

*Cambios morfológicos en
barras sumergidas de
playas artificiales*

Elena Ojeda Casillas

Jorge Guillén Aranda

Francesca Ribas Prats

Institut de Ciències del Mar-CSIC

Barcelona

CAMBIOS MORFOLÓGICOS EN BARRAS SUMERGIDAS DE PLAYAS ARTIFICIALES

Elena Ojeda Casillas
Jorge Guillén Aranda
Francesca Ribas Prats

RESUMEN: Se analizan los cambios morfológicos que experimentan las barras sumergidas de dos playas artificiales de la ciudad de Barcelona durante un período de tres años. Los desplazamientos transversales de las barras alcanzaron más de 50 m, con tasas máximas de migración hacia mar de 5 m/día y hacia tierra de 3 m/día que ocurren asociadas a determinados temporales. La configuración en planta de la barra puede estar estrechamente relacionada con la línea de costa, especialmente cuando se desarrollan dos cúspides en una de las playas que favorecen la generación de una configuración «crescéntrica» (oscilante) de la barra durante más de un año. Aunque se trata de playas artificiales, el comportamiento de las barras es equivalente al descrito en playas naturales.

PALABRAS CLAVE: formas longitudinales y rítmicas, monitorización con video, playas encajadas.

ABSTRACT: The morphological changes in submerged bars on two artificial beaches in the city of Barcelona (Spain) were analysed during a three-year period. The cross-shore migration of the bars reached up to 50 m, with maximum seaward migration rates of 5 m/day and landward migration rates of 3 m/day. A relationship between bar and shoreline position, which consisted in two megacusps attached to the submerged bar that maintained its structure for more than a year, was observed. Although the beaches are artificial, bar behaviour was analogous to that of natural beaches.

KEY WORDS: Longitudinal and crescentic shapes, video monitoring, embayed or pocket beaches.

1. Introducción

Las playas de la ciudad de Barcelona fueron creadas en el marco del frente marítimo de la ciudad proyectado con motivo de los Juegos Olímpicos de 1992. Son playas limitadas por espigones que han sido regeneradas artificialmente los años 1991, 2002 y 2006. Las playas de Bogatell y la Barceloneta flanquean el Port Olímpic de Barcelona y en ambas se desarrolla fre-

cientemente una barra de arena que va cambiando su configuración en respuesta a los temporales y las actuaciones humanas. Basándose en las observaciones llevadas a cabo desde noviembre de 2001 a diciembre de 2004 estas playas pueden clasificarse como playas intermedias (*Wright y Short, 1984*) con un estado morfodinámico que varía entre «longshore bar and trough», «rhythmic bar and beach» y «transverse bar and rip».

El presente estudio trata de caracterizar la configuración y variabilidad morfológica de las barras de arena de las playas de la Barceloneta y Bogatell y su relación con la línea de costa utilizando un sistema de vídeo monitorización del tipo ARGUS.

2. Zona de estudio

Barcelona se encuentra localizada en el Mediterráneo occidental, una zona micro-mareal (rango de marea < 0.20 m), donde el principal factor hidrodinámico que afecta a las playas son los temporales. Debido a la orientación de las playas, las tormentas más importantes son las de Levante (Este), más frecuentes entre Octubre y Abril. El análisis estadístico de los datos de oleaje medidos en la zona entre 1984 y 2004 muestra valores medios de la altura de ola significativa de 0.70 m, con alturas significativas máximas de 4.61 m y alturas máximas de 7.80 m. El periodo medio en este intervalo fue de 4.29 segundos con periodos medios máximos de 11.50 segundos (Gómez *et al.*, 2005).

Las principales diferencias entre las dos playas de estudio están relacionadas con su longitud, (1100 m en la Barceloneta y 600 m en Bogatell) y su orientación (la Barceloneta: N20°E y Bogatell: N38°E). Se trata de dos playas con una barra de arena sumergida y que se encuentran confinadas entre espigones perpendiculares a la costa, exceptuando el espigón Sur de la playa de la Barceloneta que es un espigón en forma de L (Fig. 1). Las dos batimetrías disponibles durante el periodo de estudio fueron realizadas en Octubre y Noviembre de 2003 mediante una ecosonda integrada con un dGPS de alta precisión. Los dos perfiles mostrados en la figura 1 prueban otra de las diferencias en la playa sumergida: mientras La Barceloneta presenta una barra desarrollada, la de Bogatell es una terraza.

Durante el periodo de estudio las playas fueron regeneradas artificialmente en el verano de 2002, como consecuencia de los importantes temporales que ocurrieron entre octubre de 2001 y mayo de 2002 así como del corto periodo de recuperación del que disponían las playas al haberse alargado tanto la temporada de tormentas. La playa de La Barceloneta se rellenó solo en su zona norte, con algo menos de 40.000 m³ de arena, mientras que en Bogatell se vertieron más de 70.000 m³ distribuidos a lo largo de toda la playa (Ojeda y Guillén, 2006).

