan para aprovechar los nuevos entornos solo para estar en riesgo cuando el medio ambiente cambia de nuevo.” ( la traducción es nuestra).

utilitarian rationale for conserving biodiversity. The view that biodiversity has value only as a means to human ends is called **anthropocentric** (human-centered). On the other hand, the view that biodiversity is valuable simply because it exists, independently of its use to human beings, is called **biocentric** or **ecocentric**.<sup>103</sup> (Callicott, 2006, p. 111)

En este sentido, la instrumentalización utilitaria de la biodiversidad contribuye a perpetuar la actual crisis ecológica caracterizada por una pérdida masiva de especies que compromete la historia de vida de millones de organismos, crisis exacerbada por el crecimiento poblacional humano, la expansión territorial y la creciente demanda de servicios ecosistémicos.

Como bien lo denuncia de Soulé (2014):

[...] Sadly, in recent times science itself has emerged as a potent agent in humanity's global conquest. The biological sciences have turned back on biology, so that the fields of agriculture, medicine, and biotechnology now multiply the effects of the population explosion, probably the major driver of biodiversity loss. And corporations continue to

---

<sup>103</sup> “Los filósofos ambientales suelen dividir los valores en dos tipos principales, expresados por partes alternativas de términos: **instrumental** o **utilitario** como opuesto a **intrínseco** o **inherente**. El valor instrumental o utilitario es el valor que algo tiene como un medio para los fines de otro. El valor intrínseco o inherente es el valor que algo tiene como un fin en fin mismo. El valor intrínseco de los seres humanos rara vez es discutido. El valor intrínseco de las entidades naturales no humanas y de la naturaleza como un todo ha sido un tema de mucha controversia. Tal vez porque la idea de que las entidades naturales no humanas y la naturaleza como un todo también puedan tener valor intrínseco es muy nueva y controversial, algunos conservacionistas prominentes (por ejemplo, Myers 1983) han preferido ofrecer una fundamentación puramente utilitarista para la conservación de la biodiversidad. La visión de que la biodiversidad tiene un valor únicamente como un medio para los fines humanos es llamado **antropocéntrico** (centrado en los humanos). Por otro lado, la visión de que la biodiversidad tiene valor simplemente porque existe, independientemente de su uso para los seres humanos, es llamado **biocéntrico** o **ecocéntrico**.” (La traducción es nuestra).

commodify the commons—the water and air—with a perspective symbolized by the anthropocentric term «natural resources.»<sup>104</sup> (p. xi)

Ahora bien, Harris et al. (2006) señalan que la restauración ecológica debe considerar no solo la funcionalidad ecosistémica sino también la integridad biológica y la diversidad genética. Por su parte, Young (2000) argumenta que los enfoques reduccionistas en restauración frecuentemente fallan al no considerar las complejas interacciones entre especies y procesos ecosistémicos.

En este sentido, es necesario que para el desarrollo de futuros proyectos de restauración ecológica se conciba el rol de la restauración en el contexto global actual, donde la principal problemática no es únicamente la pérdida de servicios ecosistémicos, sino también la pérdida de biodiversidad a causa del dominio del hombre sobre la Tierra. Siendo más precisos, para la elaboración de proyectos de restauración ecológica sería conveniente concebir la restauración no como un conocimiento que permite al hombre dominar sobre ecosistemas degradados para utilizarlos a su favor promoviendo funciones ecosistémicas que le proveen beneficios, sino más bien como un cúmulo de conocimientos que permiten abordar problemáticas que afectan a las especies no humanas y a la especie humana en conjunto, reconociendo que las afectaciones de estos ecosistemas por restaurar no solo afectan a comunidades de organismos separados de los humanos, sino que afecta a la comunidad de la cual la especie humana hace parte.

---

<sup>104</sup> “Lamentablemente, en los últimos tiempos la propia ciencia ha surgido como un agente potente en la conquista global de la humanidad. Las ciencias biológicas han vuelto a la biología, de modo que los campos de la agricultura, la medicina y la biotecnología ahora multiplican los efectos de la explosión de la población, probablemente el principal impulsor de la pérdida de biodiversidad. Y las corporaciones continúan mercantilizando los bienes comunes, el agua y el aire, con una perspectiva simbolizada por el término antropocéntrico recursos naturales.” (La traducción es nuestra).

En cuanto a Choi (2004), propone que la restauración ecológica debe adoptar marcos teóricos que reconozcan la naturaleza dinámica y adaptativa de los ecosistemas, integrando principios de la ecología del paisaje y la biología de la conservación para crear estrategias más efectivas y sostenibles, por ejemplo, una pregunta útil a considerar en el contexto de la restauración en los ecosistemas es si, se pueden identificar puntos de apalancamiento, es decir, áreas para intervenir en el ecosistema, donde un pequeño cambio podría conducir a un gran cambio de comportamiento. Estos puntos de apalancamiento podrían llegar a ser útiles debido a los elementos y flujos clave dentro del ecosistema que podemos identificar, donde se incluye bucles de retroalimentación de equilibrio y retroalimentación que actúan para estabilizar el sistema y conducen a un cambio rápido del sistema (Jørgensen, 2009).

Por otro lado, resulta pertinente que para considerar un enfoque holístico y biocéntrico dentro de la restauración ecológica se tenga una perspectiva crítica con respecto a la dinámica de funcionamiento del capitalismo y el sometimiento de la naturaleza a los imperativos de valorización del capital.

De acuerdo con la perspectiva hoy dominante, las técnicas aplicadas a la restauración deben ser evaluadas según el costo y beneficio que generan en cuestión de restablecimiento de servicios ecosistémicos, si el objetivo de restauración y el plan de monitoreo lo sugieren, lo que beneficia a los promotores privados de la restauración, pero deja de lado el restablecimiento de la biodiversidad y los beneficios de aplicar investigación y recursos necesarios para ejecutar un proyecto de restauración que pretenda restaurar funciones ecosistémicas sin discriminar qué tan beneficiosos serán los resultados para la humanidad.

