14. Restauración de los humedales costeros y la recuperación de los servicios ambientales

Rodrigo Miguel Villanueva Meza*
José Guadalupe Chan Quijano**

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.319.14

Resumen

La pérdida de los humedales costeros se debe a factores antropogénicos directos y por los efectos del cambio climático, que ocasionan severas afectaciones a los servicios ambientales y a la calidad de vida de los organismos. Sin embargo, la restauración de los humedales costeros, además de brindar bienes y servicios, contribuyen a la recuperación del medio ambiente y de la diversidad biológica del ecosistema. Además, la clasificación de humedales costeros a nivel mundial ha permitido lograr la conservación, monitoreo y gestión de los recursos naturales; siendo la Convención Ramsar la agencia internacional más importante para su conservación. Por lo tanto, esta revisión documental tiene como objetivo presentar un análisis de las restauraciones de los humedales costeros con la ayuda de estudios de caso en América, la cual es considerada una estrategia clave para la gestión, conservación, mantenimiento de sus funciones y servicios ambientales. Se documentó que

* Maestro en Ecología Internacional y Ciencia de Datos Aplicada. Técnico ambiental independiente. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4277-6400
** Doctor en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable. Investigador nivel C en el Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C.,México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4943-1202

diversos factores influyen sobre la restauración, principalmente el tiempo y las características particulares del sitio. Además, se analizaron las estrategias, técnicas y metodologías de la restauración ecológica en humedales costeros, las cuales son categorizadas en activa, pasiva y creación, considerando los ecosistemas de referencia como los puntos claves para guiar y la sucesión ecológica como parte del restablecimiento de una comunidad a partir de su recuperación controlada. Finalmente, se documentó que el monitoreo es reconocido por evaluar, planificar y redirigir los objetivos, dando resultados favorables.

Palabras clave: *gestión, monitoreo, servicios ambientales, sucesión, clasificación de humedales.*

Introducción

Los humedales se encuentran en casi todos los continentes, excepto en la Antártida, y su mayor distribución es en las regiones boreal y tropical, en menor medida en las zonas templadas. A nivel mundial tienen una extensión territorial de 7 a 10 millones de km^2 (5-8 % de la superficie del mundo; Mitsch y Gosselink, 2015). De dicha porción, los humedales costeros ocupan 45 000 km^2 (Greenberg et al., 2016). En el Sudeste Asiático, Sudamérica y África se encuentran las mayores zonas de humedales tropicales de marea (Valiela et al., 2009; Scott et al., 2014).

Los humedales costeros son reconocidos por su alta productividad, diversidad biológica, poca extensión, alta complejidad y dinamismo, por lo cual son distinguidos como refugios y sitios de crianza de diversas especies de peces, aves, crustáceos y moluscos. Además, ofrecen una gama de bienes y servicios ambientales (Dugan, 1992; Berlanga-Robles et al., 2008; Mitsch y Gosselink, 2015; Vidal et al., 2015).

En las últimas décadas, los humedales se están perdiendo a una velocidad alarmante, teniendo efectos en la economía y en los beneficios sociales, por ejemplo, el aumento de riesgo de inundaciones, deterioro en la calidad del agua, salud humana y medios de subsistencia (Gardner et al., 2015; Kundu et al., 2024). En América latina y diversas partes del mundo se implementan

planes de manejo, leyes y normas para protegerlos, basados en tratados internacionales que promueven su conservación y uso racional de los recursos naturales (Berlanga-Robles et al., 2008; Bianchi et al. 2019).

La restauración de humedales costeros ha resultado ser clave para su permanencia y se ha basado en el manejo de tres componentes esenciales: el agua, la biota y el suelo. El componente hidrológico es el que más atención ha recibido en los proyectos de restauración (Zhao et al., 2016), sin embargo, se ha identificado que cuando se conocen las interacciones entre los componentes de un humedal, incluyendo sus funciones, se pueden identificar los mecanismos responsables de la degradación y revertir sus efectos negativos (Williams y Faber, 2001; Zhao et al., 2016).

Por ello, el objetivo de este trabajo es analizar la restauración de los humedales costeros por medio de estudios de caso en América que muestran cómo ha sido la recuperación de sus servicios ambientales. Específicamente se describe su gestión, se analizan y determinan sus principales amenazas, así como su relación con los servicios ambientales que proveen. Finalmente se analizan las técnicas y metodologías generales empleadas para su restauración.

Clasificación y gestión de humedales costeros

La palabra "humedales" está referida a una amplia variedad de hábitats que comparten diversas características. A nivel mundial existen diferentes agencias internacionales y nacionales que clasifican, conservan, monitorean y gestionan los humedales costeros, los cuales son categorizados por su posición latitudinal, paisaje y comunidades vegetales, que les otorgan diferentes funciones y servicios ambientales (Bruland, 2008).

Las tres principales agencias internacionales que clasifican, conservan, monitorean y gestionan los humedales son el Sistema de Clasificación del Servicio de Pesca y Vida Silvestres (Fish and Wildlife Service, USFWS), el Sistema Canadiense de Clasificación (Canadian Classification System, CCS) y la Convención Ramsar (Bruland, 2008). De las diferentes definiciones y clasificaciones que existen, las más ampliamente utilizadas son las de la

última agencia, que agrupa los diferentes humedales de acuerdo con sus características biológicas y físicas (Dugan, 1992; Ramsar, 2006).

La USFWS es una agencia internacional creada en 1941 por los Estados Unidos para gestionar y monitorear las características ecológicas y extensión territorial de los humedales con datos geoespaciales (Federal Geographic Data Committee, 2013). Ésta define a los humedales como "tierra de transición entre sistemas terrestres y acuáticos, donde el manto freático suele estar en o cerca de la superficie, o la tierra está cubierta por agua poco profunda". La clasificación de humedales costeros marinos, estuarinos y de ribera, está basada en los modificadores del régimen de agua (naturales o antropogénicos), así como en la química del agua y el suelo (Bruland, 2008; Federal Geographic Data Committee, 2013).

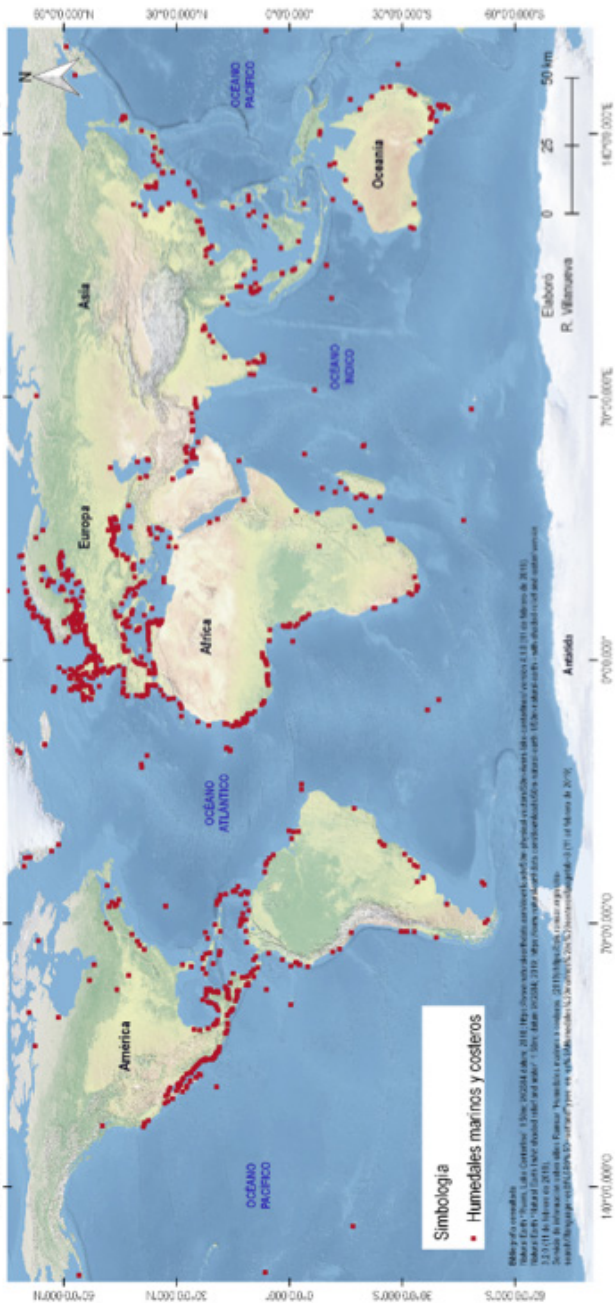
En 1973 se desarrolló la CCS, la cual define a los humedales como "tierra que está saturada con suficiente agua como para promover los humedales y los procesos acuáticos, formando suelos mal drenados, vegetación hidrófila y diversos tipos de actividad biológica que se adapta a un ambiente húmedo" y los clasifica en cinco clases: pantanos, ciénegas, esteros, marismas y humedales poco profundos (Rubec, 2018).

Los humedales costeros se encuentran incluidos en cuatro de sus cinco clases: ciénegas, esteros, marismas y humedales poco profundos. Estos criterios considerados para su categorización son: la química del agua, el origen de ésta y el sistema hidrológico; este último se puede dividir en dos subsistemas de abastecimiento de agua, los terrígenos y los litógenos (Ramsar, 2006; Rubec, 2018).

En 1971 se creó la Convención Ramsar y fue creada para atender la progresiva degradación y pérdida de los humedales, así como de las aves migratorias (Ramsar, 2017). Ramsar (2006) define a los humedales como "las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanente o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros" y, de acuerdo con Bruland (2008), se ha determinado una lista de humedales de importancia internacional.

