

Técnicas numéricas y remotas para la gestión de playas: aplicación a un grupo de tormentas.

Numerical and remote techniques for coastal management: application during a group of storms.

V. Morales-Márquez¹, A. Orfila¹, G. Simarro² y L. Gómez-Pujol³

1 IMEDEA (UIB-CSIC), Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados, C/ Miquel Marquès 21,07190, Esporles (Islas Baleares). vmorales@imedea.uib-csic.es.

2 ICM, Instituto de Ciencias del Mar, Passeig Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona, (Cataluña).

3 Grupo de Investigación de Ciencias de la Tierra, Departamento de Biología, Universidad de las Islas Baleares, Ctra. Valldemossa, km 7.5, 07122 Palma (Islas Baleares).

Resumen: Se analiza la respuesta morfodinámica de una playa micromareal durante un grupo de tormentas y se detallan los efectos de cada evento individual a partir de modelización numérica, mediciones in situ e imágenes. La combinación de estas técnicas presenta una herramienta multiplataforma para la gestión de playas. En este trabajo, la respuesta morfodinámica se examina frente a un grupo de tres tormentas. La primera, de condiciones moderadas ($H_s \sim 1$ m durante 6 h), erosionó la playa seca y generó una barra sumergida en la zona de rotura. La barra fue desplazada hacia aguas profundas durante el segundo evento más energético ($H_s = 3.5$ m y 53 h). La tercera tormenta, similar a la primera, apenas afectó a la morfología de la playa, lo que corrobora la importancia de la configuración morfológica previa. Durante los meses siguientes, caracterizados por condiciones de baja energía, la playa seca recuperó la mitad del volumen de arena que perdió durante el paso del grupo de tormentas. El análisis de la evolución de la playa muestra dos escalas temporales diferentes para los procesos de erosión y recuperación asociados a las tormentas y las condiciones de calma, respectivamente. El trabajo también destaca la importancia de utilizar diferentes herramientas (vídeomonitorio, modelado numérico y toma de datos in situ) para analizar la morfodinámica de las playas.

Palabras clave: Morfodinámica costera, Grupo de tormentas, Vídeo monitoreo, Modelo XBeach.

Abstract: *The morphodynamic response of a microtidal beach under a storm group is analyzed, and the effects of each individual event are inferred from a numerical model, in situ measurements and video imaging. The combination of these approaches represents a multiplatform tool for beach management. Here, the morphodynamic response is examined during a period with a group of three storms. The first storm, with moderate conditions, eroded the aerial beach and generated a submerged sandbar in the breaking zone. The bar was further directed offshore during the more energetic second event. The third storm, similar to the first one, hardly affected the beach morphology, which stresses the importance of the beach configuration previous to a storm. During the following months, which are characterized by mild wave conditions, the aerial beach recovered half of the volume of sand that is transported offshore during the storm group. The analysis of beach evolution shows two different characteristic timescales for the erosion and recovery processes. The work also stresses the importance of using different tools to analyze beach morphodynamics.*

Key words: Coastal morphodynamics, Storms group, Video-monitoring, XBeach model.

INTRODUCCIÓN

La evolución de las costas ha sido un tema de gran interés en las últimas décadas, ya que las playas y los sistemas dunares son las primeras líneas naturales de defensa costera contra los riesgos de inundación y erosión (Hallegatte et al., 2013) además de entornos turísticos (Luijendijk et al., 2018). Por este motivo, el mantenimiento de estas áreas es crucial no solo para la defensa costera, sino también para la actividad económica (Semeoshenkova y Newton, 2015). En el caso concreto de España, las costas representan un 0,01% de la superficie terrestre, pero en ellas se llega a generar hasta el 10% del PIB del país (Yepes y Medina., 2005). Aunque estos datos son extensamente

conocidos, la gestión de playas tiende a resolver los problemas a medida que aparecen, sin una planificación a largo plazo. Uno de los principales obstáculos en la gestión costera es la dificultad para cuantificar y predecir los efectos que ocasionan los eventos de tormenta, tanto si estos se componen de una tormenta aislada (provocando una erosión significativa en muy pocas horas) como si lo hacen en grupo (pudiendo llegar a ocasionar cambios sustanciales en su morfología de la playa, Frazer et al., 2009).

