

INCORPORACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS EN LAS SOLUCIONES DE INGENIERÍA COSTERA

VALERIA CHÁVEZ Y DEBORA LITHGOW

La zona costera, al ser la interfaz entre mar y tierra, sufre modificaciones en diferentes escalas de tiempo y espacio. Dichas modificaciones pueden tener su origen en episodios extremos, como huracanes, y en eventos crónicos, como el cambio climático. Estos eventos pueden ser resultado de los forzamientos del ciclo natural del sistema costero o ser inducidos y/o agravados por las actividades humanas. La suma de los efectos de dichas perturbaciones puede tener consecuencias no deseadas, por ejemplo: erosión y opresión costera, o la llegada masiva de sargazo como la registrada en los últimos años en las costas mexicanas.

La opresión costera es la imposibilidad de los ecosistemas de migrar y adaptarse debido a procesos en tierra (construcción de infraestructura turística y carretera, presas, cambio en el nivel freático, etc.) y en mar (cambio en el nivel medio del mar, presencia de estructuras de protección, cambios de patrones hidrodinámicos, etc.). En consecuencia, los ecosistemas se deterioran junto con los servicios que proveen, como la protección costera.

Cuando estos impactos representan un riesgo para los intereses humanos, ya sea ambientales, económicos y/o vidas humanas, se vuelve necesario implementar soluciones para mitigarlos. Tradicionalmente, si se trata de un daño en los ecosistemas, las regulaciones e intervenciones ambientales tienen como objetivo recuperar su salud, resistencia y resiliencia, que pueden llegar a competir con el aprovechamiento de la zona costera. En contraste, los principales objetivos de la ingeniería costera responden a factores socioeconómicos y políticos.

Para impulsar el desarrollo costero y la protección de las comunidades que habitan en estas zonas, se ha transitado hacia las soluciones basadas en ecosistemas que simultáneamente tienen tanto un enfoque ingenieril como uno ecológico, lo que permite alcanzar las metas de desarrollo sin comprometer el funcionamiento de los ecosistemas.

Este enfoque ha tomado impulso en diversas partes del mundo durante las últimas dos décadas, derivando en diversas políticas y guías que se alinean a la incorporación de los procesos naturales en ingeniería, por ejemplo, *Shoreline Management Plans* (Reino Unido, 2006), *Building with Nature*



Figura 1. Erosión costera y mala planeación de infraestructura turística en Pigeon Point, Trinidad y Tobago



Figura 2. Arribazones masivos de sargazo en Puerto Morelos, Quintana Roo

(Países Bajos, 2012), *Living shorelines* (EUA, 2016) y *Nature-based solutions* en Programa de la *International Union for Conservation of Nature*, recientemente renovado en 2021.

En particular, una alternativa basada en la naturaleza para la mitigación de la opresión costera, así como del riesgo por inundación y erosión, es la “infraestructura verde”. Tras su implementación, esta infraestructura busca conservar, o recuperar en caso necesario, los flujos de masa y energía que permiten la conectividad entre ecosistemas, su funcionamiento y resiliencia. Esto se logra con elementos naturales, seminaturales o artificiales que imitan funciones ecosistémicas para resolver el problema específico del proyecto, además de generar co-beneficios ecológicos y socioeconómicos (por ejemplo, incremento en la provisión de servicios de recreación y belleza escénica).

La selección de una solución exitosa dependerá de un diagnóstico adecuado que incluya un diseño resistente, resiliente y específico para el sitio a intervenir, dada la complejidad de los procesos costeros. Además, la solución deberá tomar en cuenta los recursos locales disponibles: ambientales (vegetación nativa y material local), humanos (mano de obra calificada), económicos, de tiempo y de espacio. Finalmente, este tipo de proyectos debe involucrar actores locales en sus diferentes etapas para garantizar su aceptación y monitoreo. Dada la diversidad de retos que deben enfrentarse, la infraestructura verde costera contempla una amplia gama de alternativas, que abarcan desde la conservación y restauración de los ecosistemas hasta el desmantelamiento y reubicación de estructuras que no están funcionando adecuadamente.