Se trata de playas compuestas de arenas con cierta proporción de gravas en el caso de La Barceloneta. El tamaño del sedimento es el resultado de la mezcla entre el sedimento usado en la creación de las playas (1988-1992) y el de la regeneración llevada a cabo en el verano de 2002. El tamaño medio de grano (D_{50}) en la playa emergida es de 0.68 mm, mientras que las granulometrías llevadas a cabo en muestras tomadas sobre la barra de la playa de la Nova Mar Bella (playa encajada localizada al Norte de Bogatell) dan valores medios de D_{50} de 0.31 mm.

3. Métodos

Las playas fueron monitoreadas entre noviembre de 2001 y enero de 2005 usando un sistema de vídeo ARGUS (Holman *et al.*, 1993) localizado a 142 m de altura frente al Puerto Olímpico de Barcelona (Fig. 1). Se utilizaron imágenes promediadas a lo largo de 10 minutos (1 imagen/segundo) para obtener la línea de costa y la ubicación de las barras, que se refleja en las imágenes por la rotura del oleaje que generan.

Los datos de oleaje han sido obtenidos de la boya del Llobregat, perteneciente a la Red de Instrumentación Oceanográfica y Meteorológica (XIOM) de la Generalitat de Catalunya. Se trata de una boya escalar fondeada a unos 45 m de profundidad.

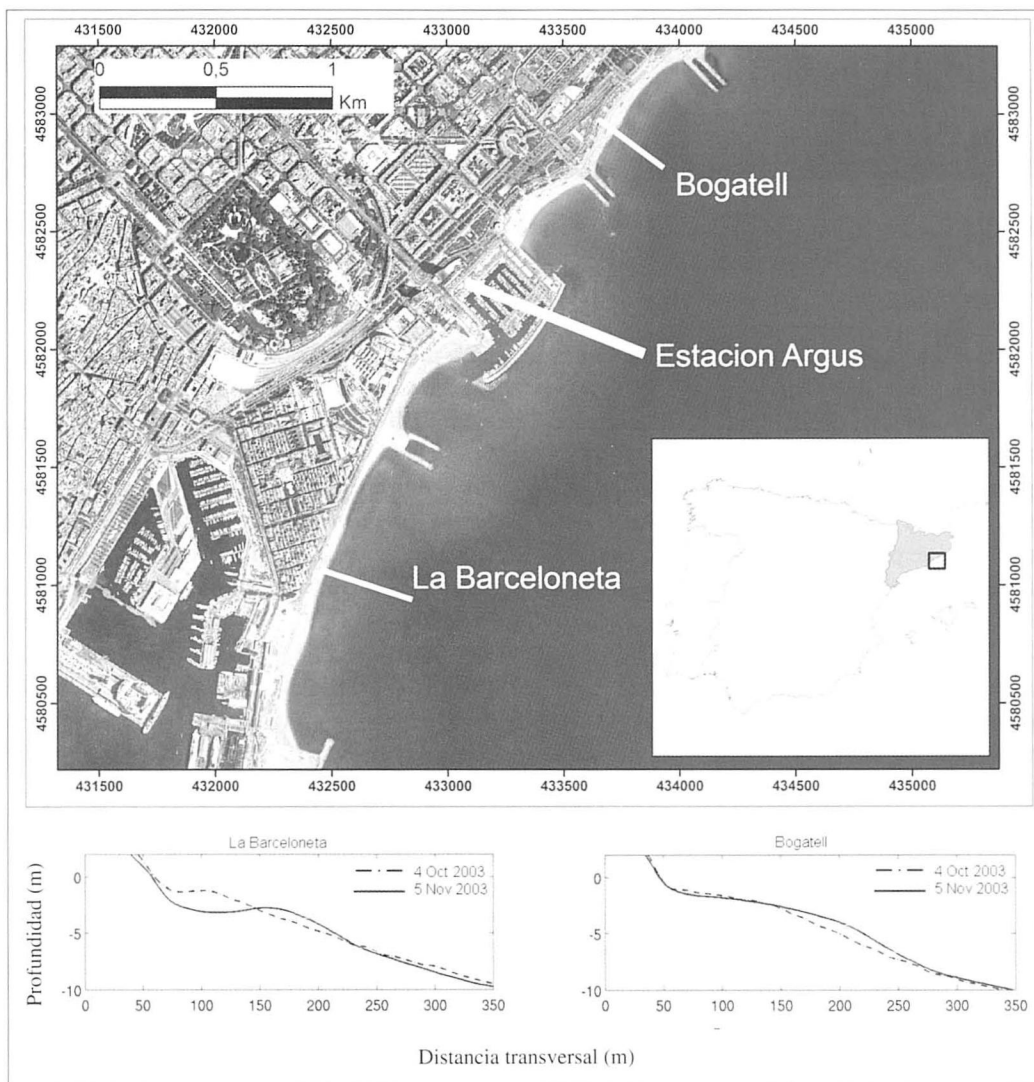


Figura 1. Área de estudio (Fuente de la ortofoto: Instituto Cartográfico de Cataluña, tomada en 2004). Las líneas blancas perpendiculares a las playas indican la localización de los perfiles batimétricos de la parte inferior de la figura, que muestran las características de las barras. Profundidad referida al nivel medio de marea en Barcelona.