Los practicantes de la restauración ecológica deben procurar suministrar especies nativas a las áreas de restauración de ecosistemas de manglar,

intentando mitigar y priorizar los mismos ensamblajes ecológicos que el ecosistema tenía, o procurar proveer funciones ecológicas similares que favorezcan las relaciones entre especies nativas. De lo contrario se corre el riesgo de que las corporaciones encargadas de establecer planes o proyectos de restauración continúen por el mismo camino donde los intereses económicos privados prevalecen sobre la generación de servicios ecosistémicos, más que en la prevalencia y buen establecimiento de los ecosistemas (Primack y Sher, 2016).

Primack y Sher (2016) afirman lo siguiente:

Conservation biologists in this field must take care to ensure that restoration efforts are not simply public relations endeavors taken by environmentally damaging corporations that are only interested in continuing business as usual (Maron et al. 2012). A 5 ha “demonstration” or “best practices” project in a highly visible location does not compensate for thousands or tens of thousands of hectares damaged elsewhere and should not be accepted as adequate by conservation biologists. Attempts to mitigate or offset the destruction of an intact biological community by the building of a similar species assemblage at a new location is almost certainly not going to provide a home for the same species or provide similar ecosystem functions (Moreno-Mateos et al. 2015a).<sup>105</sup> (p. 359)

Norton (1991) advierte sobre los riesgos de subordinar la conservación exclusivamente a criterios económicos, argumentando que esta aproximación

---

<sup>105</sup> “Los biólogos de la conservación en este campo deberían tener cuidado al asegurarse de que los esfuerzos de la restauración no sean simplemente relaciones públicas asumidas por corporaciones nocivas para el medio ambiente donde su único interés es en continuar negocios como de costumbre (Maron et al. 2012). Un proyecto de «demostración» o «mejores prácticas» de 5 hectáreas en un lugar altamente visible no compensa miles o decenas de miles de hectáreas dañadas en otros lugares y no debe ser aceptado como adecuado por los biólogos de la conservación. Es casi seguro que los intentos de mitigar o compensar la destrucción de una comunidad biológica intacta mediante la construcción de un conjunto de especies similares en una nueva ubicación no proporcionarán un hogar para las mismas especies ni proporcionarán funciones similares del ecosistema. [...]” (La traducción es nuestra).

puede comprometer la integridad de los ecosistemas a largo plazo. Cafaro y Crist (2012) complementan esta crítica señalando que el crecimiento económico ilimitado es fundamentalmente incompatible con la conservación de la biodiversidad.

Actualmente, se reconoce que las causas de la degradación de los ecosistemas son el aumento demográfico, el crecimiento económico asociado a prácticas agresivas de explotación, como también a un incremento desmedido del consumo por parte de la especie humana. Sin embargo, para los partidarios del antropoceno se debe ignorar el crecimiento demográfico y adoptar el crecimiento económico como una de las principales metas de la conservación. Infortunadamente, la restauración ecológica se encuentra dentro de este debate. El crecimiento económico continuará estando entre las metas de los proyectos de conservación y restauración ecológica; sin embargo, el crecimiento económico por medio del sometimiento de la naturaleza mediante la producción de solo servicios ecosistémicos no es sustentable a través del tiempo. Nuestro deber como restauradores es tomar partido en la redefinición del éxito personal y del progreso social en términos menos materialistas, redefinir las metas de restauración explorando nuevas alternativas que detengan el crecimiento económico desmedido y no contribuyan al decrecimiento de los límites ecológicos.

## **Conclusión**

El análisis crítico del paradigma dominante en la restauración ecológica de manglares pone en evidencia una problemática estructural que trasciende las limitaciones técnicas, al adentrarse en contradicciones epistemológicas y éticas de fondo. La hegemonía del enfoque antropocéntrico-reduccionista no solo socava la efectividad ecológica de los proyectos de restauración, sino que perpetúa una relación instrumental con la naturaleza, que resulta

paradójicamente contraproducente incluso para los propios fines utilitarios que pretende alcanzar.

Las evidencias disponibles muestran que la pérdida de diversidad genética y biológica en los ecosistemas de manglar se ve agravada por metodologías que privilegian la reforestación en monocultivo y la recuperación de servicios ecosistémicos específicos, ignorando la complejidad inherente de estos sistemas megadiversos. Casos documentados de depresión endogámica en *Rhizophora mangle*, el aumento de la vulnerabilidad ante perturbaciones climáticas y la simplificación de las comunidades biológicas ilustran las consecuencias de aplicar marcos conceptuales inadecuados a sistemas caracterizados por propiedades emergentes.

El análisis del proyecto de restauración en el Pacífico colombiano ejemplifica con claridad estos desaciertos. La ausencia de ecosistemas de referencia, la omisión de estudios genéticos poblacionales y la reducción de los objetivos de biodiversidad a especies de valor económico inmediato revelan cómo el reduccionismo metodológico puede intensificar la deuda de extinción que justamente se busca mitigar.

La crítica al antropocentrismo va más allá de las consideraciones éticas y expone también sus limitaciones pragmáticas. Incluso desde una lógica utilitarista, el enfoque centrado en los servicios ecosistémicos resulta insuficiente para asegurar la conservación de la diversidad biológica que sustenta dichos servicios. La instrumentalización de la naturaleza genera una dependencia frágil frente a las fluctuaciones económicas y a los avances tecnológicos, que pueden volver “obsoletos” los servicios ecosistémicos naturales.

Ante este escenario, la adopción de un enfoque holístico-biocéntrico representa una transformación paradigmática que reconoce el valor intrínseco de la

biodiversidad y la interdependencia esencial entre el bienestar humano y la integridad de la biosfera. Este enfoque propone comprender a los ecosistemas de manglar no simplemente como proveedores de servicios, sino como comunidades de vida con un derecho propio a existir y evolucionar.