Con el objetivo de facilitar la implementación de la infraestructura verde costera, ésta puede dividirse en cuatro tipos según su grado de naturalidad. La infraestructura de mayor grado de naturalidad se ha clasificado como tipo 1 y la de menor grado como tipo 4. A continuación, una breve descripción de los cuatro tipos:

Tipo 1. Reclamación natural.

La conservación o restauración del sistema son viables y pueden ir acompañadas de otras medidas para aumentar la salud y la resiliencia de los ecosistemas. En este tipo de infraestructura verde, el aprovechamiento de las ventanas de oportunidad (periodos libres de perturbaciones que permiten el establecimiento de vegetación) es clave para una implementación exitosa. Los proyectos de restauración de dunas son ejemplo de este tipo de infraestructura verde costera.

Tipo 2. Ecosistemas asistidos.

Los ecosistemas se rehabilitan para recuperar la provisión de servicios ecosistémicos críticos como regulación de inundaciones y soporte. Estos proyectos no alcanzan el nivel de complejidad de los sistemas naturales conservados, cuyas características son tomadas como referencia en proyectos con mayor grado de naturalidad. Se permite que los procesos naturales modifiquen, hasta cierto punto, a los ecosistemas intervenidos para devolver al sistema a un funcionamiento más natural que requiera menos mantenimiento sin arriesgar la provisión de los servicios críticos objetivo. Un ejemplo de ecosistemas asistidos es la construcción de canales artificiales en un manglar degradado por la interrupción de flujos naturales (superficiales y subterráneos), favorecerá la recuperación de los flujos de materia y energía.

Tipo 3. Ingeniería mejorada con el uso de ecosistemas.

Las medidas tradicionales de protección, tanto rígidas como blandas, se modifican para cambiar los procesos físicos (por ejemplo, la intensidad del oleaje y el transporte de sedimentos), produciendo indirectamente ciertos beneficios a procesos naturales que se mantienen o adaptan imitando a los ecosistemas naturales. Por ejemplo, una estructura puede actuar como puente entre dos zonas menos perturbadas, permitiendo la migración de especies, y podría ser colonizada, incrementando su rugosidad o estabilidad, dependiendo del caso. Rellenos de playa y arrecifes artificiales son medidas de este tipo de infraestructura verde, que han demostrado ser efectivas.

Tipo 4. Desmantelamiento/reubicación de estructuras.

Las estructuras costeras, rígidas o blandas, se desmantelan para recuperar el sistema y avanzar hacia un funcionamiento más natural. Estas acciones suelen ir acompañadas de la reubicación de infraestructura en riesgo hacia lugares y condiciones más convenientes. Ante la falta de legislación adecuada, la infraestructura turística ha sido comúnmente construida sobre las playas y dunas, por lo que la reubicación hacia el interior, detrás de la zona de dunas, puede ser implementada para la recuperación del sistema.

Cualesquiera de estos cuatro tipos de infraestructura pueden ser implementados simultáneamente y deben considerar la necesidad de adaptación a lo largo del tiempo, misma que deberá determinarse a partir del monitoreo y la valoración de los cambios que el sistema vaya presentando como respuesta a la implementación de la infraestructura o de cambios en el entorno.

En el Caribe, gracias a la gran biodiversidad marina, es posible construir arrecifes artificiales. Estos son estructuras sumergidas multifuncionales construidas con elementos porosos para disipar la energía del oleaje y ayudar a controlar tanto inundaciones como procesos de erosión. Al mismo tiempo, los elementos pueden ser colonizados por corales que sirven como refugio para peces y otras especies. Por tanto, tras un diseño y construcción adecuados, pueden considerarse como infraestructura verde tipo 3. En México, frente a las playas del hotel Now Jade en Puerto Morelos, Quintana Roo, un proyecto que incluye dos arrecifes artificiales de piezas de concreto fue iniciado en 2008. Esta construcción ha provisto servicios de regulación (atenuación del oleaje/marea de tormenta), de soporte (provisión de hábitat para corales y peces) y culturales (la playa recuperó su belleza escénica y el arrecife puede ser atractivo para actividades como el buceo recreativo).

