

INGENIERÍA Y PROCESOS COSTEROS EN EL LIPC

ALEC TORRES FREYERMUTH, TONATIUH MENDOZA,
GABRIELA MEDELLÍN, ELENA OJEDA, RUTH CEREZO,
MARÍA EUGENIA ALLENDE, PAULO SALLES

La Ingeniería costera es una rama de la ingeniería encargada del estudio de los procesos físicos que ocurren cerca de la línea de costa y que interactúan con ecosistemas naturales y construcciones en esta zona. Su estudio involucra aspectos de interacción océano-atmósfera, oceanografía física, geología marina e ingeniería civil.

El oleaje es generado por el viento y sus características (altura de ola y período) están en función de la intensidad del viento, la duración de los eventos, y la extensión de la zona de generación. Ante la falta de mediciones históricas, los modelos

numéricos se han convertido en una herramienta ampliamente utilizada para determinar el clima de oleaje (pasado) a partir de información meteorológica y climatológica (fig. 1). En este sentido, los modelos climáticos, tanto globales como regionales, permiten estimar las condiciones históricas o incluso escenarios asociados al cambio climático. De estos datos se pueden derivar series de tiempo de oleaje a nivel global, regional y local. Con la información que se obtiene, es posible determinar el clima medio (condiciones predominantes) y extremo (frecuencia e intensidad de tormentas) del oleaje en determinada zona de interés (Ojeda *et al.*, 2017).

El oleaje generado costa afuera es el encargado de propagar la energía, transferida del viento al océano, hacia la costa donde sufre transformaciones debido a la reducción de la profundidad. Entre los procesos más relevantes se encuentra el cambio en la dirección debido a la batimetría o su interacción con corrientes (refracción), la cesión lateral de energía al interactuar con islas o estructuras (difracción), la reflexión de la energía, la interacción con el lecho en aguas someras con la reducción de su longitud y el aumento de su

