

Inundación de las playas de Barcelona durante temporales

Flooding events during storms in Barcelona beaches

A. Sancho-García, J. Guillén, E. Ojeda y D. Piccardo

Departamento de Geología Marina. Instituto de Ciencias del Mar, CMIMA-CSIC. Paseo Marítimo de La Barceloneta, 37-49, 08003. Barcelona, España. amandasancho@msn.com, jorge@icm.csic.es, ejeda@icm.csic.es, daniло_piccardo@hotmail.com

Resumen: Los fenómenos de inundación en la costa durante temporales pueden causar daños severos a las estructuras costeras y son un factor de riesgo que debe ser cuantificado para una correcta gestión del medio litoral. La mayor parte de las observaciones existentes sobre los procesos de inundación en playas se han realizado durante eventos de gran magnitud, asociados a largos períodos de retorno, pero son escasas las medidas sistemáticas durante eventos intermedios. En el presente trabajo se cuantifica la inundación de tres playas de la ciudad de Barcelona durante ocho temporales ($H_s \geq 3,4$ m) ocurridos durante el período 2001 a 2007. En cada evento, se determinó la posición de la línea de costa cada hora mediante el empleo de imágenes de vídeo, desde las horas previas al inicio del temporal hasta unas horas después de que hubiese remitido. Estas observaciones se compararon con las predicciones de inundación obtenidas mediante cálculos teóricos basados en la altura de ola, el nivel del mar y la pendiente de la playa. En la mayoría de los eventos las observaciones y las estimaciones teóricas presentaron tendencias similares. Sin embargo, en algunos eventos la correlación entre ambos datos fue baja debido a que los modelos teóricos sencillos utilizados no consideran una serie de procesos determinantes, como los mecanismos de rotación o la erosión durante los temporales. En consecuencia, la capacidad predictiva de estos modelos es limitada.

Palabras clave: temporales, inundación de playas, video-monitorización, Barcelona.

Abstract: *Flooding events in the coast during stormy conditions can produce severe damage to coastal structures and they are a risk factor that should be considered for a correct coastal management. Most of present day observations of flooding events correspond to catastrophic events with long recurrence periods, but few data are available dealing with flooding of beaches during intermediate (yearly) storms. In this paper, flooding is quantified in three Barcelona beaches for the eight heaviest storms ($H_s \geq 3,4$ m) that occurred from 2001 to 2007. In each event the shoreline was mapped hourly, with a video system, from the previous hours to the storm to some hours after it has abated. These observations were compared with the results obtained by an expression which includes wave height, beach slope and sea level. In most events similar tendencies between observations and empirical results were observed. In some events, however, the predictive capacity of the model used was very limited because it does not take into account some determining processes as beach rotation mechanisms and erosion during storms.*

Key words: storms, beach flooding, video-monitoring, Barcelona

INTRODUCCIÓN

La zona litoral está expuesta a una serie de riesgos naturales, entre los que destacan los debidos a la erosión y a los fenómenos de inundación del área emergida de la playa. La inundación tiene lugar cuando el nivel del mar excede su nivel medio e inunda un tramo de la costa. El ascenso del nivel marino en la playa (*runup*) está asociado a las condiciones de oleaje (*setup* y *swash*) en combinación con las modificaciones del nivel del mar debidas a fenómenos meteorológicos o astronómicos (mareas).

Las mayores catástrofes causadas por la inundación de las zonas costeras se asocian a la acción de los tsunamis que, afortunadamente, no son habituales en nuestras costas. Sin embargo, fenómenos de inundación de menor escala son muy frecuentes y pueden llegar a producir graves daños en las infraestructuras costeras

(ej. paseos marítimos) o en áreas ocupadas por actividades humanas o de interés ecológico. La zona costera potencialmente afectada por fenómenos de inundación suele definirse a partir de la utilización de modelos empíricos que incorporan criterios morfológicos e hidrodinámicos. Sin embargo, debido a que se trata de un proceso habitualmente rápido y de corta duración, las observaciones cuantitativas sistemáticas de este fenómeno son escasas.