El objetivo de esta contribución es estudiar el efecto de un grupo de tormentas en la morfología de una playa y promover una metodología multiplataforma que fomente una toma de decisiones efectiva con los datos y modelos numéricos disponibles. Aquí,

presentamos los patrones temporales de la erosión y recuperación de una playa micromareal en condiciones de tormentas consecutivas mediante el uso de datos batimétricos extraídos por videomonitorio costero, recogidos in situ de RTK-GPS y ecosonda, y mediante el uso de modelos numéricos ampliamente validados

ZONA DE ESTUDIO

Cala Millor es una playa micromareal semi-cerrada de 1,7 km de longitud y que varía entre 15 y 30 m de ancho. Se encuentra en la costa noreste de Mallorca (Fig. 1).

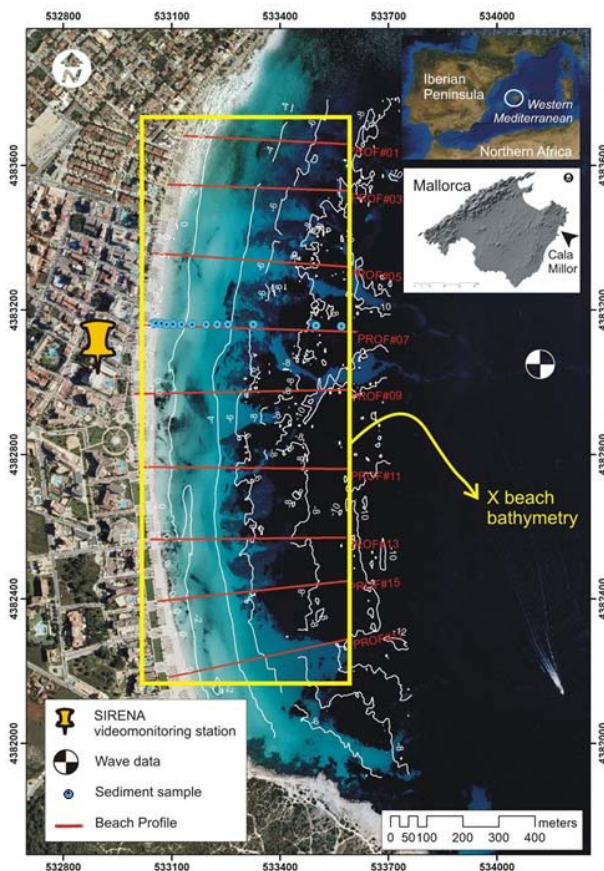


FIGURA 1. Localización de Cala Millor. Las líneas discontinuas blancas corresponden al levantamiento batimétrico (cada 2 m); el recuadro amarillo cubre el área de batimetría obtenida por medio de XBeach y las líneas rojas corresponden a los perfiles batimétricos tomados durante la campaña.

DATOS Y MÉTODOS

Los datos utilizados en este estudio fueron recogidos durante la campaña Riskbeach, realizada por el SOCIB, el IMEDEA y el ICM en Cala Millor del 17 al 26 de marzo de 2014. Durante Riskbeach, se instalaron en la sección central de la playa algunos instrumentos para obtener información sobre los sedimentos y condiciones hidrodinámicas de la playa, detallados en la Fig. 1. En este trabajo utilizamos los

datos hidrodinámicos recogidos por un AWAC instalado a 25 m de profundidad. Estas mediciones se completaron con levantamientos batimétricos, muestras de sedimentos e imágenes de la playa de un equipo de videomonitorio (Fig. 1). Justo después de RiskBeach (26 de marzo 2014) la playa se vio expuesta a un grupo de tormentas que modificó su morfología. Para evaluar los efectos ocasionados por estas tormentas combinamos las técnicas de modelado numérico utilizando XBeach con los de videomonitorio (una vez validados con los datos de perfiles batimétricos recogidos durante RiskBeach). Así obtenemos una batimetría completa justo después de cada una de las tormentas estudiadas. Además, en junio de 2014, se recogió otra batimetría in situ de la zona.