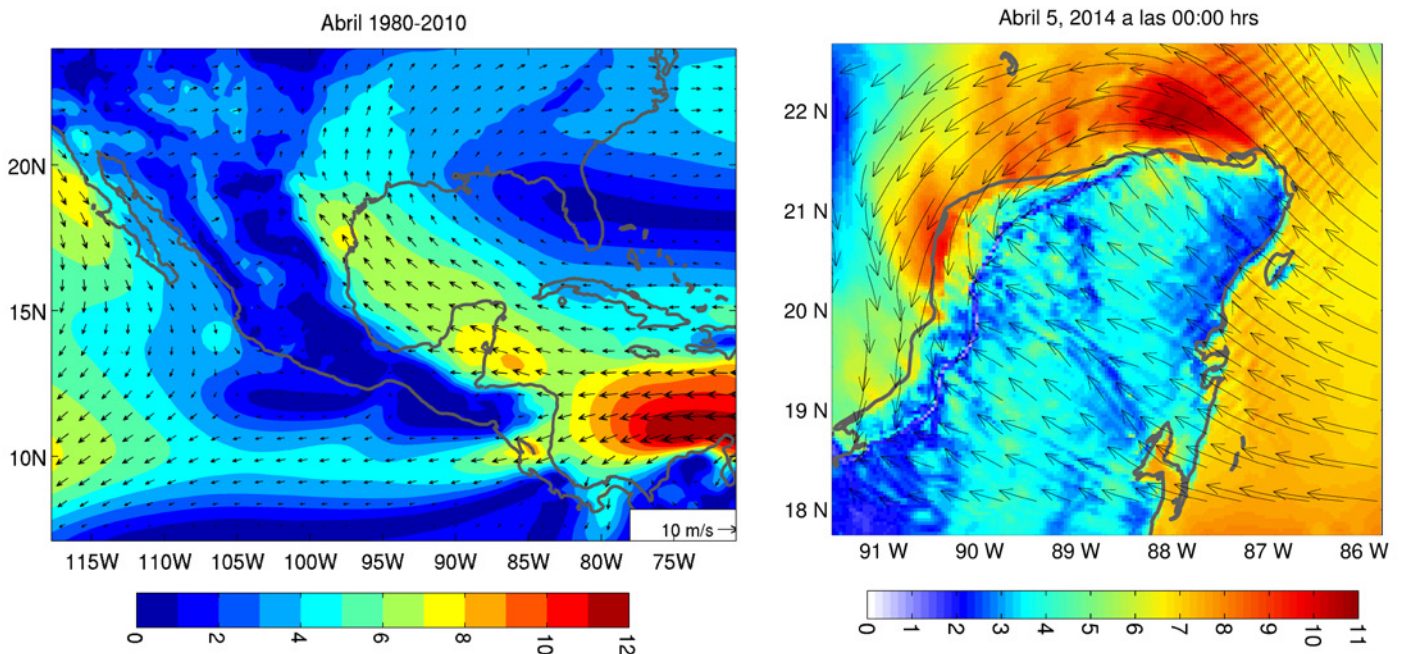


Figura 1. Campos de viento de los modelos regionales atmosféricos. a) Climatología de 30 años de viento simulado con PRECIS para el mes de Abril (resolución de 50 km). b) Viento instantáneo simulado con WRF en la región de la Península de Yucatán (resolución espacial de 3 km). La barra de color indica la intensidad del viento en ms^{-1}