En este trabajo se cuantifica la inundación de la zona emergida que se produce durante los temporales en algunas playas de la ciudad de Barcelona utilizando imágenes de vídeo. Estas observaciones se comparan con las estimaciones teóricas de la inundación costera basadas en la utilización de modelos al uso. Los resultados permiten evaluar la aplicabilidad de esta aproximación teórica a las playas de Barcelona.

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende tres playas encajadas de la ciudad de Barcelona: Barceloneta, Somorrostro y Nova Icaria. (Fig. 1). La playa de Nova Icaria tiene una longitud de 400 m y presenta fuertes pendientes ($\tan\beta=0,14$). La playa de Somorrostro tiene pendientes mucho más suaves ($\tan\beta=0,08$) y una extensión aproximada de 450 m. Por último, La Barceloneta tiene una longitud de 1100 m de longitud, y su pendiente media es de 0.10.



FIGURA 1. Localización de las playas de La Barceloneta, Somorrostro y Nova Icaria.

METODOLOGÍA

La metodología seguida es la siguiente:

1. Condiciones de oleaje: para determinar los temporales de máximo interés se utilizaron dos bases de datos de oleaje diferentes. Para los eventos entre 2001 y 2003 se emplearon los datos del modelo Wana de Puertos del Estado. A partir de 2004, se utilizan los datos medidos por la boya de Barcelona perteneciente a la Red Costera de Boyas de puertos del Estado. De un total de 10 temporales con $H_s \geq 3,4$ m se analizaron ocho de ellos considerando abarcar diferentes características en cuanto a duración y procedencia: noviembre y diciembre 2001, mayo 2002, octubre-noviembre 2003, abril 2004, diciembre 2005, y enero-febrero 2006.

2. Determinación de la línea de costa para cada evento mediante imágenes horarias. La imagen utilizada fue una imagen promediada ($10'$ de exposición). Para ello, se empleó el sistema de video ARGUS, que forma parte de la Estación Litoral de Barcelona (<http://elb.cmima.csic.es>). La estación Argus está formado por cinco cámaras que ofrecen una visión de la costa de 180° (Ojeda y Guillén, 2006).

3. Cálculo de las variaciones de la posición en la línea de costa utilizando las ecuaciones de Nielsen y Hanslow (1991) para el runup medio (R):

$$\bar{R} = 0.89 \cdot L_{zwm} \quad (1)$$

- $L_{zwm} = 0.05 \cdot \sqrt{H_{rms} \cdot L_o}$, si $\tan\beta < 0.10$

- $L_{zwm} = 0.6 \cdot \sqrt{H_{rms} \cdot L_o} \cdot \tan\beta_F$, si $\tan\beta \geq 0.10$

donde H_{rms} es la altura cuadrática media del oleaje, L_o la longitud de onda en aguas profundas y $\tan\beta$ es la pendiente de la playa.

Se empleó la ecuación del runup medio para permitir la comparación con los datos observacionales, ya que todas las medidas se realizaron sobre imágenes promediadas. El *runup* obtenido es el asociado al oleaje y al *swash* por lo que debe sumarse la variación del nivel de mar asociado a la marea astronómica y meteorológica medida en el mareógrafo del Puerto de Barcelona.