Condiciones del oleaje

Las condiciones del oleaje muestran tres tormentas durante el periodo de estudio (Fig. 2), definiéndose tormenta como el evento en el que se cumple que $H_s > 1\text{m}$ durante al menos 6h seguidas (Gómez-Pujol et al. 2011). La primera tormenta, S1 (ver Fig. 2a), ocurrió el 26 de marzo con una duración de 7 h, justo después de que se dismantelaran los instrumentos de RiskBeach. La segunda tormenta, S2 comienza el 28 de marzo y duró 53 h. Esta tormenta tuvo unas condiciones de $H_s > 2\text{m}$ durante 38 h, hecho totalmente singular en Cala Millor. La tercera tormenta, S3, tuvo lugar del 2 al 3 de abril. Los 2 meses siguientes se caracterizaron por condiciones de oleaje moderado, los cuales se utilizan para estudiar la recuperación de la playa después del evento de tormentas (ver Fig. 2).

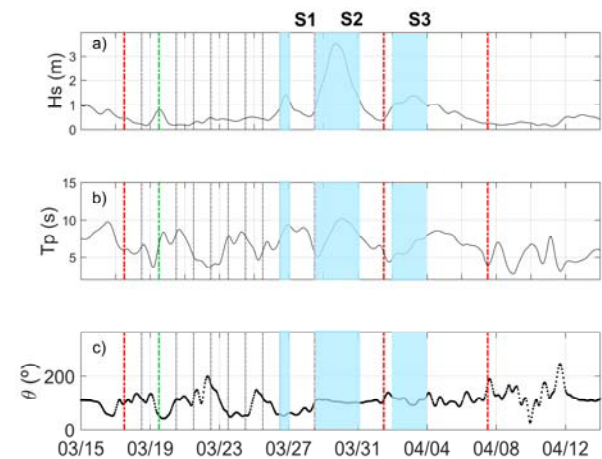


FIGURA 2. (a) H_s (m) en Cala Millor entre el 15 de marzo y el 14 de abril de 2014. (b) T_p (s). (c) Dirección media del oleaje ($^\circ$). El sombreado azul muestra las tormentas. Las líneas rojas discontinuas indican las fechas en las que se tienen datos de batimetrías (inicial de RiskBeach y las 3 siguientes obtenidas del modelo XBeach). Las líneas negras discontinuas indican las fechas en que se midieron los perfiles in situ y las verdes, muestran el día en que se validó el modelo utilizando los perfiles batimétricos.

Video-monitoreo

El video-monitoreo costero proporciona información sobre los procesos costeros de forma autónoma. En este estudio se utiliza el sistema

SIRENA / Ulises (Nieto et al., 2010; Simarro et al., 2017) que lleva desde 2009 funcionando en la playa de Cala Millor. Consta de 5 cámaras (CCD). Con las imágenes recogidas, SIRENA construye varios productos, entre ellos un *timestack* cada hora de luz al día. En este estudio, se estima la batimetría de la zona a través de una inversión batimétrica, de cada *timestack* de la cámara central, utilizando la teoría lineal del oleaje para aguas someras. Cada *timestack* es procesado para obtener su matriz de intensidad, y utilizando transformadas de Fourier tanto en tiempo como en espacio, se obtiene la frecuencia y la fase del oleaje, para finalmente poder calcular la celeridad y la batimetría de la playa.

Modelo numérico

La evolución morfológica de la playa durante las tormentas se evalúa utilizando el modelo numérico XBeach (Roelvink et al., 2009). Las condiciones iniciales tanto morfológicas como hidrodinámicas se toman de la campaña RiskBeach.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos, con XBeach y a través de la inversión batimétrica de *timestacks*, se utilizan para estimar la batimetría de la playa, habiéndose obtenido en la validación de ambos métodos un R^2 del 99% y un error relativo menor a 0.03 para los resultados de XBeach, y un R^2 de alrededor del 98% y un error relativo de 0.04 para la inversión batimétrica con *timestacks*. Así se puede asumir que los perfiles obtenidos con el modelo se ajustan bien a los datos recogidos en campo, hasta la profundidad de cierre. Por este motivo, las batimetrías modeladas (XBeach) pueden ser consideradas una herramienta eficaz para estudiar los efectos de las tormentas en la playa. Además, como fuente adicional de datos se utilizará el perfil estimado de los *timestacks* para comparar el balance de masa de sedimentos de la playa antes y después del grupo de tormentas, así como durante el periodo de recuperación después de las tormentas.

