

EVALUANDO LA RESILIENCIA EN PLAYAS DE YUCATÁN

ALEC TORRES FREYERMUTH,
GABRIELA MEDELLÍN Y PAULO SALLES

Introducción

En la zona costera de Yucatán confluyen e interactúan, de manera directa e indirecta, actividades productivas como la pesca, la industria, la agroindustria y el turismo (Fig. 1A). Asimismo, el desarrollo de infraestructura costera altera la dinámica natural de la playa, ya que puertos y estructuras costeras interrumpen el flujo natural de sedimentos a lo largo de la costa. En consecuencia, la vegetación costera y la duna costera son frecuentemente degradadas. Esto incrementa la vulnerabilidad de playas a la erosión y la inundación asociada a tormentas.

La población en la península de Yucatán se ha incrementado desde 1980 más de 200 y de 700% tanto en Yucatán

como en Quintana Roo, respectivamente (Fig. 1B). El incremento de la población ha generado una presión importante en los ecosistemas costeros (Fig. 1A). La degradación de los ecosistemas implica mayor vulnerabilidad al incremento del nivel medio del mar, que en la costa de Yucatán fue de aproximadamente 25 cm durante el siglo XX (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2010). Sin embargo, mediciones realizadas a lo largo de la última década sugieren una aceleración en el incremento del nivel del mar (Fig. 1C).

¿Qué es la Resiliencia Costera?

La Academia Nacional de Ciencias define a la resiliencia como la habilidad de un sistema para prepararse, resistir, recuperarse y adaptarse de manera exitosa ante eventos adversos (National Research Council, 2012), sin perder su funcionalidad y servicios ecosistémicos. La Fig. 2 muestra la evolución temporal de la funcionalidad del sistema, la cual será alterada a lo largo del tiempo por disturbios que pueden ser de origen natural o antropogénico. La resiliencia está relacionada con la capacidad de recuperar su función.

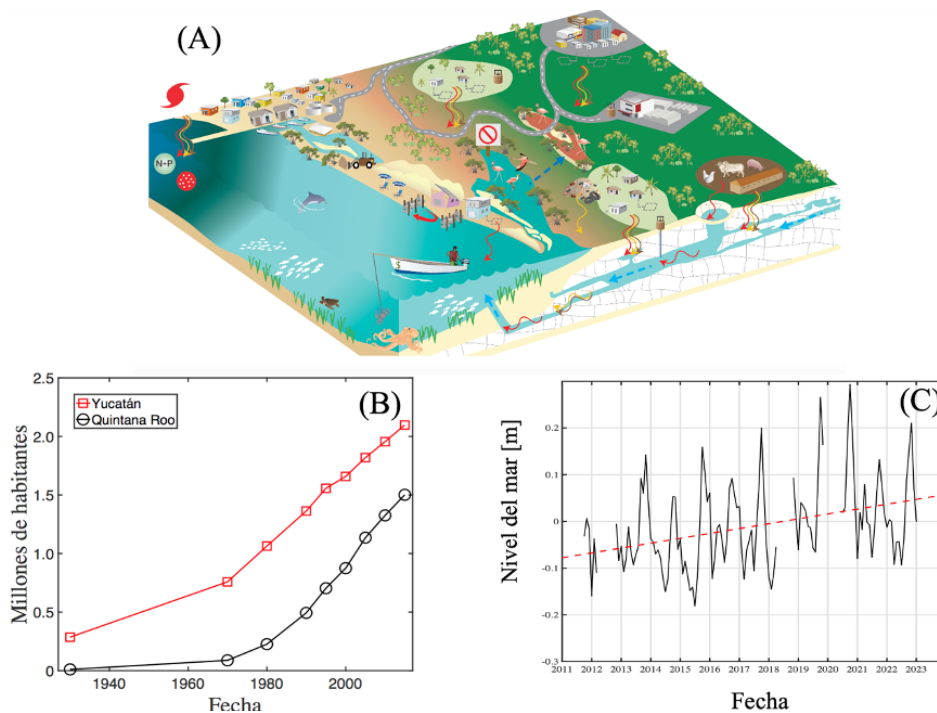


Figura 1. (A) Actividades económicas, amenazas naturales y antropogénicas en la costa de Yucatán. Tomada de LANRESC (2017). (B) Crecimiento de la población en la región a lo largo de las últimas décadas. Datos tomados de INEGI. (C) Incremento del nivel medio del mar a lo largo de los últimos años basado en mediciones *in situ*