4. Finalmente, se calcula la variación horizontal de la línea de costa asociada al desplazamiento vertical estimado (runup y nivel marino) considerando una pendiente de playa representativa. La pendiente de cada playa se calculó a partir de una serie de campañas topográficas, con valores medios de 0,105, 0,08 y 0,14 para La Barceloneta, Somorrostro y Nova Icaria respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.- Observaciones de la inundación

La dirección predominante en los temporales analizados fue NE, con algunos casos de procedencia del S y E y con una duración desde 3 hasta 7 días. Hay que destacar que en el temporal de Noviembre de 2001, se llegaron a alcanzar alturas de ola superiores a los 5 m. En el resto de eventos, la H_s máxima durante los temporales estuvo comprendida entre 3,4 y 4,4 m. El nivel del mar durante los temporales alcanzó valores máximos de 0,34 m sobre el nivel medio. Los resultados de las observaciones indican una inundación máxima de 25 m para la Barceloneta, 45 m para la playa de Somorrostro y 40 m para Nova Icaria. Estos valores suponen que la práctica totalidad de las playas quedan inundadas durante los picos de los temporales. Este hecho debe ser considerado como un fenómeno habitual que debe ser tenido en cuenta en la gestión del medio litoral de la ciudad de Barcelona.

Un caso particular es del temporal de Diciembre de 2003 (NE, $H_s = 4,4$ m) (Fig. 2), pues se trata de un temporal de doble pico de oleaje, ambos separados por un período donde H_s fue siempre superior a 0.3 m. En este temporal se observó para cada una de las playas estudiadas una doble inundación de magnitud proporcional a la altura de ola de cada pico (Fig. 4).

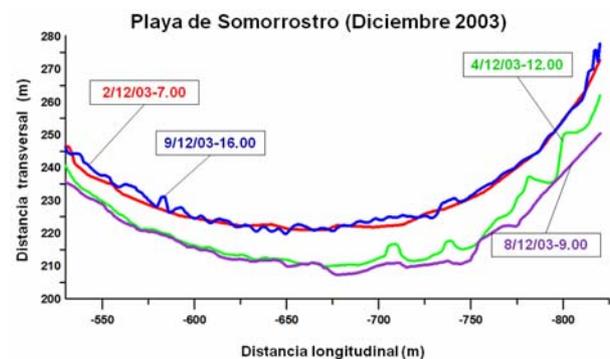


FIGURA 2. Variación de la línea de costa en la playa de Somorrostro durante el temporal de Diciembre de 2003. El temporal se inició el día 2 y finalizó el día 9. Los dos máximos de inundación tuvieron lugar los días 4 y 8.

Al tratarse de playas encajadas, la inundación no se manifiesta de forma homogénea a lo largo de la playa, sino que está condicionada por diversos factores (la dirección del oleaje, la difracción en los espigones, la pendiente y orientación de la playa, etc.). Las playas más encajadas (Somorrostro y Nova Icaria), presentan un comportamiento diferencial más acusado y que varía para cada dirección de procedencia del oleaje. Así, para un oleaje del NE, los dos extremos de la playa experimentan la máxima inundación, mientras que para un oleaje del S, se produce una inundación mayor en el extremo norte.

En la playa de la Barceloneta (más abierta), la inundación es más homogénea a lo largo de la playa y para cualquier procedencia del oleaje. Se observa que la inundación es menor en el extremo norte (zona de mayor pendiente y más abrigada) que en el resto de la playa.

2.- Estimación teórica de la inundación

Los resultados de la ecuación de Nielsen y Hanslow (1991) indican valores máximos de $runup$ de 2,13 m, 1,7 m y 3,02 m para La Barceloneta, Somorrostro y Nova Icaria respectivamente. Una vez incluida la variación asociada al nivel del mar y teniendo en cuenta la pendiente media de cada playa los desplazamientos en la horizontal de la línea de costa son de aproximadamente 25 m para todas las playas.