Aunque las tormentas individuales, no son excepcionales en términos de intensidad, su ocurrencia en grupo causó un efecto importante en la morfología de la playa. La batimetría inicial muestra una barra sinuosa-paralela, mientras que la batimetría obtenida para el 8 de abril de 2014 con XBeach muestra una configuración disipativa bien marcada (Fig. 3, a). Esto es consistente con lo obtenido a través de los *timestacks*. (ver Fig. 4). Se puede observar una erosión generalizada en la parte de la playa seca, movilizándolo desde la berma hasta profundidades de entre 1 y 5m, formando una barra sumergida (Fig. 3, a y 4). Para estudiar el efecto de cada una de las tormentas en la playa de estudio, se ha calculado la diferencia de profundidad entre la batimetría antes y después de cada

una de las tormentas (Fig. 5). Así se puede observar como la S1 erosiona la parte de playa seca, movilizándolo a profundidades de entre 1 y 2 m de profundidad, generando una barra sumergida (Fig. 5, a). La S2, siendo más energética, mueve esta barra sumergida a profundidades mayores (Fig. 5, b). Y, por último, la S3, con condiciones de oleaje muy parecidas a la S1, no tiene un efecto significativo en la morfología de la playa puesto que el perfil de esta ya era lo suficientemente eficaz para disipar su energía. Para el periodo de recuperación, se halla la diferencia entre la batimetría del 12 de junio y la resultante del modelo XBeach después del periodo de tormentas, el 8 de abril. (ver Fig. 3, b). Así se puede observar como la parte de la barra sumergida que generó el grupo de tormentas es parcialmente devuelta a la zona de playa seca. Una vez cuantificado el efecto de este grupo de tormentas se puede asegurar que, en 2 meses de condiciones de calma, la playa consiguió recuperar la mitad del sedimento que se movilizó durante el periodo de tormentas.

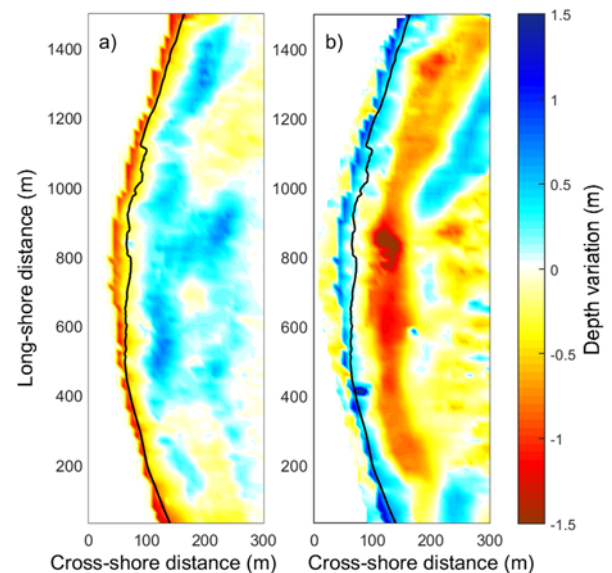


FIGURA 3. Variación de la profundidad estimada de XBeach y de la campaña; (a) durante el grupo de tormentas (del 17 de marzo al 8 de abril), y (b) para el periodo de recuperación (del 8 de abril a 12 de junio).

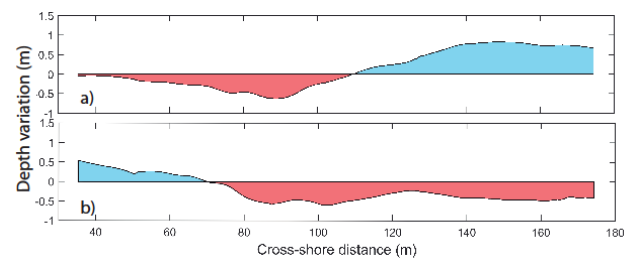


FIGURA 4. Variación de profundidad estimada a partir de la inversión batimétrica de los *timestacks*; (a) entre el 8 de abril y el 20 de marzo (condiciones de tormenta); (b) Entre el 12 de junio y el 8 de abril (condiciones de calma).

La herramienta multiplataforma que se presenta en este estudio pretende ayudar al desarrollo de una mejor gestión costera, especialmente en condiciones adversas, cuando no sea posible realizar campañas in situ. La combinación de modelos numéricos y video-monitoreo ofrece la posibilidad de suplir esta falta de datos.