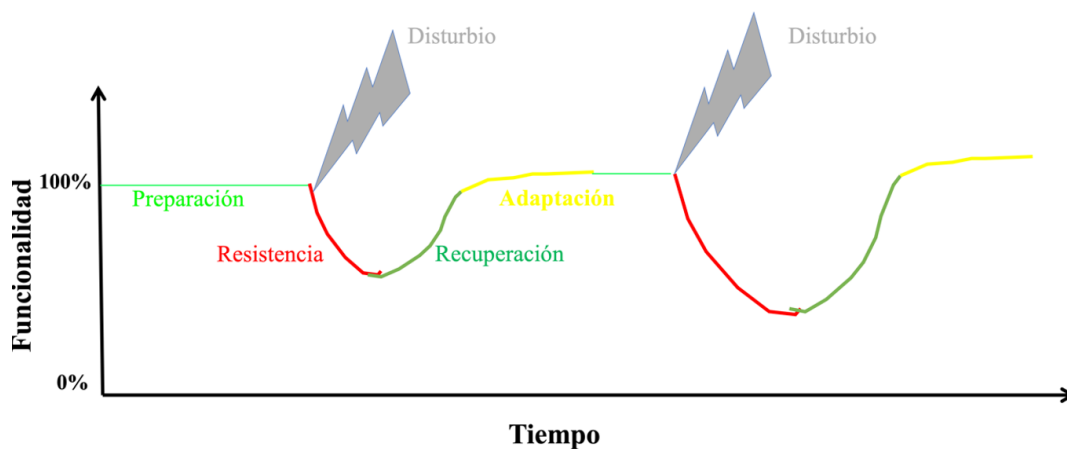


Figura 2. Trayectoria de la funcionalidad de un sistema antes, durante y posterior a un disturbio. Adaptado de Rosati *et al.* (2015)

Para el estudio de la resiliencia es necesario identificar diferentes elementos, incluidos los disturbios (causa) y perturbaciones (efectos), la resistencia, los umbrales y las trayectorias. El disturbio puede ser un *shock* o un estresor, dependiendo de si ocurre en un corto (horas a días) o largo plazo (meses a años), además, generando efectos adversos la mayoría de las veces. La resistencia es la capacidad del sistema de absorber perturbaciones asociadas a un *shock* o estresor. Los límites críticos de un sistema o umbrales son fundamentales para determinar si el sistema es capaz de resistir los impactos sin alterar su funcionalidad. Finalmente, la trayectoria del sistema es un elemento clave que permite analizar los cambios y su dirección.

Para el estudio de la resiliencia es importante contestar dos preguntas fundamentales: ¿resiliencia de quién? y ¿resiliencia para qué? En este trabajo, el sistema en consideración es la playa de Sisal, Yucatán (Fig. 3A-C), localizada en una isla de barrera. Las funciones del sistema en este caso son: a) la protección de la costa ante tormentas y b) proporcionar servicios socioecosistémicos. La playa estará perturbada por *shocks* como tormentas (Nortes y Huracanes) y por estresores asociados particularmente al incremento del nivel del mar y a la presencia del Puerto de Abrigo, los cuales pueden afectar su funcionalidad a lo largo del tiempo. La playa puede ser descrita por su ancho de playa y por la elevación de la duna. Playas anchas y elevadas con dunas altas contribuyen a incrementar la resiliencia de playas ante eventos extremos (Dong *et al.*, 2018).