La comparación entre los valores estimados a partir de la ecuación y los observados en cada evento ofrece coeficientes de correlación (R^2) que varían entre 0,6 y 0,85 (Fig. 3). Sin embargo, se detectan una serie de problemas en la aplicación del modelo. Uno de los principales inconvenientes es que al transformar el $runup$ calculado por el modelo a un desplazamiento horizontal no se consideran las variaciones de la línea de costa asociadas a procesos de erosión/acreción. Por ejemplo, en algunos casos las observaciones indican un considerable retroceso de la línea de costa durante el temporal (al comparar la línea de costa inicial y final) pero que coinciden con una inundación moderada según la estimación del modelo. Este hecho se explica por el efecto causado por la erosión que se produce en la playa, que favorece la inundación pero que no está incorporado en el modelo. Por este motivo se observa que los valores del modelo y los observados son semejantes al principio del temporal, pero divergen cuando se produce la erosión (o acreción) de la playa. Otro aspecto relevante es que el modelo presenta una escasa sensibilidad al determinar el desplazamiento horizontal de la inundación entre las diferentes playas, mientras que las observaciones demuestran diferencias muy significativas.

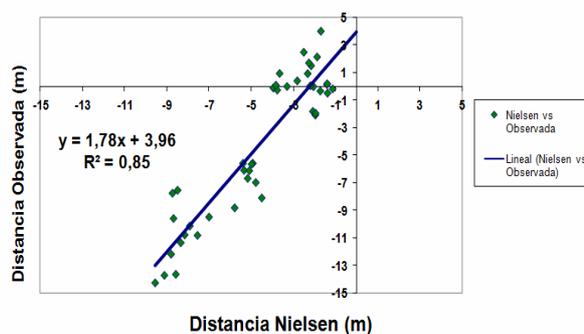


FIGURA 3. Valores de la ecuación de Nielsen, frente a los valores observados en el temporal de abril de 2004 (playa de Somorrostro) en un punto intermedio de la playa (distancias respecto a la situación de la línea de orilla antes del inicio del temporal).

CONCLUSIONES

Las playas de la ciudad de Barcelona son estrechas, de pendientes fuertes o moderadas y protegidas del oleaje por numerosas estructuras. Los procesos de inundación observados pueden afectar a más de 20 m de playa emergida durante el pico de los temporales, con valores habituales en torno a unos 10 m para temporales con períodos de retorno inferiores a 1 año. En la práctica, esto supone la inundación de gran parte de las playas de Barcelona durante los temporales. El sistema de video-monitorización es una buena herramienta para cuantificar la inundación que se produce durante los temporales y puede ser utilizado para la gestión de riesgos en el litoral. Así mismo, esta técnica permite conocer el comportamiento de la playa frente a temporales de diferentes características.

La utilización de modelos sencillos para predecir la inundación de las playas de Barcelona da una orientación aceptable sobre la magnitud relativa del fenómeno, aunque los problemas inherentes a las simplificaciones necesarias para la aplicación de tales modelos hacen desaconsejable su uso, al menos en este caso, como una herramienta de gestión. En concreto, las simplificaciones adoptadas que habría que corregir para mejorar el carácter predictivo del modelo son:

- No se incluye un modelo de desplazamiento de la línea de costa por procesos de erosión/acreción.
- Se considera una pendiente de playa media y constante en el tiempo.
- No se incluye el efecto diferencial a lo largo de la playa de las condiciones hidrodinámicas y morfología causados por la presencia de estructuras de defensa.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se enmarca dentro del proyecto PUDEM (REN2003-06637-C02) financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología. La primera autora disfrutó de una Beca de Introducción a la investigación, concedida por el CSIC. El trabajo de E. Ojeda ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología a través de un contrato FPU y el de D. Piccardo por una beca Leonardo.

REFERENCIAS

Nielsen, P., Hanslow, D.J., (1991): Wave runup distributions on natural beaches. *Journal of Coastal Research* 7 (4), 1139-1152.

Ojeda, E., Guillén, J. (2006): Monitoring beach nourishment based on detailed observations with video measurements. *Journal of Coastal Research*, SI 48: 100-106.