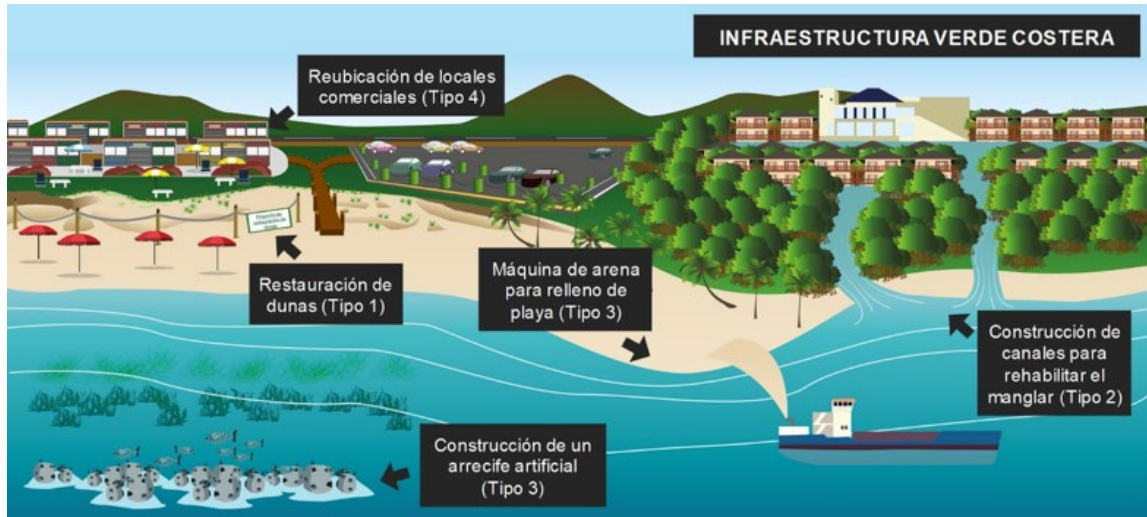


Figura 3. Ejemplos de los diferentes tipos de infraestructura verde costera



Figura 4. Arrecife artificial en República Dominicana (imágenes modificadas de Google Earth)



Figura 5. Dique de Hondsbossche, Países Bajos, intervenido en 2015 con un relleno de playa y construcción de dunas (imágenes modificadas de Google Earth)

Otro caso, iniciado en 1999, se localiza frente a los hoteles Gran Dominicus e Iberostar en República Dominicana, en el cual, se utilizaron piezas de concreto conocidas como *Reff Balls*[™] para construir el arrecife artificial. El monitoreo posterior a la construcción permitió incrementar la estabilidad de la playa y retener sedimento (<http://www.artificialreefs.org/ScientificReports/grandominicus/GranDominicus.htm>). Desde su construcción, el arrecife ha recibido mantenimiento y ha sido reubicado para mejorar su desempeño.

El dique de Hondsbossche, Países Bajos es un caso exitoso. Tras determinarse que este dique, que data de 1880, había dejado de cumplir con los estándares de seguridad, se diseñó una solución para incrementar la protección en el área. En 2015, bajo los lineamientos de *Building with Nature*, se construyó un sistema de playa y un sistema de dunas frente al dique, con un relleno de 30 millones de metros cúbicos de

arena (<https://www.ecoshape.org/en/pilots/hondsbossche-and-pettemer-sea-defence/>). Esta solución puede clasificarse como una infraestructura verde híbrida tipo 2 y 3, ya que no sólo tuvo como objetivo la colocación del relleno de arena para aumentar la protección contra inundaciones, sino que propició la conectividad entre los ecosistemas playa-duna y creó un nuevo espacio recreativo para la comunidad.

La infraestructura verde costera es una alternativa de solución dentro de la ingeniería, opción viable para el manejo del riesgo costero sin afectar a los ecosistemas, aprovechando los beneficios proporcionados por los mismos. Esto es de especial relevancia ante los retos que implican el crecimiento poblacional y el aumento del desarrollo de actividades humanas en la costa, sumado a los efectos del cambio climático tanto en los ecosistemas como las comunidades costeras. |