El sistema de clasificación de Ramsar se basa en el tipo de ambiente, la geoforma, la saturación de agua en el suelo, la presencia de especies, la pro-

Figura 14.1. *Humedales marinos y costeros definidos por Ramsar (2019)*



Fuente: Ramsar (2019).

fundidad y temporalidad de la lámina de agua, la presencia y tipo de vegetación. Asimismo, las áreas de transición (tierra-sistemas acuáticos) agrupa a los humedales en tres tipos principales: humedales marinos o costeros, humedales continentales y humedales artificiales. Además, se reconoce cinco tipos de humedales; estos son: marinos (humedales costeros, lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral), estuarinos (incluye deltas, marismas de marea y manglares), lacustres (aquellos asociados a lagos), ribereños (adyacentes a ríos y arroyos), palustres (humedales pantanosos, como marismas, pantanos y ciénegas) y humedales artificiales (Ramsar, 2006; Bruland, 2008; López-Portillo et al., 2010; Ramsar CREHO, 2010).

Ramsar ha desarrollado una lista de 973 humedales costeros para todo el mundo, 99 para América latina y el Caribe, de los cuales 88 son costeros (figura 14.1) y en su sistema de definición y clasificación se agrupa a los arrecifes de coral y lechos de pastos marinos en humedales marinos o costeros. En el presente documento solo se mencionan los humedales ribereños, marismas de marea de agua dulce, marismas saladas y manglares (tabla 14.1; Ramsar, 2019).

Tabla 14.1. *Características de los humedales para este estudio*

Tipo de humedal	Características	Referencia
Ribereño	Son sistemas abiertos y dinámicos, se presentan entre un ecosistemas terrestres y acuáticos. Produciendo ecotonos, dificultando así su delimitación, puesto que presentan un relieve y junto con los mosaicos de vegetación pueden conformar un gran paisaje. Estos se caracterizan por la abundancia de agua y suelos aluviales fértiles, presentan una forma lineal debido a su cercanía con los ríos o arroyos y siempre se encuentran conectadas aguas arriba y abajo, así como lateralmente a los ecosistemas. En ellos fluye agua o energía en gran cantidad a diferencia de los otros humedales de agua dulce, lo que les confiera la capacidad de retener y transformar partículas provenientes de actividades agrícolas o urbanas y, con ello, se evita la llegada de estas últimas a las zonas costeras.	Brinson (1981); Bruland (2008)

Marismas de agua dulce	Son humedales próximos a los océanos que combinan características de las marismas saladas y de agua dulce, lo que provoca una gran dificultad para delimitarlas, pero les confiere una estructura y funciones principalmente de las marismas saladas; sin embargo, su principal diferencia es una alta diversidad en la biota, causada por la reducción de salinidad y una alta cantidad de sedimentos orgánicos. Debido a su particularidad han sido declaradas prioridad para su conservación, pero solo tres tipos de marismas han sido así determinadas, los pantanos maduros, los pantanos flotantes y los pantanos nuevos en deltas de progresión.	Bruland (2008); Mitsch y Gosselink (2015)
Marismas salinas	Se presentan en latitudes medias y altas donde la acumulación de sedimento puede ser mayor o igual a la tasa de hundimiento de la tierra, además dan una protección contra el oleaje y tormenta. Su vegetación varia a lo largo de los gradientes de salinidad e inundaciones, el cual ofrece un hábitat para plantas y animales, algunos de ellos se adaptan al estrés de salinidad. En el mundo, estos humedales presentan diferentes asociaciones de vegetación, pero su estructura ecológica y función es similar en todas ellas. Representan un ecotono entre los ecosistemas terrestres y marinos, esto permite que ocasionalmente algunas áreas de las marismas saladas se inunden con la marea alta y no con la marea baja, lo que permite dividir la marisma salada con dos límites, superior e inferior, definidos por los rangos de marea, la tensión física, la profundidad, los efectos mecánicos del oleaje, la disponibilidad de sedimentos, la erosión y la comunidades de plantas, donde solo las plantas tolerantes al estrés salino dominan las partes bajas.	Bruland (2008); Mitsch y Gosselink (2015)
Manglares	Son áreas con arbustos de alturas menores a 2 m y con árboles que pueden tener una altura de 30 m, desarrollándose sobre suelos saturados en agua periódica o permanentemente, en aguas salinas o salobres. Los bosques de manglar presentan seis tipos funcionales los de franja, ribereños, inundables (tipo islotes), arbustivos o enanos y de hamaca, parecidos a los de cuenca, pero en una porción de suelo más elevada. En América, los manglares cubren una superficie de 49 096 km2. Se han registrado solo 13 especies nativas de mangle para América, las cuales tienen adaptaciones particulares, raíces especializadas, zancos o neumatóforos y estructuras especializadas que les permite la absorción de oxígeno y secreción de sal.	Bruland (2008), López-Portillo et al. (2010); Mitsch y Gosselink (2015), Teutli-Hernández y Herrera-Silveira (2016)

Fuente: elaboración propia.

Cuando un humedal se encuentra impactado se debe reunir un grupo de expertos junto con la comunidad local para darle un seguimiento de gestión para su remediación y un buen manejo.

Gestión de los humedales costeros

Durante la década de los años setenta se registró a nivel mundial la destrucción y pérdida de los humedales. Un detonante clave de esta problemática fue la

falta de valoración de los recursos naturales que albergan, el paradigma dominante fue la expansión agrícola, pesquera, industrial, residencial y desarrollo comercial. El diseño de estrategias de desarrollo basadas en la productividad de los ecosistemas y comunidades se planteaba solo a nivel científico (Dugan, 1992; Mitsch y Gosselink, 2015). En el último cuarto del siglo XX, los gobiernos reconocieron a los humedales como hábitat de vida silvestre, principalmente para las aves acuáticas, sin embargo, aún existía poca comprensión y preocupación por preservarlos (Mitsch y Gosselink, 2015).

A nivel gubernamental mundial se ha reconocido la pérdida y contaminación de los humedales costeros y se realiza su gestión con doce objetivos para proteger y conservar los servicios ambientales. Sin embargo, la protección y conservación de los humedales costeros, incluidas en la gestión de zonas costeras, están sujetas a los intereses de los gestores y a la regulación ambiental centrándose en resolver los problemas ambientales, considerando una visión integral y el análisis de los factores ecológicos, sociales y económicos (Day Jr et al., 2012; Ceccon et al., 2015; Mitsch y Gosselink, 2015).

La cooperación internacional para la conservación y gestión de los humedales costeros puede ser uno de los soportes clave para este tipo de ecosistemas, puesto que muchos de ellos comparten recursos, particularmente hídricos (sistemas fluviales internacionales) o migración de especies (aves acuáticas y peces), o simplemente porque la experiencia de otro país en la gestión o restauración podría ayudar a otros a resolver situaciones ambientales críticas (Dugan, 1992).

Además, el elemento clave para su conservación y protección es mantener la calidad y cantidad del agua (Assessment Millennium Ecosystem, 2005). Es así como la convención Ramsar realiza la conservación y gestión a través de las 170 partes contratantes y el marco de "tres pilares"; (1) trabajar en pro del uso racional, (2) designar humedales idóneos para la lista de sitios de importancia internacional y garantizar el manejo idóneo y (3) la cooperación internacional en humedales transfronterizos (humedales ecológicamente cohesivos distribuidos en fronteras nacionales, donde ambas autoridades han acordado colaborar), sistemas compartidos y especies compartidas (Dugan, 1992; Ramsar, 2014a, 2023), los cuales aportan un manejo adecuado para cada ecosistema.

Ramsar (2016) y las partes contratantes acordaron un conjunto de políticas y compromisos internacionales sobre un desarrollo verdaderamente sostenible, para la conservación y uso racional de los humedales, a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y con las Metas Aichi para la Diversidad Biológica elaboraron el Plan Estratégico 2016-2024, en el cual se mencionan, además, cuatro objetivos (dirigir los factores que impulsan la pérdida y degradación de los humedales, conservar y administrar de una manera efectiva la Red de Sitios Ramsar, el uso razonable de todos los humedales y fomentar la aplicación) y 19 metas que contribuirán directamente con los ODS.

En este contexto, cada trienio Ramsar reúne a las partes contratantes, comprometiéndose a involucrar a las poblaciones, especialmente las locales, con la finalidad de hacer crecer el bienestar humano y mitigar la pobreza (Ramsar, 2010a). Además de trabajar para el uso racional de los humedales y recursos hídricos de su territorio, basado en los planes, políticas y legislación nacional, medidas de gestión y educación, mencionando que el uso racional de los humedales es "el mantenimiento de sus características ecológicas, logrado mediante la implementación de enfoques por ecosistemas, dentro del contexto del desarrollo sostenible". Específicamente, en 1990 se hizo énfasis en el uso racional, además de adoptar políticas nacionales con planes de acción nacional a favor del medio ambiente, en elaborar programas ambientales basados en inventarios, monitoreo, investigación, formación, educación y concientización ambiental y en elaborar planes integrados de gestión de humedales (Ramsar, 2014b).

En el mundo, tres cuartas partes de las poblaciones indígenas habitan dentro, cerca o donde existió anteriormente un humedal costero, ya que los recursos hídricos y alimenticios que estos proveen son vitales (Dugan, 1992; Moreno-Casasola e Infante-Mata, 2010). Esta estrecha relación y dependencia ha sido modificada por los esquemas de desarrollo económico, los cambios en los sistemas tradicionales, la presión demográfica y el aumento del uso de suelo ocasionaron la presión ambiental y pérdida de humedales. Aunado a esto, los efectos del cambio climático como la sequía prolongada, provocaron que algunas comunidades indígenas sean afectadas (Dugan, 1992; Olán-Pérez et al., 2021).