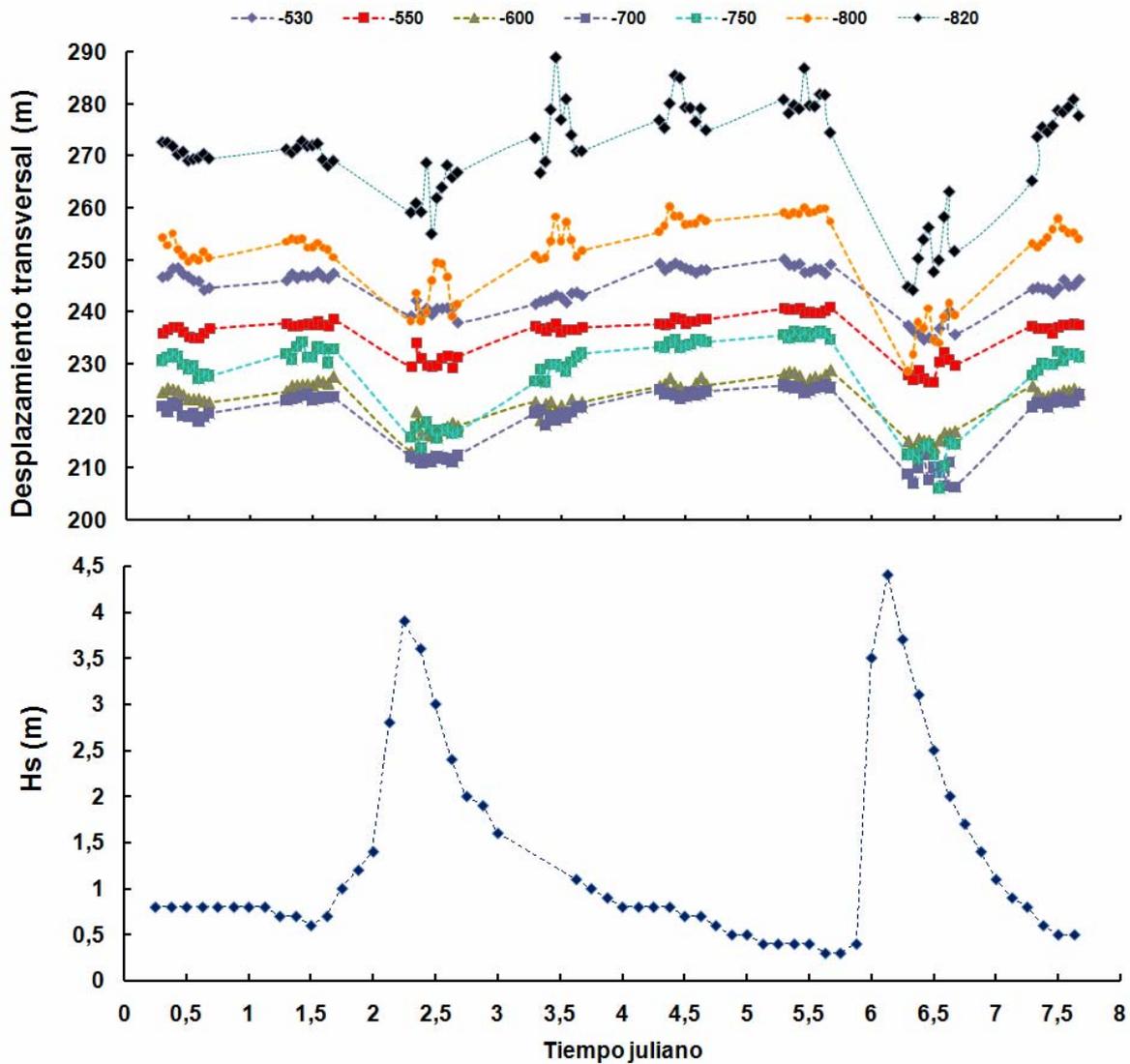


FIGURA. 4. Arriba: Evolución de la posición de la línea de costa a lo largo de diferentes puntos de la playa de Somorrostro durante el temporal de doble pico de Diciembre de 2003. Abajo: serie temporal de la altura de ola durante el mismo temporal.