La implementación práctica de esta perspectiva exige incorporar estudios genéticos poblacionales, diseñar intervenciones que fomenten la heterogeneidad de hábitats, incluir grupos funcionales diversos, establecer corredores biológicos que faciliten el flujo génico y desarrollar marcos de evaluación que trasciendan los indicadores antropocéntricos.

La urgencia de esta transformación se ve intensificada por la crisis climática y la pérdida acelerada de biodiversidad. En tanto interfaces críticas entre los sistemas terrestres y marinos, los ecosistemas de manglar requieren estrategias de restauración fundamentadas en principios ecológicos rigurosos y en una ética que reconozca la interdependencia entre la salud ecosistémica y el bienestar humano a largo plazo.

En última instancia, la adopción de una perspectiva holístico-biocéntrica ofrece la oportunidad de reimaginar la relación entre humanidad y naturaleza, donde la restauración ecológica deje de entenderse como un acto de dominación benevolente, para concebirse como una participación consciente en la regeneración de la comunidad de vida de la cual somos parte integral.

## CONCLUSIÓN

Para que los planes de restauración ecológica sean verdaderamente efectivos, es imprescindible que integren criterios ecológicos desde una perspectiva transdisciplinaria, superando así las limitaciones impuestas por enfoques metodológicos reduccionistas. La articulación de saberes provenientes de disciplinas como la ecología, la biología marina, la genética y las ciencias sociales permite una aplicación más rigurosa y contextualizada de las técnicas de restauración, especialmente en lo que respecta a la reproducción de especies nativas y a la inclusión estratégica de especies complementarias que conforman el entramado ecológico del manglar.

En el caso particular de los ecosistemas de manglar, es necesario implementar estrategias de investigación integral que amplíen y profundicen el conocimiento sobre la biodiversidad local. Comprender la complejidad de las interacciones ecológicas entre especies y su entorno es un paso fundamental para diseñar intervenciones que enriquezcan el ecosistema y favorezcan su resiliencia. En este sentido, la caracterización genética de las poblaciones autóctonas debe ocupar un lugar central en los procesos de restauración, a fin de evitar la pérdida de diversidad genética, un componente esencial para el equilibrio ecológico y la adaptación a largo plazo.

Asimismo, los objetivos de restauración no deben limitarse a la recuperación funcional de ciertas partes del ecosistema, sino que deben abordar de forma simultánea las funciones ecosistémicas, los procesos ecológicos y la conservación de la biodiversidad. Esta visión integral permite superar la fragmentación que ha caracterizado numerosos proyectos, garantizando que los esfuerzos de restauración respondan a la complejidad estructural y funcional del ecosistema en su conjunto.

Por último, es fundamental que estos procesos se orienten desde una perspectiva ecocéntrica, que reconozca los valores intrínsecos de la naturaleza más allá de su utilidad para el ser humano. Así pues, superar el enfoque antropocéntrico dominante implica valorar la biodiversidad por su papel esencial en el mantenimiento de la vida en todas sus formas, no solo por los servicios ecosistémicos que provee. Adoptar esta mirada es clave para alcanzar una restauración ecológica integral, especialmente en ecosistemas tan estratégicos y frágiles como los manglares del Pacífico colombiano.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alongi, D. M. (2015). The impact of climate change on mangrove forests. *Current Climate Change Reports*, 1(1), 30–39. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0002-x>
- Altvater, E. (2014). El capital y el Capitaloceno. *Mundo Siglo XXI: Revista del CIECAS-IPN*, 33(9), 5–15.
- Allen, G. (1983). *La ciencia de la vida en el siglo XX*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Aziz, S. A., Clements, G. R., McConkey, K. R., Sritongchuay, T., Pathil, S., Abu Yazid, M. N., Campos-Arceiz, A., Turner, C. S., & Hodgkison, R. (2017). Pollination by the locally endangered island flying fox (*Pteropus hypomelanus*) enhances fruit production of the economically important durian (*Durio zibethinus*). *Ecology and Evolution*, 7(21), 8670–8684. <https://doi.org/10.1002/ece3.3213>
- Bascompte, J., & Jordano, P. (2006). The structure of plant animal mutualistic networks. En M. Pascual & J. A. Dunne (Eds.), *Ecological networks: linking structure to dynamics in food webs*. Oxford University Press.
- Bateman, B. L., Kutt, A. S., Vanderduys, E. P., & Kemp, J. E. (2010). Small-mammal species richness and abundance along a tropical altitudinal gradient: An Australian example. *Journal of Tropical Ecology*, 26(2), 139–149. <https://doi.org/10.1017/S0266467409990460>

- Begon, M., y Townsend, C. (2021). *Ecology: From individuals to ecosystems*. Oxford: Wiley.
- Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O. U., Swartz, B., Quental, T. B., Marshall, C., McGuire, J. L., Lindsey, E. L., Maguire, K. C., Mersey, B., & Ferrer, E. A. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471(7336), 51–57. <https://doi.org/10.1038/nature09678>
- Bekessy, S. A., Runge, M. C., Kusmanoff, A. M., Keith, D. A., & Wintle, B. A. (2018). Ask not what nature can do for you: A critique of ecosystem services as a communication strategy. *Biological Conservation*, 224, 71–74. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.05.017>
- Bergstrom, C., & Dugatkin, L. (2016). *Evolution* (2nd ed.). W. W. Norton & Company.
- Berg, Å. (1997). Diversity and abundance of birds in relation to forest fragmentation, habitat quality and heterogeneity. *Bird Study*, 44(3), 355–366. <https://doi.org/10.1080/00063659709461070>
- Bertalanffy, L. von (1976). *Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica.
- Boehm, M. M. A., & Cronk, Q. C. B. (2021). Dark extinction: The problem of unknown historical extinctions. *Biology Letters*, 17, 20210007. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2021.0007>
- Bosire, J. O., Dahdouh-Guebas, F., Walton, M., Crona, B. I., Lewis, R. R., Field, C., Kairo, J. G., & Koedam, N. (2008). Functionality of restored

mangroves: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.03.010>

Cafaro, P., & Crist, E. (Eds.). (2012). *Life on the brink: Environmentalists confront overpopulation*. University of Georgia Press.