A lo largo de la historia de la gestión de los humedales costeros, el mayor error ha sido otorgarles todo el control a los gobiernos y no considerar a las comunidades indígenas, quienes frecuentemente tienen mayor conocimiento o entendimiento del uso de los recursos naturales, ya que realizan un aprovechamiento integral y racional de los recursos para su alimento, energía y materiales para construcción (Moreno-Casasola e Infante-Mata, 2010; Ceccon, 2013). Asimismo, muchos de los servicios ambientales que proveen los humedales costeros son valorados y bien entendidos por las comunidades indígenas, por ello la correcta gestión deberá considerarlas en sus planes de manejo y en primer término.

Amenazas e implicaciones de la pérdida de los humedales costeros

Los humedales costeros son ecosistemas sensibles a los efectos del cambio climático, principalmente al aumento global del nivel del mar y se encuentran gravemente amenazados por diversas causas antropogénicas, sobreexplotación industrial, el crecimiento de la mancha urbana o conversión de humedales para fines pecuarios (Marín-Muñiz et al., 2016). Las implicaciones de la pérdida de humedales costeros tienen grandes resultados negativos para las poblaciones. Sobre todo, aquellos que albergan una gran biodiversidad y se localizan en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Flores-Verdugo et al., 2007). La actividad humana es uno de los factores que ocasionan alteraciones directa o indirectamente, por ejemplo, el aumento en el nivel del agua de mar, descargas de nutrientes que alteran los ciclos biogeoquímicos y otras perturbaciones (drenaje, relleno parcial o total, construcción de presas) y permiten un cambio gradual o drástico (Mitsch y Gosselink, 2015). Las principales causas de la pérdida de los humedales costeros ha sido la transformación de los ecosistemas.

Algunas de estas transformaciones son el dragado, causando una desviación del agua, la escorrentía de contaminantes y sobreexplotación industrial o agrícola. Una de las más comunes es la agrícola, en ella las inundaciones temporales o permanentes limitan y cambian las condiciones del suelo con el aporte y movilidad de nutrientes, formando un suelo rico en

nutrientes que se ha utilizado para diversos cultivos, como caña azúcar, arroz y algodón (Mitsch y Gosselink, 2015; International Wetlands, 2019).

La transformación por el desarrollo urbano (drenaje y relleno) ocasiona una pérdida en los humedales costeros del mundo, puesto que dos tercios de la población mundial habita en ellos y ha ejercido una presión socioambiental, en especial, durante la década de los cincuentas hasta la década de los setentas (Mitsch y Gosselink, 2015). Finalmente, otra de las actividades más remarcables es la acuicultura, la cual incrementó considerablemente entre la década de los ochenta y noventa con una producción de 18 millones de t año^{-1}, aproximadamente (FAO, 1999; Páez-Osuna, 2005).

De igual forma, las modificaciones hidrológicas de los humedales cambian drásticamente las condiciones naturales; la principal de ellas es la desecación causada por la construcción de diques o drenajes cuyos propósitos son el control y transporte de agua, construcción de canales de navegación, rutas de transporte, puertos y actividad industrial petrolera. La construcción de carreteras sobre humedales costeros causa cambios ambientales en periodos cortos, por ejemplo, en la carga de sedimentos, la eliminación directa de la superficie forestal y principalmente en la alteración del régimen hidrológico (mareas, corrientes, escorrentía, flujo natural del agua), que es el principal suministro de energía y permite mantener las condiciones adecuadas (Mitsch y Gosselink, 2015).

La modificación del paisaje natural da lugar a muchos efectos o riesgos ecológicos difíciles de evaluar por sus resultados integrales, acumulativos o sinérgicos. Los principales efectos negativos son la pérdida de hábitat, perturbaciones ambientales; cambio en la hidrología y salinidad en los humedales costeros. Afectación o pérdida de los corredores biológicos naturales, mortalidad de la fauna silvestre, formación de un efecto barrera y cambio en el área que modifica el comportamiento de la fauna silvestre (Li et al., 2014; Rivera-Arriaga, 2017). Todo esto, de igual manera, afecta a la vegetación, uno de los elementos más importantes de los humedales.

Los humedales costeros en el mundo son afectados por contaminantes, sin embargo, se ha demostrado que tienen la capacidad para limpiar el agua, mediante un proceso de filtración. Contrariamente, el exceso de contaminantes o carga de elementos químicos como el fósforo, metales pesados, aceites y otros compuestos tóxicos (Mitsch y Gosselink, 2015) que pueden

causar cambios drásticos en la vegetación, deformidades excesivas en los organismos de los humedales o muerte de estos.

La modificación de las condiciones ambientales en los ecosistemas causadas por las actividades humanas, alteran directa e indirectamente la estructura y función de las diversas comunidades y facilita la invasión de especies exóticas. Por ello, si las especies nativas carecen de lo necesario para ocupar un lugar en el ecosistema y se da la introducción o fuga de especies exóticas, éstas pueden alterar las condiciones ambientales a su favor, brindando una gran oportunidad a sus poblaciones para establecerse (Moles et al., 2008; Catford et al., 2011).

Las especies exóticas son una amenaza para los ecosistemas, consumen y eliminan especies nativas, así como compiten por sus recursos, infectan con enfermedades y alteran las condiciones ambientales, lo que hace costosa la restauración o incluso devolver condiciones más deseables que involucren una mejor composición de especies, estructura de la comunidad o recuperación de la funcionalidad del ecosistema (Vitousek et al., 1997; D'Antonio y Meyerson, 2002).

Pérdida de los humedales costeros: tendencias de cambio

El valor de los humedales costeros se centra en satisfacer las necesidades de desarrollo, basadas en el mantenimiento de su integridad funcional que permite obtener una amplia gama de servicios y productos en condiciones naturales y bajo la correcta gestión para su conservación (Dugan, 1992). Los humedales costeros forman parte de la historia de la humanidad y hoy en día su conservación es muy importante para el mantenimiento de los servicios ambientales que proveen (Flores-Verdugo et al., 2007; Moreno-Casasola, 2008). Sin embargo, esto puede verse en peligro por las afectaciones antropogénicas e incluso por el cambio climático.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2014) argumenta que, si continúa la afectación y pérdida de los humedales costeros, alrededor del 35 % de la superficie de manglares en el sureste de Asia y el 38 % en Indonesia podría desaparecer entre 2000-2050. Por otra parte,

existen tres factores que producen alteración y pérdida de los humedales costeros, estos son (1) los cambios demográficos y el desarrollo en zonas costeras, (2) cambios generados por el desarrollo económico, el turismo, industrias y uso urbano y (3) las actividades productivas, como las acuícolas y agropecuarias, que generan un cambio en el uso del suelo (Moreno-Casasola, 2008).

Las tendencias actuales sobre la pérdida de los humedales costeros darán lugar a la desaparición de importantes servicios ecosistémicos como lo es las fuentes de alimento o medicina, filtración de aguas residuales o protección contra tormentas (Gardner et al., 2015), y al llegar a una devastación completa de los humedales costeros estaremos firmando nuestra propia extinción como seres humanos, pues las afectaciones antropogénicas siguen en aumento por el desarrollo, y a la par el aceleramiento del cambio climático aumentan más los problemas que las soluciones.

Humedales costeros afectados por el cambio climático

Las consecuencias del cambio climático pueden ser severas, desde pequeños cambios en la vida diaria, como exposición a los rayos del sol, hasta inundaciones catastróficas (Naciones Unidas, 2019). Es por ello que la convención Ramsar clasificó a los humedales costeros de acuerdo con las amenazas generadas por el cambio climático y clima severo, tiene un total de 171 sitios que ocupan una superficie de 18 172 568 ha en todo el mundo. Particularmente para América Latina y América del norte se reportan 46 sitios (2 919.720 ha), siendo México el país que más sitios Ramsar reporta con estas características (21 sitios), seguido de los Estados Unidos con ocho sitios (Ramsar, 2019; Ramsar, 2024).

De acuerdo con la vulnerabilidad de estos ecosistemas, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) ha reportado que los datos que van de 1880 a 2012 reflejan que la temperatura media anual aumentó 0.85 °C, y de 1901 a 2010 el nivel medio del mar incrementó 19 cm debido al derretimiento del hielo. Asimismo, el agua de los

océanos incrementó su temperatura, con ello el hielo y la nieve han disminuido, reportándose una pérdida de 106 km^2 de hielo por cada 10 años.

Los efectos del cambio climático continuaron a pesar de parar las emisiones de gases de efecto invernadero. Se pronostica que la temperatura del agua de los océanos incrementará y el deshielo persistirá, para 2065 el nivel medio del mar podría presentar un aumento de entre 24 y 30 cm y para el 2100 podría ser de 40 a 63 cm. Por ello, el cambio climático es considerado una amenaza para los humedales costeros, puesto que a nivel mundial comprende grandes afectaciones ambientales, como el cambio en la hidrología y vegetación (Burkett y Kusler, 2000; Williams et al., 2003; Ferrati et al., 2005; Mitsch et al., 2013; Peñuelas et al., 2018; Mehvar et al., 2019; Zhang et al., 2019). Es importante mencionar que cada región es distinta, por lo tanto, los ecosistemas difieren entre sí. Es por ello que cada toma de decisiones futuras deberá considerarse de una manera específica.

Servicios ambientales de los humedales costeros

Los humedales costeros son importantes porque proveen de numerosos servicios ambientales, siendo caracterizados en función de su clase, tamaño y ubicación (Ramsar, 2002; Moreno-Casasola, 2005; CBD, 2015). Sin embargo, no todos los humedales costeros presentan los mismos servicios ambientales. Esto depende de muchos factores como las interacciones biológicas, químicas o físicas del sitio, que dan como resultado la generación de ciertos atributos (Dugan, 1992). Por ello, tienen una correlación con la calidad de vida, ya que los diversos factores, ayudan a mantenerlos y a satisfacer las necesidades del ser humano (Moreno-Casasola, 2005; CBD, 2015). Los servicios ecosistémicos del agua permiten la productividad en la agricultura, sitios para las aves acuáticas del mundo, especialmente para las migratorias, recursos alimenticios, valor por su uso recreacional, histórico, científico y cultural (Ramsar, 2002; Mitsch y Gosselink, 2015).