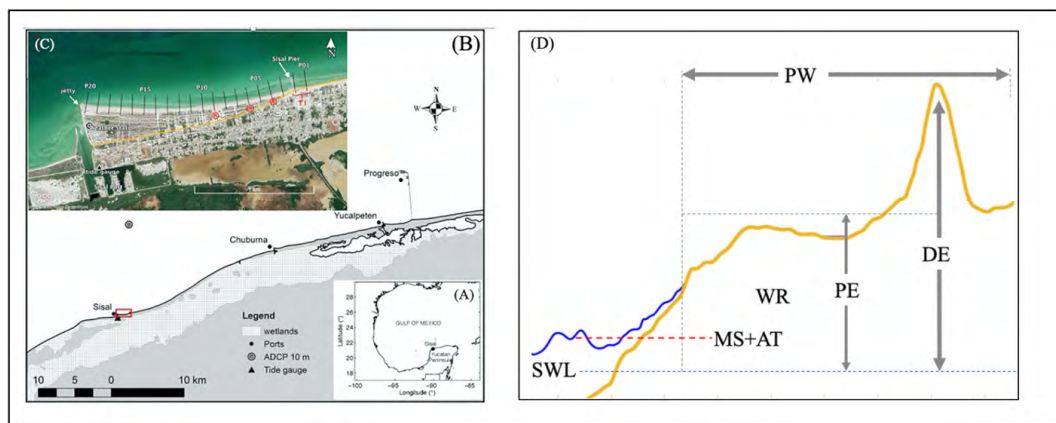


Figura 3. A) Ubicación de Sisal en el Golfo de México. B) Localización de sistemas de medición en la zona. C) Transectos del programa de monitoreo de la playa. D) Definición de los parámetros hidrodinámicos y morfológicos requeridos para el cálculo del índice de resiliencia costera. Figuras tomadas de Torres-Freyermuth *et al.* (2021)

¿Cómo podemos medir la resiliencia?

En este trabajo adaptamos la metodología propuesta por Dong *et al.* (2018) para calcular el índice de resiliencia costera. Este índice considera la geomorfología de la playa a través de parámetros como la elevación de la playa, el volumen de arena, el ancho de playa, la elevación de la duna y los niveles extremos del nivel del mar. Los factores adimensionales que permiten estimar el Índice de Resiliencia Costera están dados por:

$$a = \frac{PE}{PE_0}; b = \frac{PE * PW * (1 - s)}{PE_0 * PW_0}; c = \frac{PW - MSR}{PW_0};$$

$$d = \frac{DE - (MS + AT)}{CF_0}; e = \frac{DE - WR_0}{CF_0}$$

donde *a* es el factor de protección por elevación, *b* es el factor de protección por densidad de volumen, *c* es el factor de protección por ancho de playa, *d* es el factor de francobordo y *e* es el factor de *runup*. Estos factores son estimados a partir de los parámetros y perturbaciones obtenidos de mediciones de perfiles de playa, oleaje y nivel del mar, así como modelación numérica para la obtención del *runup* (línea azul en Fig. 3D). La suma de factores adimensionales permite calcular el Índice de Resiliencia Costera (IRC). Dong *et al.* (2018) clasifican la resiliencia en función de esos índices en: baja resiliencia (IRC<1.5), resiliencia moderada (1.5<IRC<2.0) y resiliencia alta (IRC>2.0). Programas de monitoreo de playas con alta resolución espacial y temporal como el realizado en la playa de Sisal (Medellín y Torres-Freyermuth, 2019) permiten evaluar la evolución espacial y temporal del índice de resiliencia costera.

¿Qué tan resiliente es la playa de Sisal?

Durante el periodo de estudio las mediciones de oleaje, nivel del mar y de la morfología de la playa permiten estimar los valores umbrales de erosión e inundación asociados a tormentas. Durante el periodo de estudio (2015-2020) se observó un retroceso máximo de la línea de costa (MSR) de 20 m en el perfil aledaño a la escollera Este del Puerto de Abrigo (P20 en Fig.3c). Por otro lado, una tormenta local ocasionó una sobre-elevación del nivel del mar (MS+AT) de 1.2 m y un ascenso máximo de las olas (WR) de 2.5 m. A partir de los 116 levantamientos, realizados en los 20 perfiles de playa (Figura 3c), es posible obtener la evolución de los parámetros de la

morfología de la playa (DE: elevación de la duna; PW: ancho de playa), así como los valores característicos ($PW_0=38$ m, $DE_0=2.2$ m, $CF_0=0.9$ m, $PE_0=0.8$ m) necesarios para la estimación de los parámetros adimensionales.

La Figura 4A-E muestra la evolución espacial y temporal de los factores que contribuyen al cálculo del IRC. Los factores a, d, y e muestran los valores menores cerca de las estructuras costeras (P18-P20) o donde existe degradación de la duna (P09). Los factores de protección por densidad de volumen (b) y ancho de playa (c) muestran los valores máximos al Este de las estructuras. Finalmente, los factores d y e son fuertemente dependientes de la elevación de la duna. Los mayores valores del IRC, obtenidos a partir de la suma de los cinco factores, se encuentran en los transectos localizados entre las estructuras que no se encuentran degradados. El transecto que muestra mayor incremento del IRC es el P05, debido a que ha presentado mayor incremento en la elevación de la duna a lo largo de los últimos años. Por otro lado, los transectos P01, P09 y P20 se mantienen con valores bajos debido a la degradación de la duna y a la baja elevación de la playa, respectivamente (Figura 4f).