Cafaro, P. (2013). Expanding parks and reducing human numbers: A superior alternative to embracing the Anthropocene Era. *The George Wright Forum*, 30, 261–266. Reimpreso en G. Wuerthner, E. Crist & T. Butler (Eds.), *Keeping the wild: Against the domestication of Earth* (pp. 137–145). Island Press.

Callicott, J. B. (2013). *Thinking like a planet: The land ethic and the earth ethic*. Oxford University Press.

Callicott, J. B., Crowder, L. B., & Mumford, K. (1999). Current normative concepts in conservation. *Conservation Biology*, 13(1), 22–35. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97333.x>

Callicott, J. B. (2006). Conservation Values and Ethics. En: Groom, M., Meffe, G., Carroll, R., et al. (2006). *Principles of conservation biology* (3rd ed.). Sunderland, Massachusetts: Sinauer.

Capra, F. (1998). *La trama de la vida: Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Anagrama.

Carlucci, M. B., Brancalion, P. H. S., Rodrigues, R. R., Loyola, R., & Cianciaruso, M. V. (2020). Functional traits and ecosystem services in ecological restoration. *Restoration Ecology*, 28(6), 1372–1383. <https://doi.org/10.1111/rec.13279>

- Chan, K. M. A., Pringle, R. M., Ranganathan, J., Boggs, C. L., Chan, Y. L., Ehrlich, P. R., Haff, P. K., Heller, N. E., Al-Khafaji, K., & Macmynowski, D. P. (2007). When agendas collide: Human welfare and biological conservation. *Conservation Biology*, 21(1), 59–68. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00570.x>
- Checkland, P. (1993). *Systems thinking, systems practice*. John Wiley & Sons.
- Choi, Y. D. (2004). Theories for ecological restoration in changing environment: Toward ‘futuristic’ restoration. *Ecological Research*, 19, 75–81. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1703.2003.00594.x>
- Cerón-Souza, I., Bermingham, E., McMillan, W. O., & Jones, F. A. (2012). Comparative genetic structure of two mangrove species in Caribbean and Pacific estuaries of Panama. *BMC Evolutionary Biology*, 12, 205. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-12-205>
- Cerón-Souza, I., Toro-Perea, N., & Cárdenas-Henao, H. (2005). Population genetic structure of Neotropical mangrove species on the Colombian Pacific coast: *Avicennia germinans* (Avicenniaceae). *Biotropica*, 37(2), 258–265. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00035.x>
- Charlesworth, D., & Willis, J. H. (2009). The genetics of inbreeding depression. *Nature Reviews Genetics*, 10(11), 783–796. <https://doi.org/10.1038/nrg2664>
- Crist, E. (2013). On the poverty of our nomenclature. *Environmental Humanities*, 3(1), 129–147. <https://doi.org/10.1215/22011919-3611266>

- Crist, E. (2019). *Abundant Earth: Toward an ecological civilization*. The University of Chicago Press.
- Contos, P., Wood, J. L., Murphy, N. P., & Gibb, H. (2021). Rewilding with invertebrates and microbes to restore ecosystems: Present trends and future directions. *Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1002/ece3.7597>
- Curtis, H., Barnes, S. N., et al. (2022). *Biología en contexto social*. Editorial Médica Panamericana.
- Cunningham, W. P., Cunningham, M. A., O'Reilly, C. M., & Winsett, K. E. (2024). *Environmental science: A global concern*. McGraw Hill LLC.
- Dale, P. E. R., Knight, J. M., & Dwyer, P. G. (2014). Mangrove rehabilitation: A review focusing on ecological and institutional issues. *Wetlands Ecology and Management*, 22, 587–604. <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9383-1>
- Daily, G., Polasky, S., Barton, N., et al. (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press.
- Díaz, M. C. (2012). Mangrove and coral reef sponge faunas: Untold stories about shallow water Porifera in the Caribbean. *Hydrobiologia*, 687, 179–190. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0952-5>
- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401–406. <https://doi.org/10.1126/science.1251817>

- Dobson, A. P., Bradshaw, A. D., & Baker, A. J. M. (1997). Hopes for the future: Restoration ecology and conservation biology. *Science*, 277(5325), 515–522. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.515>
- Duke, N. C., Meynecke, J. O., Dittmann, S., Ellison, A. M., Anger, K., Berger, U., Cannicci, S., Diele, K., Ewel, K. C., Field, C. D., Koedam, N., Lee, S. Y., Marchand, C., Nordhaus, I., & Dahdouh-Guebas, F. (2007). A world without mangroves? *Science*, 317(5834), 41–42. <https://doi.org/10.1126/science.317.5834.41b>
- Dunning, J. B., Jr., Groom, M. J., & Pulliam, H. R. (2006). Species and landscape approaches to conservation. En M. Groom, G. Meffe, & R. Carroll (Eds.), *Principles of conservation biology* (3ra ed., pp. 419–465). Sinauer Associates.
- Edmands, S. (2007). Between a rock and a hard place: Evaluating the relative risks of inbreeding and outbreeding for conservation and management. *Molecular Ecology*, 16(3), 463–475. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2006.03148.x>
- Elliot, R. (1995). La ética ambiental. En P. Singer (Ed.), *Compendio de ética* (pp. 391–403). Alianza Editorial.
- Ellison, A. M. (2000). Mangrove restoration: Do we know enough? *Restoration Ecology*, 8(3), 219–229.
- Ellison, J. C., Rubens, J., & Fusi, M. (2020). Mangrove rehabilitation and restoration as experimental adaptive management. *Frontiers in Marine Science*, 7, 327. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00327>