Muchos servicios ambientales son gratuitos y en diferentes partes del mundo alivian la pobreza, por ejemplo, las comunidades se favorecen cuando los servicios ecosistémicos son bastos y sufren cuando se degradan, aque-

llas que viven en los manglares se benefician principalmente de la pesca y la obtención de madera (UNEP, 2014; CBD, 2015).

El vínculo que existe entre el grado de conservación y los servicios ambientales están relacionados con la calidad, cantidad y mantenimiento de éstos (Moreno-Casasola, 2005; CBD, 2015; Gardner et al., 2015). Anteriormente, los servicios ambientales eran categorizados en tres niveles jerárquicos; (1) el valor de la población incluye y se relaciona con las provisiones de hábitat, la caza de animales, recolección de madera, (2) los valores del ecosistema, se enfocan en la mejora de la calidad del agua, la mitigación de inundaciones y tormentas, recarga de acuíferos y sustento para las comunidades, y (3) los valores globales, basados en mantener las influencias de calidad del agua y aire en una escala más amplia que a nivel de ecosistema, vigilar los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno, azufre y carbono (Mitsch y Gosselink, 2015; Ferro-Azcona et al., 2019).

La EEM (Assessment Millennium Ecosystem, 2005) al igual que Dugan (1992), UNEP (2014), CBD (2015) y Gardner et al. (2015) clasifican los servicios ambientales para todos los ecosistemas en cuatro categorías: provisión, regulación, culturales y de soporte (tabla 14.2). Además, existen cuatro componentes de bienestar humano de acuerdo con el potencial económico e indirectamente según la intensidad del vínculo entre los servicios ecosistémicos y el bienestar humano (tabla 14.3).

Tabla 14.2. *Tipos de servicios ambientales de los humedales*

Tipo de servicio*	Características
Provisión	Son recursos tangibles, contabilizados y consumibles, pueden ser o no renovables. Se pueden encontrar en casi todos los tipos de humedales costeros, particularmente el servicio de comida es el único que se encuentra en todos los humedales costeros; éste se centra en la producción pesquera, obtención de algas, plantas y otros invertebrados (la intensidad de producción puede variar). Los humedales costeros sostienen la vida de poblaciones de peces y otras formas de vida silvestre, debido a que bridan una zona de protección (desove, criadero, refugio o hábitat). Algunos son áreas destinadas a la ganadería como sitios de pastoreo, en ocasiones las hojas, los pastos y los frutos pueden ser recolectados como forraje, para su venta o mantenimiento del ganado. Este aprovechamiento puede traer grandes beneficios a las comunidades involucradas, siempre que se respete la tasa de reproducción anual y la capacidad de regeneración de cada especie.

(Continuación).

Regulación	Otorga el mantenimiento a los procesos y las funciones naturales de los ecosistemas, entre ellos se destaca la regulación del clima, composición química de la atmósfera (incluidos los gases del efecto invernadero), temperatura, precipitación, entre otros procesos. Estabilizan los microclimas, los ciclos hidrológicos, de nutrientes, materia y flujo de energía, de precipitación y temperatura. Estos servicios permiten mantener el régimen hidrológico (recarga, descarga y almacén del agua, importante para el almacenamiento y prevención de inundaciones inusuales); controlan la contaminación mediante la retención, recuperación y remoción de excesos de nutrientes; ofrecen protección contra la erosión; retienen el suelo, y contribuyen a la prevención de los cambios en la estructura de los humedales costeros. La protección contra la erosión se lleva a cabo por la vegetación, que estabiliza la zona costera y reduce la energía de las olas, corrientes y otras fuerzas de erosión, y con las raíces retiene los sedimentos de fondo.
Cultura	Este tipo de servicios son el resultado de la percepción del hombre, relación con la función o valor que cada cultura le otorga. Pueden ser de inspiración o espirituales, afines con los sentimientos personales o religiosos, de educación, recreacionales, oportunidades para el turismo y actividades recreacionales. Los significados culturales se basan en sentimiento personales y espirituales con el soporte de amplios paisajes y especies de vida silvestre que en ocasiones pueden otorgar inspiración artística. Durante siglos algunos de los humedales costeros, principalmente manglares, han sido fundamentales para la subsistencia de las comunidades locales, puesto que forman parte de su patrimonio cultural e identidad. En algunas comunidades los servicios de cultura permiten mantener los métodos de pesca tradicional, los usos y métodos de recolección de especies de flora y fauna, así como los conocimientos ecológicos. En algunas otras presentan un eslabón entre las creencias y prácticas espirituales como festivales, ritos religiosos, tabúes o áreas sagradas. Otro de sus servicios culturales es sobre los servicios de recreación, principalmente actividades turísticas y oportunidades recreacionales; éstas en los humedales incluyen la caza deportiva, la pesca, observación de aves, interpretación de senderos o paseos marinos, la fotografía de naturaleza, enfocada a especies como aves migratorias, peces, corales o diversos paisajes, la natación, el buceo, la navegación en veleros, kayak, snorkel, entre otros. Particularmente, los humedales costeros son un centro de investigación o de educación ambiental, principalmente sobre estudios ecológicos e hidrográficos, los cuales se han convertido en laboratorios vivos que han contribuido al conocimiento y divulgación, principalmente sobre la vida marina y la conexión entre los ecosistemas de agua dulce y marinos, aportando información a los vínculos entre la salud del ecosistema costero y el bienestar humano.
Soporte	Mantienen los procesos de los ecosistemas, así como permiten proveer el resto de los servicios ambientales y no siempre están implicados en el bienestar humano. Estos pueden ser: biodiversidad, hábitats temporales o permanentes para especies, formación del suelo, retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica, continuación del ciclo de nutrientes (como almacenamiento, reciclado, y adquisición de ellos) y polinización. Uno de los más importantes es la biodiversidad, el cual se caracteriza por la conformación de hábitats para especies residentes o migratorias. La diversidad de especies ha sido una de las características particulares de los humedales costeros, pues en ella se encuentran determinadas especies, algunas de ellas son endémicas o en peligro de extinción. La retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica favorece la calidad, principalmente del agua, ya que puede funcionar como una planta de tratamiento de agua, debido a la concentración de los nutrientes durante los diferentes periodos de inundación. Sin embargo, el exceso de nutrientes causa condiciones eutróficas y grandes alteraciones.

Fuente: elaboración propia a partir de Dugan (1992); Assessment Millennium Ecosystem (2005); Moreno-Casasola (2005); UNEP (2014); CBD (2015); Gardner et al. (2015). *Para conocer más sobre los servicios ambientales de acuerdo con la clasificación de humedales costeros con su magnitud relativa (por unidad de área) se puede consultar a Assessment Millennium Ecosystem (2005).

Tabla 14.3. *Componentes de bienestar humano en la restauración de acuerdo con el potencial bienestar y económico*

Componente	Características
Seguridad	Se refiere al acceso seguro de los recursos naturales y protección ante los fenómenos naturales; éste se relaciona con fuertes eventos climáticos o con el aprovisionamiento de suministros naturales (madera, leña, pesca).
Acceso	Se refiere al acceso al material básico para una buena vida, por ejemplo, el abastecimiento de alimentos, vivienda o bienes, el acceso a un ingreso económico por medio del turismo recreacional, la disponibilidad de agua para conservar el funcionamiento del ecosistema y satisfacer las necesidades personales.
Salud	Otorga una buena calidad de vida, por ejemplo, el agua limpia, alimentos con fuente de proteína, productos forestales como leña, medicina tradicional.
Buenas relaciones sociales	Se refiere a tener una excelente relación entre comunidades cercanas y con los visitantes que viven las experiencias de turismo recreacional, religiosas, espirituales o culturales a través de la vida tradicional de las comunidades locales.

Fuente: elaboración propia a partir de Dugan (1992); Ceccon (2013); UNEP (2014); CBD (2015); Gardner et al. (2015); Ferro-Azcona et al. (2019).

Técnicas y metodologías para la restauración de los humedales costeros

Se han establecido diferentes técnicas y metodologías para la restauración de humedales costeros, donde los mecanismos de ajuste entre la hidrología, la vegetación y el hábitat deben de conocerse antes de seleccionar la técnica adecuada (Zhao et al., 2016). La restauración ecológica puede ser relativamente rápida hasta lenta y sin ningún resultado, lo anterior depende de la estrategia de restauración elegida y utilizada, las cuales puede ser categorizadas en pasiva, activa y creación (tabla 14.4; Chazdon, 2008; Suding, 2011; Zhao et al., 2016).

Tabla 14.4. *Estrategia de restauración*

Estrategias de restauración categorizadas	Características
Activa	Tiene como objetivo reducir, detener o remover la causa de perturbación, pero con la necesidad de intervención humana, es decir, con el control y mediación del área con el objetivo de mejorar, recrear o restaurar la estructura y función de los procesos o comunidades de los ecosistemas involucrados.
Pasiva	Tiene como objetivo la eliminación de las causas de la degradación para dirigir su trayectoria a un estado saludable, pero bajo condiciones naturales. Este tipo de restauración se enfoca en la mejora y recuperación de los procesos hidrológicos y ecológicos para generar una auto-restauración.

Creación	Esta se realiza para minimizar el impacto por la pérdida de humedales, principalmente marismas. Es un proceso de transformar áreas (tierras altas o hábitat submareal) en sitios donde antes no existían este tipo de humedales y requieren de condiciones apropiadas, particularmente hidrológicas.