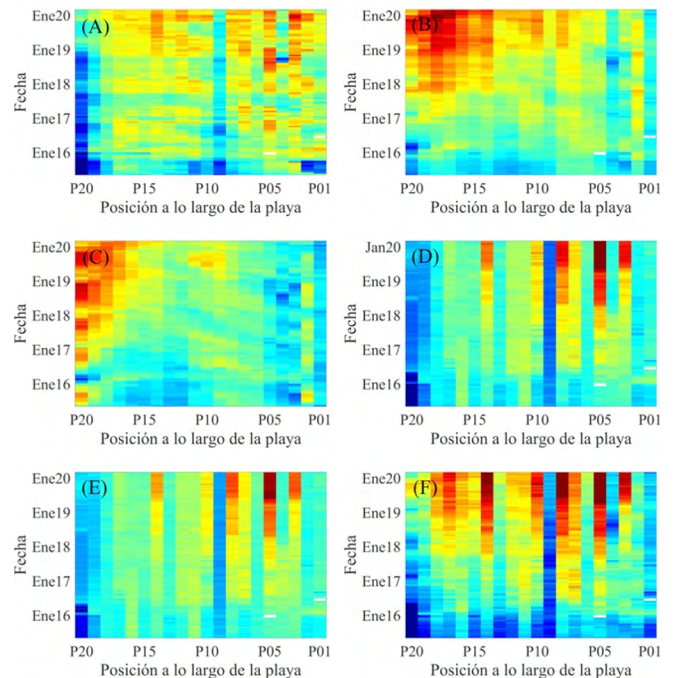


Figura 4. Evolución espacio-temporal de (A) factor de protección por elevación *a*; (B) factor de protección por densidad de volumen *b*; (C) factor de protección por anchura de playa *c*; (D) factor de francobordo de la cresta *d*; (E) factor del *runup* *e* y (F) Índice de Resiliencia Costera

Este trabajo muestra que la playa de Sisal ha incrementado su resiliencia, en algunas zonas, gracias al incremento de la elevación de la duna y al volumen de arena. Los transectos con mayor afectación antropogénica (aledaños a estructuras o con dunas degradadas) muestran menor resiliencia, por tanto, mayor vulnerabilidad ante tormentas. Por tanto, las mediciones realizadas en la playa de Yucatán revelan la importancia de la conservación de la playa y duna para mantener la resiliencia de la playa.

Agradecimiento

Al Proyecto DGAPA-UNAM “Resiliencia de socioecosistemas costeros asociados al turismo ante covid 19 y cambio climático” (IV300123). |

Referencias

Dong, Z.; Elko, N.; Robertson, Q. y Rosati, J. (2018). Quantifying beach and dune resilience using the coastal resilience index. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(36), papers.30. <https://doi.org/10.9753/icce.v36.papers.30>.

Medellín, G. y Torres-Freyermuth, A. (2019). Morphodynamics along a micro-Tidal sea breeze dominated beach in the vicinity of coastal structures. *Mar. Geol.*, 417, 106013.

National Research Council (2012). *Disaster Resilience: A National Imperative*. Washington, D. C.: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13457>.

Rosati, J. D.; Touzinsky, K. F. y Lillycrop, W. J. (2015). Quantifying coastal system resilience for the US Army Corps of Engineers. *Environ Syst Decis* 35, 196-208.

Torres-Freyermuth, A.; Medellín, G. y Salles, P. (2021). Human impact on the spatiotemporal evolution of beach resilience on the northwestern Yucatan coast. *Front. Mar. Sci.* 8, 637205.

Zavala-Hidalgo, J.; de Buen Kalman, R.; Romero-Centeno, R. y Hernández Maguey, F. (2010). Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas, p. 249-268. En: A. V. Botello; S. Villanueva-Fragoso; J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galaviz. *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. SEMARNAT-INE,UNAM-ICMYL Universidad Autónoma de Campeche. 514 p.

LANRESC (2017). https://www.lanresc.mx/publicaciones/tarjetas_reporte/costa-del-estado-de-yucatan-marco-de-trabajo-para-el-desarrollo-de-una-tarjeta-de-reporte/.