- Ehrenfeld, D. (1981). *The arrogance of humanism*. New York: Oxford University Press.
- Ehrenfeld, J. G. (2000). Defining the limits of restoration: The need for realistic goals. *Restoration Ecology*, 8(1), 2–9. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2000.80002.x>
- Food and Agriculture Organization. (2007). *The world's mangroves* (FAO Forestry Paper No. 153). Food and Agriculture Organization.
- Flores, F., Casasola, P., Agraz, C., López, H., Benítez, D., & Travieso, A. (2007). La topografía y el hidropériodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín Sociedad Botánica México*, 80, 33-47.
- Frankham, R. (2010). Where are we in conservation genetics and where do we need to go? *Conservation Genetics*, 11(2), 661–663. <https://doi.org/10.1007/s10592-009-0010-2>
- Frankham, R., Ballou, J. D., & Briscoe, D. A. (2009). *Introduction to conservation genetics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Feller, I. C., Lovelock, C. E., Berger, U., McKee, K. L., Joye, S. B., & Ball, M. C. (2010). Biocomplexity in mangrove ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 2, 395–417. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163809>
- Galetti, M., & Dirzo, R. (2013). Ecological and evolutionary consequences of living in a defaunated world. *Biological Conservation*, 163, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.04.020>

- Goodbody, I. (2003). The ascidian fauna of Port Royal, Jamaica – I. Harbor and mangrove dwelling species. *Bulletin of Marine Science*, 73, 457–476.
- Granado, R., Pinto Neta, L. C., Nunes-Freitas, A. F., Voloch, C. M., & Lira, C. F. (2018). Assessing genetic diversity after mangrove restoration in Brazil: Why is it so important? *Diversity*, 10(2), 27. <https://doi.org/10.3390/d10020027>
- Guhl, E. (2012). Estado de la calidad del aire en Colombia 2007–2010. IDEAM.
- Guhl, E., & Leyva, P. (2015). *La gestión ambiental en Colombia, 1994 a 2014: ¿Un esfuerzo insostenible?* Fescol.
- Hallett, L. M., Diver, S., Eitzel, M. V., Olson, J. J., Ramage, B. S., Sardinas, H., Statman-Weil, Z., & Suding, K. N. (2013). Do we practice what we preach? Goal setting for ecological restoration. *Restoration Ecology*, 21(3), 312–319. <https://doi.org/10.1111/rec.12007>
- Haraway, D. (2015). Anthropocene, Capitalocene, Plantationocene, Chthulucene: Making kin. *Environmental Humanities*, 6, 159–165. <https://doi.org/10.1215/22011919-3615934>
- Hobbs, R. J., Hallett, L. M., Ehrlich, P. R., & Mooney, H. A. (2011). Intervention ecology: Applying ecological science in the twenty-first century. *BioScience*, 61(6), 442–450. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.6.6>
- Hogarth, P. J. (2015). *The biology of mangroves and seagrasses* (3<sup>a</sup> ed.). Oxford University Press.

- Holl, K. D., & Aide, T. M. (2011). When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1558–1563. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>
- Houde, A. L. S., Fraser, D. J., O'Reilly, P., & Hutchings, J. A. (2011). Relative risks of inbreeding and outbreeding depression in the wild in endangered salmon. *Evolutionary Applications*, 4(5), 634–647. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2011.00186.x>
- Hunter, M. L., Jr., Redford, K. H., & Lindenmayer, D. B. (2014). The complementary niches of anthropocentric and biocentric conservationists. *Conservation Biology*, 28(3), 641–645. <https://doi.org/10.1111/cobi.12296>
- Huxel, G. R., & Hastings, A. (1999). Habitat loss, fragmentation, and restoration. *Restoration Ecology*, 7(3), 309–315.
- Harris, J. A., Hobbs, R. J., Higgs, E., & Aronson, J. (2006). Ecological restoration and global climate change. *Restoration Ecology*, 14(2), 170–176. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00136.x>
- Honkanen, M., Roberge, J.-M., Rajaärkkä, A., & Mönkkönen, M. (2009). Distangling the effects of area, energy and habitat heterogeneity on boreal forest bird species richness in protected areas. *Global Ecology and Biogeography*, 18(1), 61–71. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00439.x>
- Janzen, D. H. (1974). *Epiphytic myrmecophytes in Sarawak: Mutualism through the feeding of plants by ants*. *Biotropica*, 6(4), 237–259. <https://www.jstor.org/stable/2989668>

- Jentsch, A., Seidl, R., & Wohlgemuth, T. (2022). Disturbances and disturbance regimes. In T. Wohlgemuth, A. Jentsch, & R. Seidl (Eds.), *Disturbance ecology* (pp. 11–40) (T. Wohlgemuth et al., Trans.). Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-98756-5>
- Jones, E. B. G. (2000). Marine fungi: Some factors influencing biodiversity. *Fungal Diversity*, 4, 53–73.
- Jones, E. B. G., & Pang, K. L. (2012). Tropical aquatic fungi. *Biodiversity and Conservation*, 21, 2403–2423. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0198-6>
- Jordano, P., Vázquez, D., & Bascompte, J. (2009). Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal. In R. Medel, M. A. Aizen, & R. Zamora (Eds.), *Ecología y evolución de interacciones planta-animal: Conceptos y aplicaciones* (pp. 19–40). Editorial Universitaria.
- Jørgensen, S. E. (Ed.). (2009). *Ecosystem ecology* (1st ed.). Elsevier B.V.
- Kareiva, P., Marvier, M., & Lalasz, R. (2012). Conservation in the Anthropocene: Beyond solitude and fragility. *Breakthrough Journal*, 2, 29–37.
- Kennedy, J. P., Sammy, J. M., Rowntree, J. K., & Preziosi, R. F. (2021). Mating system variation in neotropical black mangrove, *Avicennia germinans*, at three spatial scales towards an expanding northern distributional limit. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248, 106754. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106754>
- Kingsnorth, P. (2014). Rise of the neo-greens. In Wuerthner, G., Crist, E., & Butler, T. (Eds.), *Keeping the wild: Against the domestication of Earth*. Washington, D.C.: Island Press.