Fuente: elaboración propia a partir de Mitsch y Wang (2000); Hunter et al. (2008); Suding (2011); Jarzemsky et al. (2013); Mitsch y Gosselink (2015); Zhao *et al.* (2016).

La elección de la técnica de restauración o creación deberá de considerar algunos factores ambientales e indicadores claves para analizar el potencial de restauración (Zhao et al., 2016). El éxito de los sitios restaurados por el tipo de restauración elegida depende de diversos factores sociales y ambientales, asociados a la escalera de restauración: biodiversidad y servicios ecosistémicos, tiempo; particularmente, el éxito de la restauración pasiva depende de la historia de uso, como el periodo de abandono, tipo y uso del suelo y disponibilidad de recursos bióticos (Chazdon, 2008).

La restauración de humedales costeros incluye experimentos en combinación con la vegetación, medición de diversos factores físicos como la salinidad y la hidrología, y biológicos como las invasiones de especies exóticas o antropogénicas, asimismo, incluye otros estudios como los de contaminación y de salud (Scott et al., 2014). El diseño de las estrategias de restauración en humedales costeros podría centrarse en su valoración económica y ambiental. A su vez, ésta podría mejorar las políticas públicas y ayudar a los tomadores de decisiones y comunidades involucradas, de tal manera que sea una restauración socialmente eficiente (Pueyo-Ros et al., 2018; Tan et al., 2018).

Estrategias de la restauración ecológica

Perrow y Davy (2002), Márquez-Huitzil (2005a) y Montes et al. (2007) han implementado distintas estrategias con la finalidad de controlar, mitigar o revertir los efectos de degradación, por ello la recuperación de los humedales degradados presenta varios caminos según los objetivos deseados, los cuales se describen a continuación:

- Restauración ecológica: intenta restablecer la organización y funcionamiento de un ecosistema degradado o destruido. Además, toma en

cuenta las condiciones dinámicas de referencia semejantes a las originales (antes de sus afectaciones). Se realiza con ayuda de un programa coordinado por diferentes actores a corto, medio y largo plazo.

- Rehabilitación: son aquellos proyectos que no tienen como objetivo recuperar las funciones alteradas, sino, solo algunos elementos de su estructura, generalmente coinciden con poblaciones o comunidades de organismos en leyes y convenios nacionales o internacionales sobre la conservación.
- Recreación: son acciones con el objetivo de crear elementos de ecosistemas o ecosistemas que no existían antes del origen de la perturbación antrópica.
- Remediación: son actividades o técnicas cuyo objetivo es tener un buen desempeño en el proceso y no en el fin. Su principal finalidad es eliminar todo agente causante de deterioro como sustancias contaminantes vertidas en agua, suelo o aire.
- Saneamiento: no existe ninguna intención de regresarlo a su estado original, solo de regresarlo a uno funcional y útil, podría decirse tener un equivalente al estado original, un ecosistema sustituto.
- Mejoramiento: son actividades que benefician el estado de un ecosistema, ya sea en proceso de restauración o no, cuyos objetivos pueden dirigirse al establecimiento de un ecosistema alternativo.
- Mitigación: es un término que tiene poco que ver la con la restauración, puesto que su objetivo es minimizar o moderar un efecto negativo en el ecosistema.
- Recubrimiento vegetal: puede implicar solo el fortalecer los procesos de sucesión vegetal, productividad, ecología del suelo, incorporación y fijación de nutrientes, cuyo objetivo es permitir el regreso a un estado original por sí solo unicamente estableciendo especies de vegetación o fauna nativas para el recubrimiento.

La restauración intenta regresar a un ecosistema a su trayectoria histórica (Montes et al., 2007), por lo tanto, esas condiciones son el punto de partida ideal para establecer los objetivos de la restauración. Sin embargo, el camino para obtener las condiciones originales está limitado por las actuales, y en ocasiones puede orientar su desarrollo por un camino diferente, causar

dificultades o imposibilitar su rehabilitación (SER, 2004). Por ello, los proyectos de restauración no siempre logran los objetivos deseados y en ocasiones los modelos de restauración presentan una trayectoria con diferentes opciones, causando o imposibilitando el retorno de un estado de sucesión avanzado o deseado (estructural o funcional).

La estrategia utilizada para los objetivos del proyecto de restauración dependerá de las características o procesos que se busque recuperar, puesto que cada proyecto es particular y único. Por ello, es importante que al iniciar un proyecto de restauración se debe de conocer la estructura, composición de biodiversidad y funcionalidad original del ecosistema (Márquez-Huitzil, 2005a). En este sentido, Márquez-Huitzil (2005b) menciona cinco pasos que hay que seguir durante las actividades de restauración: (1) identificar y terminar la causa de afectación o disturbio, (2) mitigar los efectos producidos por la afectación o disturbio, (3) encaminar los objetivos a las condiciones más semejantes al ecosistema de referencia, (4) incorporar elementos de biodiversidad y abióticos originales y (5) monitorear y modificar los trabajos de restauración, siempre considerando los objetivos originales.

Trayectoria y alcances de la restauración ecológica

La trayectoria histórica se establece a través del conocimiento sobre la estructura, composición y funcionamiento de un ecosistema, los cuales han sido realizados sobre información ecológica, cultural e histórica, cuya combinación permite tener un ecosistema de referencia; se reconoce como un sitio existente, lo más semejante al sistema original y cercano al área en restauración, idealmente debe compartir condiciones ambientales semejantes (SER, 2004; Castillo, 2005), con el cual se pueda guiar al ecosistema. Además, esto permite incorporar diversas estrategias y manejar los ecosistemas de una manera adecuada y garantizar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la conservación de la biodiversidad.

Los alcances de la restauración ecológica dependen de diversos factores, los principales son el nivel de perturbación en el sitio y alrededor. El estado

de conservación de los alrededores resulta primordial para la restauración, por ejemplo, en los lagos, lagunas, manglares, ubicados en las partes bajas de la cuenca, reciben muchos impactos ambientales que provienen de la degradación de las cuencas e influyen en el periodo de restauración o en la conservación, contrariamente, cuando el sitio a restaurar se encuentra cerca a un costado de un área conservada o protegida resulta favorecida (Lindig-Cisneros y Zambrano, 2007).

La estructura y función de un ecosistema es importante para determinar cómo se pueden recuperar y lograr los alcances de la restauración a través de su trayectoria; en la mayor parte de casos se requiere de grandes esfuerzos y largos periodos de tiempo, el trabajo debe ser permanente para llegar al estado deseado (Lindig-Cisneros et al., 2003; Lindig-Cisneros y Zambrano, 2007; Ceccon, 2013).

La restauración se hace más difícil de acuerdo con su nivel de degradación, disminuyendo las posibilidades de recuperar la función y estructura, por ello es el factor más importante para determinar la estrategia y las medidas prioritarias (Sánchez, 2005). Se reconoce que algunos proyectos pueden presentar condiciones de degradación particulares provenientes de las actividades humanas, como la introducción de especies exóticas o invasoras, que en algunos casos pueden ser irreversibles (Zedler, 2000; Lindig-Cisneros y Zambrano, 2007). Un ejemplo de ello es la creación de humedales en sitios donde han sido alterado el régimen hidrológico y que sean dominados por tulares (*Typha* spp.), con el objetivo de retener nutrientes disueltos en el agua y restaurar estas comunidades (Sánchez, 2005).

Dentro de los procesos de degradación se reconocen diferentes aspectos, la pérdida de calidad y de extensión, los cuales permiten determinar el potencial para poder recuperar el área. Además, al aumentar el nivel de degradación de un área, los procesos de restauración resultan más complejos y difíciles de realizar, reduciendo la viabilidad económica y ecológica. Lindig-Cisneros y Zambrano (2007) mencionan que la transición entre las etapas de restauración depende de las condiciones dadas por los factores bióticos y abióticos, entre ellos destaca la variación del clima (precipitación y temperatura), ya que al modificar cualquier de los factores puede restablecer la estructura o función. Así como se debe conocer su topografía, hidroperíodo y la salinidad del humedal a restaurar.

La sucesión en la restauración de los humedales costeros

La vegetación de humedales costeros ha evolucionado durante siglos para adaptarse a la alta salinidad, periodos de inundación y suelos con bajo nivel de oxígeno. Algunas plantas almacenan la sal en las hojas liberándola posteriormente por medio de las glándulas de sal, otras plantas de humedales costeros presentan adaptaciones fotosintéticas, esto les otorga una mayor tasa de producción de carbono y sitúa a los humedales costeros como hábitats extremadamente productivos donde se almacenan grandes cantidades de carbono en áreas pequeñas (Scott et al., 2014).

Las plantas en los humedales costeros han desarrollado adaptaciones que le confieren la capacidad de tolerar condiciones de estrés o especiales, como bajas concentraciones de oxígeno, diferentes periodos de inundación, estrés por las altas concentraciones de salinidad, entre otros. Los humedales costeros se encuentran estrechamente relacionados por medio del flujo superficial del agua y mantos freáticos, además muchos de ellos son considerados comunidades transicionales entre los sistemas terrestres y acuáticos (Lindig-Cisneros y Zedler, 2005).

Los estudios de cambio en la composición y abundancia de la vegetación durante el tiempo han sugerido mecanismos y sistemas de sucesión (Vega-Peña, 2005). La sucesión básicamente se refiere al proceso donde la composición de las comunidades cambia durante un periodo de tiempo, se enfoca en los cambios en la vegetación, el papel de la fauna, hongos, bacterias, así como otros organismos de importancia a través de varias etapas hasta el estado clímax, último estado estable (Cain et al., 2014).