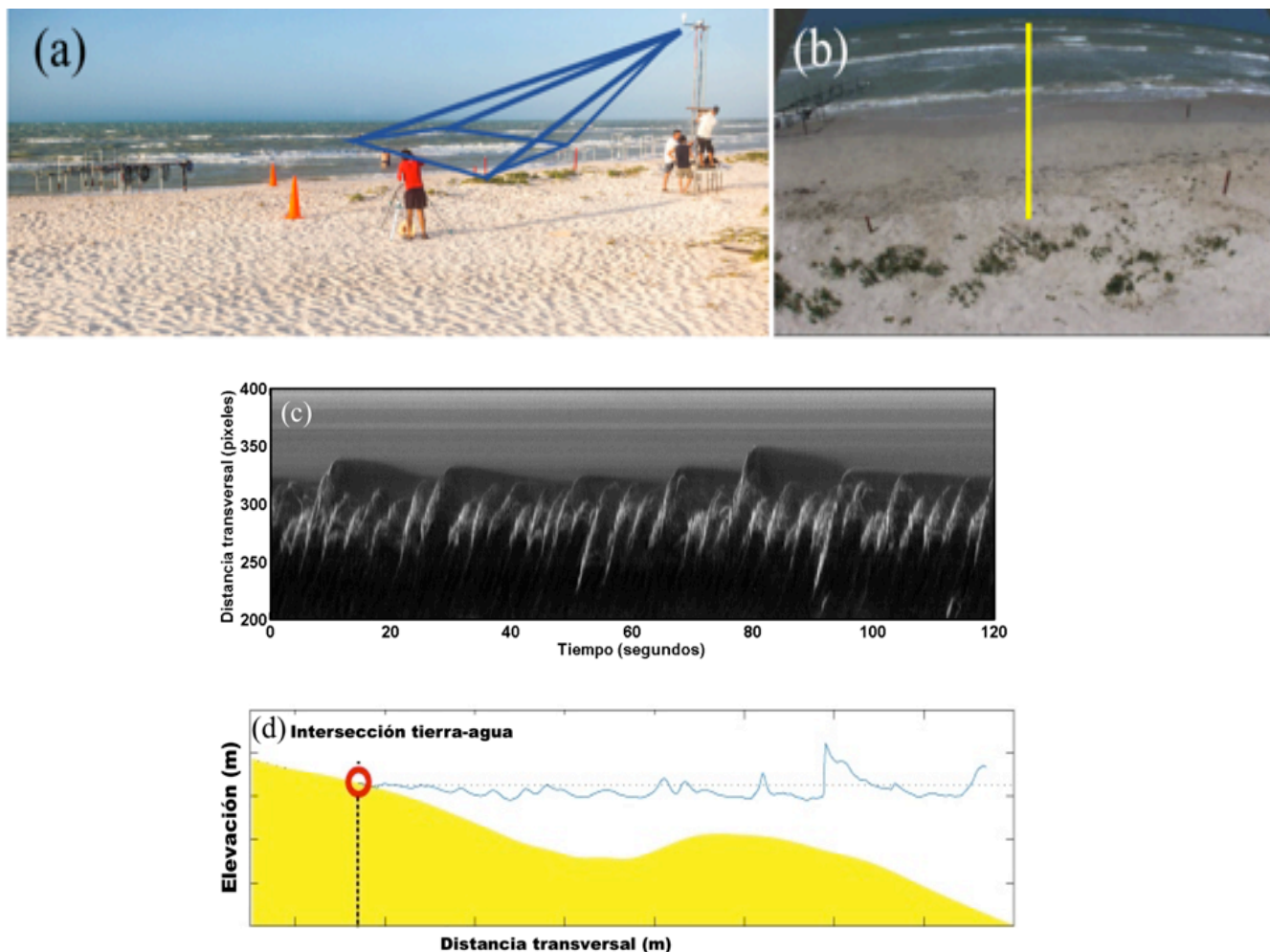


Figura 2. a) Ubicación y b) campo de visión de una cámara para obtener c) la serie temporal del remonte de oleaje a partir de píxeles (línea amarilla en b) y d) estimación de la cota de inundación a partir de la interface tierra-agua en un modelo numérico

altura (asomeramiento), y la disipación (rotura) al llegar a la costa. De todos estos procesos la rotura del oleaje es el proceso más llamativo y más difícil de estudiar. La zona de rompientes en playas se caracteriza por la transformación del movimiento oscilatorio del oleaje en flujos turbulentos y flujos medios (corrientes) que determinan la hidrodinámica cerca de la línea de costa. La complejidad del flujo en esta zona hace que ninguna teoría del oleaje sea válida para describir la rotura. Por tanto, para su estudio se recurre al uso de modelos numéricos que resuelven las ecuaciones de Navier-Stokes que describen el movimiento de un fluido y/o a mediciones en campo o laboratorio. Durante eventos extremos,

el nivel medio del mar puede incrementarse debido a la acción combinada del viento, presión atmosférica y oleaje; los cuales determinan la cota de inundación. Esta información es fundamental para establecer las zonas de desarrollo de infraestructura costera. Su determinación debe estar basada en registros históricos e información topo-batimétrica que permita correlacionar los niveles de agua con respecto a la elevación del terreno. Para estos estudios se recurre al uso de técnicas de percepción remota o modelos numéricos que resuelven las ecuaciones de Navier-Stokes (Medellín *et al.*, 2016) debido a la dificultad que conlleva realizar mediciones directas en esta zona (figura 2).