- Klekowski, E. J., Jr., Lowenfeld, R., & Hepler, P. K. (1994). *Mangrove genetics II: Outcrossing and lower spontaneous mutation rates in Puerto Rican Rhizophora*. *International Journal of Plant Sciences*, 155(3), 373–381. <https://doi.org/10.1086/297174>
- Lee, S. Y. (2008). Mangrove macrobenthos: Assemblages, services, and linkages. *Journal of Sea Research*, 59(1–2), 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2007.05.002>
- Lee, S. Y., Jones, E. B. G., Diele, K., Castellanos-Galindo, G. A., & Nordhaus, I. (2017). Biodiversity (Cap. 3, pp. 55–86). En V. H. Rivera-Monroy, S. Y. Lee, E. Kristensen y R. R. Twilley (Eds.), *Mangrove ecosystems: A global biogeographic perspective* (pp. 55–86). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-62206-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-62206-4_3)
- Lestel, D. (2010). *L'animal est l'avenir de l'homme: Munitions pour ceux qui veulent (toujours) défendre les animaux*. Fayard.
- Lewis, R. R. (2005). Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*, 24(4), 403–418. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.10.003>
- Lewis, S. L., & Maslin, M. A. (2015). Defining the Anthropocene. *Nature*, 519(7542), 171–180. <https://doi.org/10.1038/nature14258>
- Lindig-Cisneros, R. (2017). *Ecología de restauración y restauración ambiental* (1.ª ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.
- López-Portillo, J., Lewis, R. R., III, Saenger, P., Rovai, A., Koedam, N., Dahdouh-Guebas, F., Agraz-Hernández, C., & Rivera-Monroy, V. H.

- (2017). Mangrove forest restoration and rehabilitation. En V. H. Rivera-Monroy, S. Y. Lee, E. Kristensen, & R. R. Twilley (Eds.), *Mangrove ecosystems: A global biogeographic perspective: Structure, function, and services* (pp. 245–283). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-62206-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-62206-4_10)
- Lovelock, C. E., Barbier, E., & Duarte, C. M. (2022). Tackling the mangrove restoration challenge. *PLOS Biology*, 20(10), e3001836. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001836>
- Macintosh, D. J., Ashton, E. C., & Havanon, S. (2002). Mangrove rehabilitation and intertidal biodiversity: A study in the Ranong mangrove ecosystem, Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(3), 331–345. <https://doi.org/10.1006/ecss.2001.0896>
- Max-Neef, M. (2010). The world on a collision course and the need for a new economy. *AMBIO*, 39(2), 200–210. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0028-1>
- Mayr, E. (1982). *The growth of biological thought: Diversity, evolution, and inheritance*. Harvard University Press.
- Mayr, E. (2006). *Por qué es única la biología: consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Katz Editores.
- Mayr, E. (2016). *Así es la biología*. Debate.
- Medel, R., Aizen, M. A., & Zamora, R. (2009). *Ecología y evolución de interacciones planta-animal: conceptos y aplicaciones*. Editorial Universitaria.

- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- Miller, S. A., & Tupper, T. A. (2024). *Zoology* (12th ed.). McGraw Hill LLC.
- Mijangos, J. L., Pacioni, C., Spencer, P. B., & Craig, M. D. (2015). Contribution of genetics to ecological restoration. *Molecular Ecology*, 24(1), 22–37. <https://doi.org/10.1111/mec.12995>
- Mohd-Azlan, J., Noske, R., & Lawes, M. (2015). The role of habitat heterogeneity in structuring mangrove bird assemblages. *Diversity*, 7(2), 118–136. <https://doi.org/10.3390/d7020118>
- Molles Jr., M., & Sher, A. (2022). *Ecology: Concepts and applications*. New York: McGraw Hill.
- Montoya-Pfeiffer, P. M. (2021). Diversidad genética y restauración de manglares: consideraciones para la conservación. *Revista de Biología Tropical*, 69(2), 245-260.
- Moore, J. W. (2013). El auge de la ecología-mundo capitalista (I). Las fronteras mercantiles en el auge y decadencia de la apropiación máxima. *Laberinto*, 38, 9-26.
- Moore, J. W. (Ed.). (2016). *Anthropocene or Capitalocene? Nature, history, and the crisis of capitalism*. PM Press.
- Murphy, D. H. (1990). The natural history of insect herbivory on mangrove trees in and near Singapore. *Raffles Bulletin of Zoology*, 38, 119–204.