La sucesión ecológica después de haber sufrido un cambio también es definida como "el patrón direccional no continuo y continuo de colonización y extinción en un sitio por poblaciones de especies" (Begon et al., 2006). Dos tipos de sucesión se reconocen en las primeras etapas, estas son (1) la sucesión primaria comprende la colonización de hábitats que están desprovistos de vida, resultado de una catástrofe o de creación reciente; (2) la sucesión secundaria está involucrada en el restablecimiento de una comunidad donde una parte de sus componentes han sido destruidos; es decir, la co-

munidad aún se encuentra presente y se puede recuperar a partir de ellos (Begon et al., 2006; Cain et al., 2014).

En los humedales costeros dos factores controlan la sucesión de vegetación, que son los mismos de mayor importancia en la restauración: la salinidad y los periodos de inundación. La salinidad determina la distribución de la vegetación, los cambios de salinidad del suelo infieren en los estados de sucesión; este factor es influenciado por la salinidad del agua de marea, la frecuencia de inundación, la dilución de la lluvia y la evapotranspiración (Teal, 2020). Sin embargo, las actividades humanas también afectan los estados de sucesión autógena en los humedales costeros.

El papel del monitoreo en la restauración de humedales costeros

El papel del monitoreo evalúa algún cambio respecto al tiempo, considerando un estado de referencia, donde incluya los atributos (diversidad biológica, sociocultural), los cambios naturales respecto al tiempo (físicos, químicos o biológicos), las interacciones entre la estructura y procesos del ecosistema (retención de nutrientes, contaminantes, sedimentos, protección contra tormentas), percepción y producción social (bienestar humano, calidad de vida, recursos agrícolas, abastecimiento de agua; Abarca, 2007; Ramsar, 2010b).

SER (2004) menciona que existen tres estrategias para los monitoreos que permiten una evaluación; estos son la comparación directa, que identifica y determina parámetros de referencia para compararlos con el sitio monitoreado; el análisis de atributos compara datos cuantitativos y semicuantitativos de un monitoreo establecido con el de referencia, con el objetivo de saber cuánto se ha recuperado, y el análisis de la trayectoria evalúa las tendencias del sitio restaurado mediante gráficas de datos recolectados periódicamente con el objetivo de confirmar la trayectoria deseada.

Es importante señalar que el monitoreo en humedales debe realizarse con un equipo interdisciplinario y contener elementos esenciales (Abarca, 2007). Ramsar (2010a) y Abarca (2007) mencionan que se deben realizar inventarios, evaluaciones y monitoreos con el objetivo de ayudar a la con-

servación y uso racional de los humedales, en él presenta la diferencia entre tres tipos de procedimientos: evaluación rápida, inventario, evaluación y monitoreo, este último lo define como: "reunión de información específica a largo plazo, atendiendo a hipótesis derivadas de actividades de evaluación, y aplicación de estos resultados de monitoreo a las actividades de gestión" sin embargo, los proyectos de restauración en humedales suelen contemplar todos esos procedimientos en uno.

Las sinergias que provocan diversos factores naturales, artificiales, autóctonos o alóctonos causan que los programas de monitoreo sean más costosos y que sean más estrictos en sus diversas etapas (planeación, ejecución, análisis, comunicación). Por ello, los monitoreos deberán tener un enfoque que mida la integridad ecológica de los humedales (Abarca, 2007). El concepto de integridad biótica surge como respuesta a los intentos de integrar elementos estructurales y funcionales de los ecosistemas, principalmente acuáticos, con el objetivo de conocer el estado aproximado de sus procesos ecológicos y evolutivos (González, 2023).

Posteriormente, dicho concepto extrapola al concepto de integridad ecológica, que pretendía integrar otros elementos y generalizarlo. Los índices desarrollados para medir la integridad (biótica o ecológica) permiten reconocer de una manera natural la variación de las comunidades, donde la medición puede ser de costo eficiente, válida científicamente, ofrece resultados rápidos, tiene enfoque regional, entre otros. Por lo anterior, algunos organismos utilizados son macroinvertebrados acuáticos, peces, vegetación y aves (Pérez-Munguía et al., 2007).

Estudios de caso de restauraciones exitosas de humedales costeros

Es importante considerar que existen casos de éxito en la restauración de humedales costeros, en donde se establecieron conexiones y estrategias entre los componentes de la restauración y la sociedad local de cada área (tabla 14.5). Estos pueden usarse como ejemplos de acciones de restauración en diferentes humedales costeros, las cuales tuvieron respuestas favorables y sirven para futuros proyectos.

Tabla 14.5. *Estudios de caso de restauración con éxito de humedales*

Estudio de caso	Restauración con éxito	Referencias
Restauración de una marisma en el estuario del río Tijuana	Se elaboró un plan de restauración con una serie de etapas que, conforme avanzaron, la superficie restaurada incrementó. Probaron diferentes metodologías para la recuperación de la marisma, dos de las principales fueron la construcción de un canal que conectó la laguna de oxidación de aguas negras con el sistema natural de canales intermareales y la investigación sobre el número de especies necesarias para el restablecimiento de la vegetación en la planicie intermareal.	Lindig-Cisneros y Zedler (2005)
La restauración del manglar en la Laguna de Términos, México	Se creo un programa de restauración de manglar, el cual se basó en la rehabilitación hidrológica (apertura de un canal y canales secundarios) y posteriormente en la reforestación con plántulas de mangle negro (*Avicennia germinans*).	Agraz y Arriaga (2010); Agraz-Hernández et al., (2010)
Prueba de reforestación de mangle en una ciénaga costera semiárida de Yucatán, México	Se inició el programa de restauración ambiental y fortalecimiento regional en la microcuenca costera para implementar por medio de hombres y mujeres locales el desazolve de manantiales, construcción de un vivero de mangle y pruebas de reforestación en la ciénaga. El éxito de la restauración, especialmente para ciénagas costeras semiáridas, se basó en identificar el origen de las afectaciones, particularmente se identificó la construcción de puentes y carreteras como fuente de afectación de los propágulos de manglar, por lo que el desazolve permitió cambiar la salinidad y el nivel de inundación, que determinan el crecimiento y la supervivencia de las plantas. Además, es necesario contar con un monitoreo de los parámetros hidrológicos y de suelo (inundación y salinidad), ya que permite seleccionar eficientemente las especies de manglar que produzcan un mayor éxito en la restauración.	Febles-Patrón et al., (2009)
Experiencia de la restauración de la marisma salina en la Bahía de San Francisco, California, Estados Unidos	Se realizó una revegetación que estabilizó la línea de costa y mitigó los efectos negativos de la sedimentación. El éxito dependió de la investigación científica continua y del planteamiento de objetivos biológicos claros, alcanzables y mesurables.	Williams y Faber (2001)

Fuente: elaboración propia.

Consideraciones finales

La presente revisión documental analizó, en primer lugar, el sistema de clasificación de los humedales costeros por tres agencias internacionales (USFWS, CCS, RAMSAR), las cuales coinciden en clasificar a los humeda-

les por dos importantes componentes: el agua y el suelo. Estas agencias realizan acciones de conservación, monitoreo y gestión de los humedales de acuerdo con su posición geográfica, paisaje, así como tipo de vegetación. El sistema de Ramsar resultó ser el más completo, porque incluye más elementos (la vegetación, áreas de transición y especies vulnerables o en riesgo).

Debido a lo anterior y a las funciones ecológicas propias de los humedales, derivadas de sus características hidrológicas, biológicas y químicas, cuatro tipos de humedales costeros fueron contemplados en esta revisión: los humedales ribereños, las marismas de agua dulce, las marismas salinas y los manglares.

Además, se examinó el valor e importancia de los humedales a través del tiempo, el cual tuvo un gran cambio, ya que anteriormente se desconocían o desvaloraban. Posteriormente, la gestión de los humedales y sus recursos naturales integraron los análisis exhaustivos sociales, económicos y ecológicos, mejorando la valoración y su conocimiento.

Como resultado de este análisis se entiende que la conservación de los humedales costeros es una prioridad. Debido a que muchas comunidades e incluso naciones comparten sus recursos naturales (gran cantidad de humedales se encuentran entre dos naciones) por lo que pueden compartir experiencias en su gestión. El análisis de información muestra que existen grandes amenazas sobre los humedales costeros, ya que las actividades humanas no sustentables, no tradicionales, son las que ocasionan mayores alteraciones (ganadería, cultivo, turismo, urbanización, contaminación, introducción de especies exóticas) y constituyen la mayor amenaza.

Lo anterior ocasiona la pérdida de humedales costeros con impactos que pueden ser severos, acumulativos y sinérgicos. Además, los efectos del cambio climático tienen consecuencias sobre elementos de los humedales costeros (hidrología y vegetación). Si bien se encontró que ante cualquier situación de cambio natural los humedales tienen resistencia y resiliencia hidrológica, existe un límite tolerable; asimismo, el efecto de la sinergia de los factores que afectan aún no es predecible.

La pérdida de los humedales costeros y sus amenazas afectan los servicios ambientales, por ello, la gestión, conservación y visualización generan

un vínculo entre el grado de conservación y la calidad de los servicios ambientales. Estos dos anteriores se relacionan con el potencial económico y el bienestar humano, logrando una adecuada y amplia valoración.

La restauración de los humedales y en general de los ecosistemas costeros será una estrategia fundamental para su gestión, conservación, así como para el mantenimiento de sus funciones y servicios ambientales. La participación humana, así como el aporte científico serán prioritarios para la identificación anticipada del origen de los daños ambientales, el restablecimiento de los ecosistemas degradados, dañados o destruidos.

La restauración dependerá del tiempo y de las características del sitio; además es recomendable incluir en el programa datos de un ecosistema de referencia (información ecológica, cultural e histórica), así como considerar las afectaciones actuales (nivel de degradación). Finalmente, en todos los programas de restauración se deberá integrar un equipo interdisciplinario que elabore un monitoreo que incluya, evalúe y compare los elementos y funciones más importantes de los sitios restaurados, preferentemente en períodos largos.