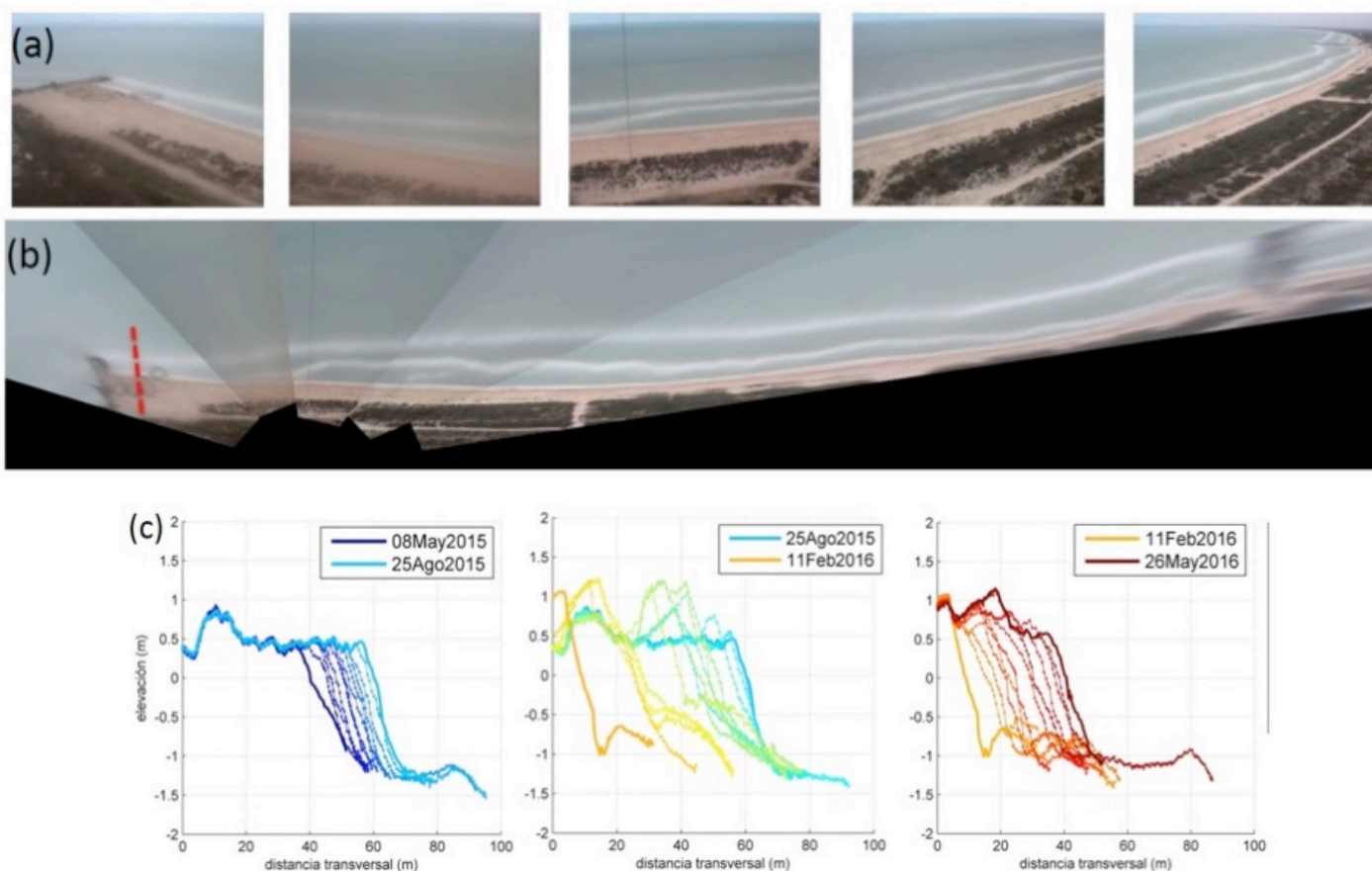


Figura 3. a) Imágenes oblicuas promediadas del sistema de cámaras en Sisal, b) ortomosaico mostrando la ubicación de barras sumergidas (líneas blancas), y c) perfiles de playa correspondientes al transecto indicado con línea roja en b)

La hidrodinámica juega un papel fundamental en el transporte de sedimento en playas (Torres-Freyermuth *et al.*, 2017) y bocas lagunares (Salles *et al.*, 2015). Sin embargo, la predicción de los cambios en la forma (morfología) de la playa debidos al transporte de sedimentos sigue siendo uno de los grandes retos para la ingeniería costera. Las zonas de erosión y acreción están determinadas por los gradientes en el transporte de sedimentos. La variabilidad en la forma de la playa en planta y perfil a lo largo del tiempo en respuesta a su acoplamiento con la hidrodinámica se conoce como morfo-dinámica. Su entendimiento es fundamental para comprender el equilibrio dinámico en la zona costera. Para su estudio, se recurre a las mediciones en el campo por medio de técnicas directas e indirectas. Una de las técnicas directas para estimar los cambios de la playa es a través de mediciones con sistemas de posicionamiento global diferencial, más conocido por sus siglas en inglés, DGPS (Differential Global Positioning System), que permiten cuantificar la morfología de la playa emergida y

sumergida con precisión milimétrica (figura 3c). Estas mediciones pueden ser complementadas con el uso de técnicas de percepción remota como son los sistemas de videomonitorio utilizados para la obtención de línea de costa y ubicación de las barras de arena sumergidas (figuras 3a y b). Más recientemente, el uso de vehículos aéreos no tripulados para la obtención de imágenes aéreas han permitido la generación de modelos digitales de terreno con bajo costo a través de técnicas de fotogrametría (figura 4a).