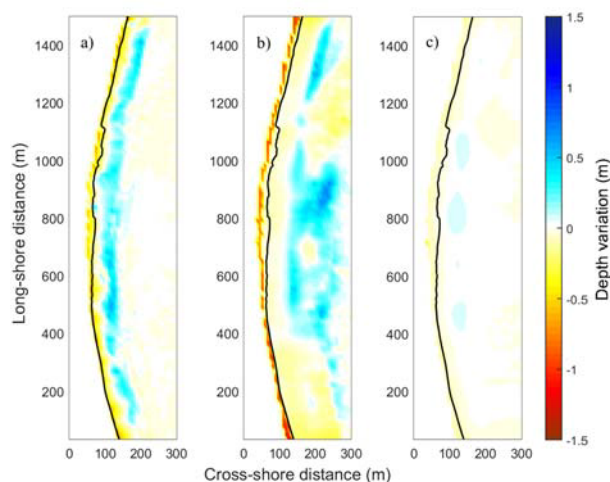


FIGURA 5. Variación de la profundidad obtenida con XBeach y la campaña RiskBeach. (a) entre el 17 y el 28 de marzo (tormenta S1). (b) entre el 28 de marzo y el 1 de abril (tormenta S2), y (c) entre el 1 y el 8 de abril (tormenta S3).

CONCLUSIONES

Se ha estudiado la respuesta de una playa micromareal de baja energía frente a un grupo de tormentas. Para ello, se han utilizado diferentes técnicas que incluyen DGPS-RTK y muestreos batimétricos, modelización numérica y video-monitoreo. Los resultados confirman que la configuración previa al periodo de tormentas, es crucial en el comportamiento de la playa frente a la erosión. Comprobando que dos tormentas de características de oleaje muy similares, causan efectos muy diferentes en la playa dependiendo de su morfología previa. Además, la erosión y la recuperación de las playas de baja energía tienen escalas temporales distintas. Pudiéndose producir la erosión en escalas de tiempo de una tormenta (horas), y la recuperación necesitar de meses. Es lo que ocurre en Cala Millor durante el periodo de estudio. El uso de las herramientas multiplataforma que se han expuesto en este estudio, ayuda a realizar una toma de decisiones satisfactorias, basándose en datos fiables.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración IMEDEA-SOCIB. Los autores reconocen el apoyo financiero de MINECO/FEDER a través de proyectos MORFINTRA/MUSA (CTM2015-66225-C2-2-P). Verónica Morales-Márquez es financiada por un contrato FPI del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

REFERENCIAS

- Frazer, L. N., Anderson, T. R., y Fletcher, C. H. (2009): Modeling storms improves estimates of long-term shoreline change. *Geophys. Res. Lett.*, 36.
- Gómez-Pujol, L., Orfila, A., Alvarez-Ellacuría, A., y Tintoré, J. (2011): Controls on sediment dynamics and medium-term morphological change in a barred microtidal beach (Cala Millor, Mallorca, Western Mediterranean). *Geomorphology*, 132: 87–98.
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R. J., y Corfee-Morlot, J. (2013): Future flood losses in major coastal cities. *Nat. Clim. Change*, 3: 802–806.
- Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., y Aarninkhof, S. (2018): The State of the World's Beaches. *Scientific reports*, 8.
- Nieto, M. A., Garau, B., Balle, S., Simarro, G., Zarruk, G. A., Ortiz, A., Tintoré, J., Álvarez-Ellacuría, A., Gómez-Pujol, L., y Orfila, A. (2010): An open source, low cost video-based coastal monitoring system. *Earth Surf. -Proc. Land.*, 35: 1712–1719.
- Roelvink, D., Reniers, A., van Dongeren, A., van Thiel de Vries, J., McCall, R., y Lescinski, J. (2009): Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coast. Eng.*, 56: 1133–1152.
- Semeoshenkova, V. y Newton, A. (2015): Overview of erosion and beach quality issues in three Southern European countries: Portugal, Spain and Italy. *Ocean Coast. Manage.*, 118: 12–21.
- Simarro, G., Ribas F., Alvarez, A., Guillén, J., Chic, Ó., y Orfila, A. (2017): ULISES: an open source code for extrinsic calibrations and planview generations in coastal video monitoring systems. *J. of Coast. Res.*, 33, 5: 1217-1227.
- Yepes, V. y Medina, J. R. (2005): Land use tourism models in Spanish coastal areas, A case study of the Valencia region. *Journal Coastal Research.*, 49: 83–88.