Las técnicas de restauración en humedales costeros se centran en los componentes agua, salinidad, biota y suelo, como la restauración de manglar en la Laguna de Términos, México que se basó principalmente en la rehabilitación hidrológica y la reforestación con manglar, en el cual se contemplaron factores químicos durante la apertura de canales.

Un factor clave a considerar en los proyectos de restauración es la capacidad de la vegetación para tolerar condiciones de estrés, lo que condiciona en parte el éxito de restauración, pero cuando se logra comprender el funcionamiento de este factor y su interacción con los otros componentes, es más fácil llevar a cabo acciones que favorezcan el proceso de sucesión (por ejemplo, restablecimiento de las conexiones hidrológicas) y rehabilitación de sus funciones.

Referencias

Abarca, F. J. (2007). Técnicas y metodologías para la evaluación y monitoreo del estado

de los humedales y ecosistemas acuáticos, En O. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, L. Zambrano (Eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (pp. 113-144). Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Agraz, C. M. y Arriaga, V. (2010). Restauración del manglar en la Laguna de Términos. En J .Carabias, J. Sarukhán, J. de la Maza, C. Galindo (Eds.), *Patrimonio natural de México: cien casos de éxito* (pp. 150-153.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Agraz-Hernández, C., Osti-Sáenz, J., García-Zaragoza, C., Chan-Keb, C., Chan-Canul, E., Arana-Lezama, R., y Torcuato-Hidalgo, M. (2010). Estrategias de restauración de ecosistemas de manglar en México. *JAINA Boletín Informativo*, *21*(2), 5-27.

Assessment Millennium Ecosystem (2005). Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis. Island Press, Washington, D. C.

Begon, M., Townsend, C. R. y Harper, J. L. (2006). *Ecology from individuals to ecosystems* (4a ed.). EE. UU.: Blackwell Publishing, Malden.

Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A. y de la Lanza-Espino, G. (2008). Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas*, *66*, 25-46.

Bianchi, C., Mingo, S., y Fernandez, V. (2019). Strategic management in Latin America: challenges in a changing world. *Journal of Business Research*, *105*, 306-309. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.10.022

Brinson, M. M., Lugo, A. E., y Brown, S. (1981). Primary productivity, decomposition and consumer activity in freshwater wetlands. *Annual Review of Ecology & Systematics*, *12*, 123-161. https://doi.org/10.1146/annurev.es.12.110181.001011

Bruland, G. L. (2008). Coastal wetlands: function and role in reducing impact of land-based management. *Coastal Watershed Management*, *13*, 185-124. http://doi.org/10.2495/978-1-84564-091-0/04

Burkett, V., y Kusler, J. (2000). Climate change: potential impacts and interactions in wetlands of the United States. *Journal of the American Water Resources Association*, *36*(2), 313-320. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2000.tb04270.x

Cain, M. L., Bowman, W. D., y Hacker, S. D. (2014). Ecology. EE. UU.: Sinauer, Massachusetts.

Castillo, A. (2005). Comunicación para la restauración: perspectiva de los actores e intervenciones con y por medio de las personas. En O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (Eds.), *Temas sobre restauración ecológica* (pp. 67-76). México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Catford, J. A., Downes, B. J., Gippel, C. J., y Vesk, P. A. (2011). Flow regulation reduces native plant cover and facilitates exotic invasion in riparian wetlands. *Journal of Applied Ecology*, *8*(2), 432-442. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01945.x

CBD (2015). Wetlands and Ecosystem Services, Convention on Biological Diversity. https://www.cbd.int/

Ceccon, E. (2013). Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Ediciones D.D.S. México, Ediciones Díaz de Santos.

Ceccon, E., Barrera-Cataño, J. I., Aronson, J., y Martínez-Garza, C. (2015). The socioecological complexity of ecological restoration in Mexico. *Restoration Ecology*, *23*(4), 331-336. https://doi.org/10.1111/rec.12228

Chazdon, R. L. (2008). Beyond deforestation: Restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, *320*(5882), 1458-1460. http://doi.org/10.1126/science.1155365

D'Antonio, C. y Meyerson, L. A. (2002). Exotic plant species as problems and solutions in ecological restoration: a synthesis. *Restoration Ecology*, *10*(4), 703-713. https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2002.01051.x

Day Jr., J. W, Yáñez-Arancibia, A., y Kemp, W. M. (2012). Human impact and management of coastal and estuarine ecosystems, En J. W. Day, C. C. Byron, M. Kemp y A. Yáñez-Arancibia (Eds.), *Estuarine Ecology* (2a ed., pp. 483-495). John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

Dugan, P. J. (1992). *Conservación de humedales: un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, Suiza.

FAO. (1999). Aquaculture production statistics-1988-1997. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italia.

Febles-Patrón, J. L., Novelo-López, J., y Batllori-Sampedro, E. (2009). Pruebas de reforestación de mangle en una ciénaga costera semiárida de Yucatán, México. *Madera y Bosques*, *15*(3), 65-86. https://doi.org/10.21829/myb.2009.1531186

Federal Geographic Data Committee. (2013). Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. FGDC-STD-004-2013, second ed. Wetlands Subcommittee, Federal Geographic Data Committee and U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D. C.

Ferrati, R., Canziani, G. A., y Ruiz-Moreno, D. (2005). Esteros del Ibera: hydrometeorological and hydrological characterization. *Ecological Modelling*, *186*(1), 3-15. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.01.021

Ferro-Azcona, H., Espinoza-Tenorio, A., Calderón-Contreras, R., Ramenzoni, V. C., Gómez-País, M. M., y Mesa-Jurado, M. A. (2019). Adaptive capacity and social-ecological resilience of coastal areas: a systematic review. *Ocean and Coastal Management, 173*, 36-51. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.01.005

Flores-Verdugo, F., Moreno-Casasola, P., Agraz-Hernández, C. M., López-Rosas, H., Benítez-Pardo, D., y Travieso-Bello, A.C. (2007). La topografía y el hidroperíodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, *80*(80S), 33-47. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57708005

Gardner, R. C., Barchiesi, S., Beltrame, C., Finlayson, C. M., Galewski, T., Harrison, I., Paganini, M., Perennou, C., Pritchard, D. E., Rosenqvist, A. ,y Walpole, M. (2015). *State of the world's wetlands and their services to people: a compilation of recent analyses.* Ramsar Briefing Note no. 7. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.

González, C. (2023). Evolution of the concept of ecological integrity and its study through networks. *Ecological Modelling*, *476*, 110224. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110224

Greenberg, R., Maldonado, J. E., Droege, S. y McDonald, M. V. (2006). Tidal marshes: a global perspective on the evolution and conservation of their terrestrial verte-

brates. *BioScience*, *56*(8), 675-685. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[675:TMAGPO]2.0.CO;2

Hamer, A. J., Harrison, L. J. y Stokeld, D. (2016). Road density and wetland context alter population structure of a freshwater turtle. *Austral Ecology*, *41*(1), 53-64. https://doi.org/10.1111/aec.12298

Hunter, R. G., Faulkner, S. P. y Gibson, K. A. (2008). The importance of hydrology in restoration of bottomland hardwood wetland functions. *Wetlands*, *28*, 605-615. https://doi.org/10.1672/07-139.1

International Wetlands. (2019). Acuicultura, la pesca y la agricultura costera, Wetlands International Latinoamérica y el Caribe. https://lac.wetlands.org/nuestro-enfoque/costas-y-deltas-llenos-de-vida/acuicultura-la-pesca-y-la-agricultura-costera/#read-more

IPCC. (2014). Cambio climático 2014: informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza.

Jarzemsky, R. D., Burchell II, M. R., y Evans, R. O. (2013). The impact of manipulating surface topography on the hydrologic restoration of a forested coastal wetland. *Ecological Engineering*, *58*, 35-43. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.06.002

Kundu, S., Kundu, B., Rana, N. K,. y Mahato, S. (2024). Wetland degradation and its impacts on livelihoods and sustainable development goals: an overview. *Sustainable Production and Consumption*, *48*, 419-434. https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.024

Li, Y., Yu, J., Ning, K., Du, S., Han, G., Qu, F., Wang, G., Fu, Y., y Zhan, C. (2014). Ecological effects of roads on the plant diversity of coastal wetland in the Yellow River Delta. *The Scientific World Journal*, *1*, 1-8. https://doi.org/10.1155/2014/952051

Lindig-Cisneros, R., Desmond, J., Boyer, K. E., y Zedler, J. B. (2003). Wetland restoration thresholds: can a degradation transition be reversed with increased effort? *Ecological Applications*, *13*(1), 193-205. https://doi.org/10.1890/1051-0761(2003)013[0193:WRTCAD]2.0.CO;2

Lindig-Cisneros, R. y Zambrano, L. (2007). Aplicaciones prácticas para la conservación y restauración de humedales y otros ecosistemas acuáticos. En O. Sánchez, M. Herzig, E. Peters y L. Zambrano (Eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (pp. 167-188.). México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Lindig-Cisneros, R., y Zedler, J. B. (2005). La restauración de humedales. En O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (Eds.), *Temas sobre restauración ecológica* (pp. 201-214). México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

López-Portillo, J., Vásquez-Reyes, V. M., Gómez-Aguilar, L. R., y Priego-Santander, A. G. (2010). Humedales. En G. Benítez y C. Welsh (Eds.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz* (pp. 229-248). Veracruz, México: Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana.

Marín-Muñiz, J. L., Hernández-Alarcón, M. E., Silva-Rivera, E., y Moreno-Casasola, P.