Uno de los objetivos de los ingenieros costeros es la identificación de soluciones para reducir el riesgo a erosión y/o inundación de la costa. Las estructuras de protección costera han sido concebidas con este propósito desde hace siglos. Sin embargo, el uso de este tipo de soluciones “duras” únicamente traslada el problema a playas aledañas. Por tanto, la implementación debe ir acompañada de programas de monitoreo de alta resolución que permitan evaluar su funcionamiento para recomendar su rediseño o remoción (figura 4). Las dunas y arrecifes juegan un

papel muy importante en la protección de la costa ante tormentas (Franklin *et al.*, 2018). Es por esta razón que a lo largo de los últimos años se ha impulsado la conservación e implementación de los ecosistemas costeros (dunas, arrecifes, pastos marinos) para la protección natural de la costa.

Referencias

- Franklin, G.; Torres-Freyermuth, A.; Medellín, G.; Allende-Arandía, M. E. y Appendini, C. M. (2018). The role of the reef-dune system in coastal protection in Puerto Morelos (Mexico), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Aceptado.
- Medellín, G.; Brinkkemper, J. A.; Torres-Freyermuth, A.; Appendini, C. M.; Mendoza, E. T. y Salles, P. (2016). Run-up parameterization and beach vulnerability assessment on a barrier island: a downscaling approach, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 167-180.
- Ojeda, E.; Appendini, C. M. y Mendoza, E. T. (2017). Storm-wave trend in Mexican waters of the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(8), 1305:1317 (<https://doi.org/10.5194/nhess-17-1305-2017>).
- Torres-Freyermuth, A.; Puleo, J. A.; DiCosmo, N.; Allende-Arandía, M. E.; Chardón-Maldonado, P.; López, J.; Figueroa-Espinoza, B.; Ruiz de Alegría-Arzaburu, A.; Figlus, J.; Roberts Briggs, T. M.; de la Rosa, J. y Candela, J. (2017). Nearshore circulation on a sea breeze dominated beach during intense wind events, *Cont. Shelf Res.*, 151, 40-52.
- Salles, P.; Valle-Levinson, A.; Sottolichio, A.; Senechal, N. (2015). Wind-driven modifications to the residual circulation in an ebb-tidal delta: Arcachon Lagoon, Southwestern France, *J. of Geophys. Res.*, 120, 728-740

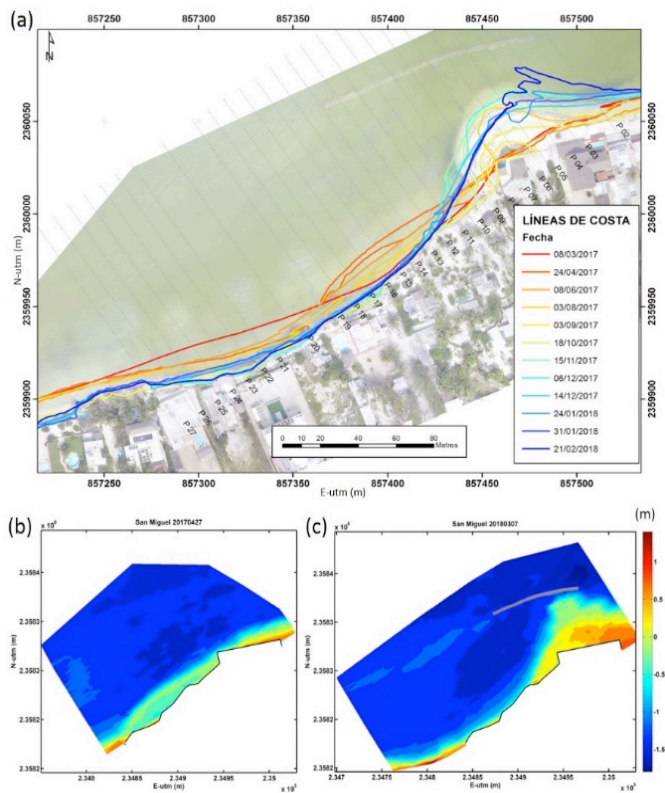


Figura 4. a) Fotografía aérea de Punta San Miguel mostrando la evolución de la línea de costa; b) topobatemetría de la zona previa y c) 9 meses después de la colocación de un rompeolas (geotubo)