- Naeem, S. (2016). Biodiversity as a goal and driver of restoration. En M. A. Palmer, J. B. Zedler, & D. A. Falk (Eds.), *Foundations of restoration ecology* (2.<sup>a</sup> ed., cap. 3). Island Press.
- Naess, A. (1989). *Ecology, community and lifestyle: Outline of an ecosophy*. Cambridge University Press.
- Nannetti, M. C., & Leyva, P. (2015). *Protocolo de restauración ecológica en áreas afectadas por procesos de degradación del suelo*. Instituto Alexander von Humboldt.
- Nelson, C. R., Hallett, J. G., Romero Montoya, A. E., Andrade, A., Besacier, C., Boerger, V., Bouazza, K., Chazdon, R., Cohen-Shacham, E., Danano, D., Diederichsen, A., Fernandez, Y., Gann, G. D., Gonzales, E. K., Gruca, M., Guariguata, M. R., Gutierrez, V., Hancock, B., Innecken, P., Katz, S. M., McCormick, R., Moraes, L. F. D., Murcia, C., Nagabhatla, N., Pouaty Nzembialela, D., Rosado-May, F. J., Shaw, K., Swiderska, K., Vasseur, L., Venkataraman, R., Walder, B., Wang, Z., & Weidlich, E. W. A. (2024). Standards of practice to guide ecosystem restoration – A contribution to the United Nations Decade on Ecosystem Restoration 2021–2030. FAO, SER & IUCN CEM. <https://doi.org/10.4060/cc9106en>
- Nordhaus, I., Toben, M., & Fauziyah, A. (2019). Impact of deforestation on mangrove tree diversity, biomass and community dynamics in the Segara Anakan lagoon, Java, Indonesia: A ten-year perspective. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 227, 106300. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106300>
- Norton, B. G. (1991). *Toward unity among environmentalists*. Oxford University Press.

- Novikoff, A. B. (1945). The concept of integrative levels and biology. *Science*, 101(2618), 209–215. <https://doi.org/10.1126/science.101.2618.209>
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2006). *Fundamentos de ecología* (5<sup>a</sup> ed.). Cengage Learning.
- Onuf, C. P., Teal, J. M., & Valiela, I. (1977). Interactions of nutrients, plant growth and herbivory in a mangrove ecosystem. *Ecology*, 58(3), 514-526.
- Orians, G. H., & Groom, M. J. (2006). Global biodiversity: Patterns and processes. En M. J. Groom, G. K. Meffe, R. C. Carroll, & colaboradores (Eds.), *Principles of conservation biology* (3.<sup>a</sup> ed., pp. 27–62). Sinauer Associates.
- Ortiz Reyes, A., Robles López, K., Urrego Giraldo, L. E., & Romero Tabarez, M. (2018). Diversidad e interacciones biológicas en el ecosistema de manglar. *Revista de Ciencias*, 22(2), 111–127. <https://doi.org/10.25100/rc.v22i2.7925>
- Palmer, M., Zedler, J., & Falk, D. (Eds.). (2016). *Foundations of restoration ecology* (2<sup>a</sup> ed.). Washington: Island Press.
- Polanía, J., Urrego, L. E., & Agudelo, C. M. (2015). Recent advances in understanding Colombian mangroves. *Acta Oecologica*, 63, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2015.01.001>
- Primack, R. B., & Sher, A. A. (2016). *An introduction to conservation biology*. Sinauer Associates.

- Primack, R., & Vidal, O. (2019). *Introducción a la biología de la conservación*. Fondo de Cultura Económica.
- Rangel-Ch., J. O. (2015). La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(151), 176–200. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.136>
- Rappaport, D. I., Tambosi, L. R., & Metzger, J. P. (2015). A landscape triage approach: Combining spatial and temporal dynamics to prioritize restoration and conservation. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 590-601.
- Raven, P., Hessenzahl, D., Hager, M., Gift, N., & Berg, L. (2015). *Environment* (9<sup>a</sup> ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Rey, P. J., Alcántara, J. M., Manzaneda, A. J., Garrido, J. L., & Ramírez, J. M. (2009). Variación geográfica y mosaicos de selección en las interacciones planta-animal. In R. Medel, M. A. Aizen, & R. Zamora (Eds.), *Ecología y evolución de interacciones planta-animal: Conceptos y aplicaciones* (pp. 113–132). Editorial Universitaria.
- Rivera-Monroy, V. H., Twilley, R., Medina, E., Moser, E. B., Botero, L., Francisco, A. M., & Bullard, E. (2004). Spatial variability of soil nutrients in disturbed riverine mangrove forests at different stages of regeneration in the San Juan River Estuary, Venezuela. *Estuaries*, 27, 44-57.
- Richards, C. M., Falk, D. A., & Montalvo, A. M. (2016). Population and ecological genetics in restoration ecology. In *Foundations of restoration*

ecology (pp. 123-152). Washington, DC: Island Press/Center for Resource Economics.

Rocha, R. M., Faria, S. B., & Moreno, T. R. (2005). Ascidians from Bocas del Toro, Panama. I. Biodiversity. *Caribbean Journal of Science*, 41, 600–612.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2), Article 32. <http://www.jstor.org/stable/26268316>

Rodríguez-Rodríguez, J. A., Mancera-Pineda, J. E., & Tavera, H. (2021). Mangrove restoration in Colombia: Trends and lessons learned. *Forest Ecology and Management*, 496, Article 119414. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119414>

Rützler, K., Piantoni, C., van Soest, R. W. M., & Díaz, M. C. (2014). Diversity of sponges (Porifera) from cryptic habitats on the Belize barrier reef near Carrie Bow Cay. *Zootaxa*, 3805(1), 1–129. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3805.1.1>

Salas-Leiva, D. E., Mayor-Durán, V. M., & Toro-Perea, N. (2009). Genetic diversity of black mangrove (*Avicennia germinans*) in natural and reforested areas of Salamanca Island Parkway, Colombian Caribbean. *Hydrobiologia*, 620(1), 17–24. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9611-x>