(2016). Percepciones sobre servicios ambientales y pérdida de humedales arbóreos en la comunidad de Monte Gordo, Veracruz. *Madera y Bosques*, *22*(1), 53-69. https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/477/652

Márquez-Huitzil, R., (2005a). Fundamentos teóricos y convenciones para la restauración ecológica: aplicación de conceptos y teorías a la resolución de problemas en restauración, En O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (Eds.), T*emas sobre restauración ecológica* (pp. 159-168). México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Márquez-Huitzil, R. (2005b). Planificación para la restauración asociada con el aprovechamiento de los recursos naturales, En O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (Eds.), *Temas sobre restauración ecológica* (pp. 169-179). México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Mehvar, S., Filatova, T., Sarker, M.H., Dasgheib, A., y Ranasinghe, R. (2019). Climate change-driven losses in ecosystem services of coastal wetlands: a case study in the west coast of Bangladesh. *Ocean and Coastal Management*, *169*, 273-283. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.12.009

Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C. J., Jørgensen, S. E., y Brix, H. (2013). Wetlands, carbon, and climate change, *Landscape Ecology*, *28*, 583-597. https://doi.org/10.1007/s10980-012-9758-8

Mitsch, W. J., y Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (5a ed.). EE. UU.: John Wiley & Sons, Inc., Nueva Jersey.

Mitsch, W. J., y Wang, N. (2000). Large-scale coastal wetland restoration on the Laurentian Great Lakes: Determining the potential for water quality improvement. *Ecological Engineering*, *15*(3-4), 267-282. https://doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00081-1

Moles, A. T., Gruber, M. A. M., y Bonser, S. P. (2008). A new framework for predicting invasive plant species. *Journal of Ecology*, *96*(1), 13-17. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01332.x

Montes, C., Rendón-Martos, M., Varela, L., y Cappa, M. J. (2007). *Manual de restauración de humedales mediterráneos*. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla, España.

Moreno-Casasola, P. (2008). Los humedales en México: tendencias y oportunidades. *Cuadernos de Biodiversidad*, *28*, 10-18. https://doi.org/10.14198/cdbio.2008.28.02

Moreno-Casasola, P., y Infante-Mata., D. (2010). Veracruz tierra de ciénagas y pantanos. Comisión Organizadora del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave para la Conmemoración del Bicent, Veracruz, México.

Moreno-Casasola, P. (2005). Servicios ambientales que proporcionan los humedales. Veracruz, México: Instituto de Ecología A.C.

Naciones Unidas. (2019). Naciones Unidas, Climate Change. https://www.un.org/es/site-search?query=climate+change

Olán-Pérez, S., Camero-Martínez, L., Gallegos-Alamilla, S., Benavides-Martínez, L. D., y García-Hernández, L. (2021). Políticas públicas ambientales: zona costera de Tabasco. México: Universidad Popular de la Chontalpa.

Páez-Osuna, F. (2005). Retos y perspectivas de la camaronicultura en la zona costera. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, *1*, 21-31.

Peñuelas, J., Sardans, J., Filella, I., Estiarte, M., Llusià, J., Ogaya, R., Carnicer, J., Bartrons, M., Rivas-Ubach, A., Grau, O., Peguero, G., Margalef, O., Pla-Rabés, S., Stefanescu, C., Asensio, D., Preece, C., Liu, L., Verger, A., Rico, L., Barbeta, A., Liu, L., Verger, A., Rico, L., Barbeta, A., Achotegui-Castells, A., Gargallo-Garriga, A., Sperlich, D., Farré-Armengol, G., Fernández-Martínez, M., Liu, D., Zhang, C., Urbina, I., Camino, M., Vives, M., Nadal-Sala, D., Sabaté, S., Gracia, C., y Terradas, J. (2018). Assessment of the impacts of climate change on Mediterranean terrestrial ecosystems based on data from field experiments and long-term monitored field gradients in Catalonia. *Environmental and Experimental Botany*, *52*, 49-59. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.05.012

Pérez-Munguía, R., Pineda López, R., y Medina-Nava, M. 2007. Integridad biótica de ambientes acuáticos, En Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E. y Zambrano, L. (Eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (pp. 71-111). México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Perrow, M. R. y Davy, A. J. (2002). *Handbook of ecological restoration*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511549984

Pueyo-Ros, J., Garcia, X., Ribas, A. y Fraguell, R. M. (2018). Ecological restoration of a coastal wetland at a mass tourism destination. Will the recreational value increase or decrease? *Ecological Economics*, *148*, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.02.002

Ramsar CREHO. (2010). Tipos de humedales, https://creho.org/humedales/tipos-de-humedales/

Ramsar. (2002). Servicios de los ecosistemas de humedales. Convención Ramsar, Gland, Suiza.

— (2006). *Manual de la Convención de Ramsar: guía a la convención sobre los humedales (Ramsar, Irán, 1971)* (4ª ed.). Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.

— (2010a). *Inventario, evaluación y monitoreo: marco integrado para el inventario, la evaluación y el monitoreo de humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales* (4ª ed.).Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.

— (2010b). *Uso racional de los humedales: conceptos y enfoques para el uso racional de los humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales* (4ª ed.) Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.

— (2014a). La Convención de Ramsar y su misión. https://www.ramsar.org/

— (2014b). Uso racional de los humedales. https://www.ramsar.org/es/acerca-de/uso-racional-de-los-humedales

— (2016). The 4th strategic plan 2016-2024, in: adopted by the 12th Meeting of the Conference of the Parties, 1-9 June 2015, through Resolution XII.2, Punta del Este, Uruguay.

— (2017). Historia de la convención de Ramsar. https://www.ramsar.org/es/acerca-de/historia-de-la-convencion-de-ramsar

— (2019). Ramsar sites information Service. https://rsis.ramsar.org/?language=en

— (2023). Partes contratantes en la Convención de Ramsar. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.
— (2024). The list of wetlands of international importance. https://www.ramsar.org/document/list-wetlands-international-importance-ramsar-list
Rivera-Arriaga, E. (2017). La vulnerabilidad costera: elementos para la construcción de su resiliencia. En A. V. Botello, S. Villanueva, J. Gutiérrez, y J. L. Rojas-Galaviz (Eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático* (pp. 1-27). México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Campeche.
Rubec, C. (2018). The canadian wetland classification system, En C. M. Finlayson, M. Everard, K. Irvine, R. J. McInnes, B. A. Middleton, A. A. van Dam y N. C. Davidson (Eds.), *The wetland book. I: structure and function, management, and methods* (pp. 1577-1581). Dordrecht, Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9659-3_340
Sánchez, O. (2005). Restauración ecológica: algunos conceptos, postulados y debates al inicio del siglo XXI. En O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (Eds.), *Temas sobre restauración ecológica. Instituto Nacional de Ecología* (pp. 15-29). México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
Scott, D. B., Frail-Gauthier, J., y Mudie, P. J. (2014). *Coastal wetlands of the world: geology, ecology, distribution and applications*. Cambridge University Press.
SER. (2004). Principios de SER International sobre la Restauración Ecológica. Society for Ecological Restoration International, Tucson, www.ser.org
Suding, K. N. (2011). Toward an era of restoration in ccology: successes, failures, and opportunities ahead. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *42*(1), 465-487. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145115
Tan, Y., Lv, D., Cheng, J., Wang, D., Mo, W. y Xiang, Y. (2018). Valuation of environmental improvements in coastal wetland restoration: a choice experiment approach. *Global Ecology and Conservation*, *15*, e00440. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00440
Teal, J. (2020). Succession in coastal wetlands. En C. M. Finlayson, M. Everard, K. Irvine, R. J. McInnes, B. A. Middleton, A. A van Dam y N. C. Davidson (Eds.), *The wetland book. I: structure and function, management, and methods* (pp. 73–75). Dordrecht, Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6172-8
Teutli-Hernández, C., y Herrera-Silveira, J. A. (2016). Estrategias de restauración de manglares de México: el caso de Yucatán. En E .Ceccon y C. Martínez-Garza (Eds.), *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas* (pp. 459-484) Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
UNEP. (2014). *The importance of mangroves to people: a call to action*. Cambridge: United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre.
Valiela, I., Kinney, E., Culbertson, J., Peacock, E. ,y Smith, S. (2009). Global losses of mangroves and salt marshes. En C. M. Duarte (Ed.), *Global loss of coastal habitats rates, causes and consequences* (pp. 109-140). España: Fundación BBVA..

Vega-Peña, E.V. (2005). Algunos conceptos de ecología y sus vínculos con la restauración, En O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (Eds.), *Temas sobre restauración ecológica* (pp. 147-158). México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Vidal, L., Vallarino, A., Benítez, I., y Correa, J. (2015). Implementation of the Ramsar strategic plan in coastal wetlands of the Península de Yucatán: regulations and normativity. *Latin America Journal Aquatic Research*, *43*(5), 873-887. http://dx.doi.org/10.3856/vol43-issue5-fulltext-7

Vitousek, P. M., D'Antonio, C. M., Loope, L. L., Rejmanek, M., y Westbrooks, R. G. (1997). Introduced species: a significant component of human-caused global change. *New Zealand Journal of Ecology*, *21*(1), 1-16.

Williams, P., y Faber, P. (2001). Salt marsh restoration experience in San Francisco Bay. *Journal of Coastal Research*, *27*, 203-211.

Williams, K., MacDonald, M. y da Silveira Lobo Sternberg, L. (2003). Interactions of storm, drought, and sea-level rise on coastal forest: a case study. *Journal of Coastal Research*, *19*(194), 1116-1121.

Zedler, J. B. (2000). Progress in wetland restoration ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, *15*(10), 402-407. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)01959-5

Zhang, Y., Li, W., Sun, G., y King, J. S. (2019). Coastal wetland resilience to climate variability: a hydrologic perspective. *Journal of Hydrology*, *568*, 275-284. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.048

Zhao, Q., Bai, J., Huang, L., Gu, B., Lu, Q., y Gao, Z. (2016). A review of methodologies and success indicators for coastal wetland restoration. *Ecological Indicators*, *60*, 442-452. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.003