- Sandilyan, S., & Kathiresan, K. (2012). Mangrove conservation: A global perspective. *Biodiversity and Conservation*, 21(13), 3523–3542. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0388-x>
- Selvaraj, J. J., & Portilla-Cabrera, C. V. (2024). Impact of climate change on Colombian Pacific coast mangrove bivalves distribution. *iScience*, 27, 110473. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110473>
- Schmit, J. P., & Shearer, C. A. (2004). Geographical and host distribution of lignicolous mangrove microfungi. *Botanica Marina*, 47, 496-500.
- Shaffer, M. L. (1981). Minimum population sizes for species conservation. *BioScience*, 31(2), 131–134. <https://doi.org/10.2307/1308256>
- Society for Ecological Restoration (SER). (2004). *The SER international primer on ecological restoration*. Society for Ecological Restoration International.
- Society for Ecological Restoration (SER). (2019). *International principles and standards for the practice of ecological restoration*. Society for Ecological Restoration.
- Society for Ecological Restoration. (2019). *Supplement S1 of International principles and standards for the practice of ecological restoration* (2nd ed.): *Historical principles and concepts of ecological restoration and allied activities*. <https://www.ser.org/page/SERStandards>
- Sousa, W. P., & Dangremond, E. M. (2011). Trophic interactions in coastal and estuarine mangrove forest ecosystems. In E. Wolanski & D. S. McLusky (Eds.), *Treatise on estuarine and coastal science* (Vol. 7, pp. 43–93). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374711-2.00606-9>

- Spalding, M. D., Blasco, E., & Field, C. D. (Eds.). (1997). *World mangrove atlas*. The International Society for Mangrove Ecosystems.
- Smith, T., & Smith, R. (2015). *Elements of ecology* (9<sup>a</sup> ed.). London: Pearson Education.
- Soulé, M. (2014). The “new conservation”. In Wuerthner, G., Crist, E., & Butler, T. (Eds.), *Keeping the wild: Against the domestication of Earth* (pp. 66–80). Washington, D.C.: Island Press.
- Suding, K. N., Spotswood, E., Chapple, D., Beller, E., & Gross, K. L. (2016). Ecological dynamics and ecological restoration. En M. A. Palmer, J. B. Zedler, & D. A. Falk (Eds.), *Foundations of restoration ecology* (2.<sup>a</sup> ed., pp. 27–56). Island Press. [https://doi.org/10.5822/978-1-61091-698-1\\_2](https://doi.org/10.5822/978-1-61091-698-1_2)
- Tavera, H. (2014). 5 Anexo 5. Lineamientos nacionales para el monitoreo del manglar en Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/lineamientos-nacionales-para-el-monitoreo-del-manglar-en-colombia/>
- Tavera, H. Rodríguez-pelaéz, J., (2022). Departamento del Cauca 110-117. En: Rodríguez-Rodríguez, JA (Ed). La restauración de los manglares en Colombia: Técnicas, saberes y experiencias. Serie Publicaciones Generales No. 123 de Invemar, Santa Marta, Colombia. 176 p.
- Taylor, P. W. (2011). *Respect for nature: A theory of environmental ethics*. Princeton University Press.

- Tedesco, P. A., Bigorne, R., Bogan, A. E., Giam, X., Jézéquel, C., & Hugueny, B. (2014). Estimating how many undescribed species have gone extinct. *Conservation Biology*, 28(5), 1360–1370. <https://doi.org/10.1111/cobi.12285>
- Tilman, D., May, R., Lehman, C., & Nowak, M. (1994). Habitat destruction and the extinction debt. *Nature*, 371(6492), 65–66. <https://doi.org/10.1038/371065a0>
- Thompson, J. N. (2005). *The geographic mosaic of coevolution*. University of Chicago Press.
- Tong, Y. F., Lee, S. Y., & Morton, B. (2006). The herbivore assemblage, herbivory and leaf chemistry of the mangrove *Kandelia obovata* in two contrasting forests in Hong Kong. *Wetlands Ecology and Management*, 14, 39–52. <https://doi.org/10.1007/s11273-005-2565-0>
- Twilley, R. R. (2009). Mangrove wetlands. En S. E. Jørgensen (Ed.), *Ecosystem ecology* (1ra ed., pp. 308–318). Elsevier B.V.
- Ulloa, A. (2017). Dinámicas ambientales y extractivas en el siglo XXI: ¿es la época del Antropoceno o del Capitaloceno en Latinoamérica? En *Desigualdades socioambientales en América Latina* (pp. 139-166). Universidad Nacional de Colombia/Ibero-Amerikanisches Institut.
- Van Dyke, F., Lamb, L., & et al. (2020). *Conservation biology: Foundations, concepts, applications* (3ª ed.). Cham, Switzerland: Springer.
- Villamil. (2014). 4 Anexo 4. Guía de restauración de ecosistemas de manglar en Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.<https://>

[www.minambiente.gov.co/contrato/convenio-de-asociacion-156f-de-2014/](http://www.minambiente.gov.co/contrato/convenio-de-asociacion-156f-de-2014/)

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494–499. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.494>

Volp, T. M., & Lach, L. (2019). An epiphytic ant-plant mutualism structures arboreal ant communities. *Environmental Entomology*, 48(5), 1056–1062. <https://doi.org/10.1093/ee/nvz083>

Waller, D. M. (2021). Addressing Darwin's dilemma: Can pseudo-overdominance explain persistent inbreeding depression and biparental inbreeding? *Evolution*, 75(4), 779–793. <https://doi.org/10.1111/evo.14189>

Wang, W. Q., & Chen, Q. (2013). *Salt-tolerant plant resources from coastal areas of South China*. Xiamen University Press.

Wang, W. Q., & Wang, M. (2007). *The mangroves of China*. Science Press.

Wuerthner, G., Crist, E., & Butler, T. (Eds.). (2014). *Keeping the wild: Against the domestication of earth*. Island Press.

WWF. (2024). Informe Planeta Vivo 2024: Un sistema en peligro. WWF.

Yepes, A., Zapata, M., Bolivar, J., Monsalve, A., Espinosa, S. M., Sierra-Correa, P. C., & Sierra, A. (2016). Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para la estimación de los contenidos de carbono en manglares del Caribe colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 64(2), 913–926.

Young, T. P. (2000). Restoration ecology and conservation biology. *Biological Conservation*, 92(1), 73–83. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00057-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00057-9)