La detección de las barras está restringida a un determinado rango de condiciones de oleaje, aproximadamente H_s entre 0.75 y 2.0 m, siendo 0.75 la altura de ola mínima necesaria para detectar un patrón de rotura claro en las imágenes. La posición se deter-

mina automáticamente utilizando el programa BLIM (Bar Line Intensity Maximum) desarrollado por la Universidad de Utrecht, que está basado en la determinación de la posición de máxima intensidad asociada a la rotura.

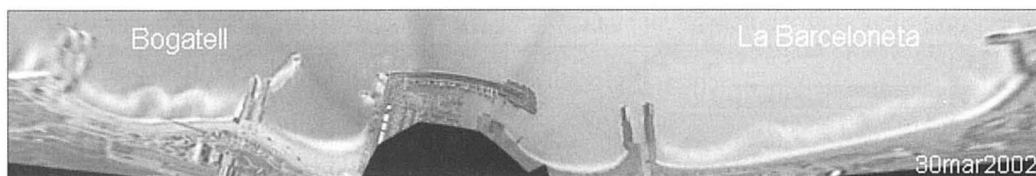


Figura 2. Imagen *planview* resultante de la combinación de las fotografías de las cinco cámaras corregidas geográficamente.

Las líneas de costa se evaluaron teniendo en cuenta una selección de imágenes con un intervalo entre 1 y 15 días, en función del contenido energético del oleaje y de la proximidad de intervenciones humanas. No se muestrea en días de tormenta para evitar el error que produciría la sobre-elevación del nivel del mar asociada al oleaje, causando una erosión aparente.

Para referenciar las barras y las líneas de costa a un mismo sistema y corregir el efecto de la curvatura de la playa se utilizó una línea de costa de referencia, definida para cada playa como la curva ajustada a la posición media de la playa durante el periodo de estudio, desde la que se calcularon distancias perpendiculares.

Con los datos obtenidos se han realizado dos tipos de análisis: 1) considerando un comportamiento uniforme de la barra a lo largo de toda la playa, de tal forma que la posición de toda la barra se representa como la posición en un punto del perfil transversal, y 2) considerando la disposición general de la barra, donde es posible determinar rotaciones o el comportamiento diferencial de algunos sectores de la barra durante eventos específicos.

En el estudio del comportamiento uniforme a lo largo de la playa se utilizaron solo los datos dentro de un rango de 1 m de H_s (entre 0.75 y 1.75 m en Bogatell y entre 0.90 y 1.90 m en La Barceloneta) para reducir la migración aparente causada por cambios en la altura de ola. El procedimiento seguido

para calcular las tasas de migración perpendiculares a costa fue el siguiente: 1) se seleccionaron las imágenes previas y posteriores al temporal que fueran consistentes con las imágenes consecutivas y 2) se asume que las barras no se mueven de manera significativa con alturas de ola menores a 0,75 m, por lo que el intervalo de tiempo entre las dos imágenes se multiplicó por el porcentaje de tiempo en que H_s permaneció por encima de 0,75 m. La tasa de migración es el resultado de dividir el desplazamiento entre el tiempo potencial de movimiento de la barra. Según van Enckevort y Ruessink (2003) estos valores de migración pueden interpretarse como valores promedios en una escala temporal semanal y son menores que los valores reales de migración ya que el intervalo de tiempo utilizado es siempre mayor que la duración de la tormenta.

Para analizar la disposición general de la barra se utilizaron todos los datos disponibles, sin tener en cuenta la H_s . Se consideran barras crecécnicas aquellas con tres o más ondulaciones, cuando el número de oscilaciones sea menor hablaremos de protuberancias hacia el mar (por ejemplo, ver vista en planta de la playa de La Barceloneta en la Fig. 2).

4. Resultados y discusión

La posición media de las barras de arena promediada durante el periodo de estudio

presenta una cierta oblicuidad respecto a la línea de costa en ambas playas, con el extremo norte prácticamente unido a la playa emergida (Fig. 3). Los máximos en la desviación típica a lo largo de ambas playas están relacionados con la formación de estructuras crescénticas en las barras mientras

que la variabilidad de las líneas de costa es menor y presenta un comportamiento similar en ambas playas, con los máximos localizados en los extremos (Fig. 3). En la Barceloneta, además, hay máximos en posiciones centrales (450 y 750 m) asociados a la formación de megacúspides.

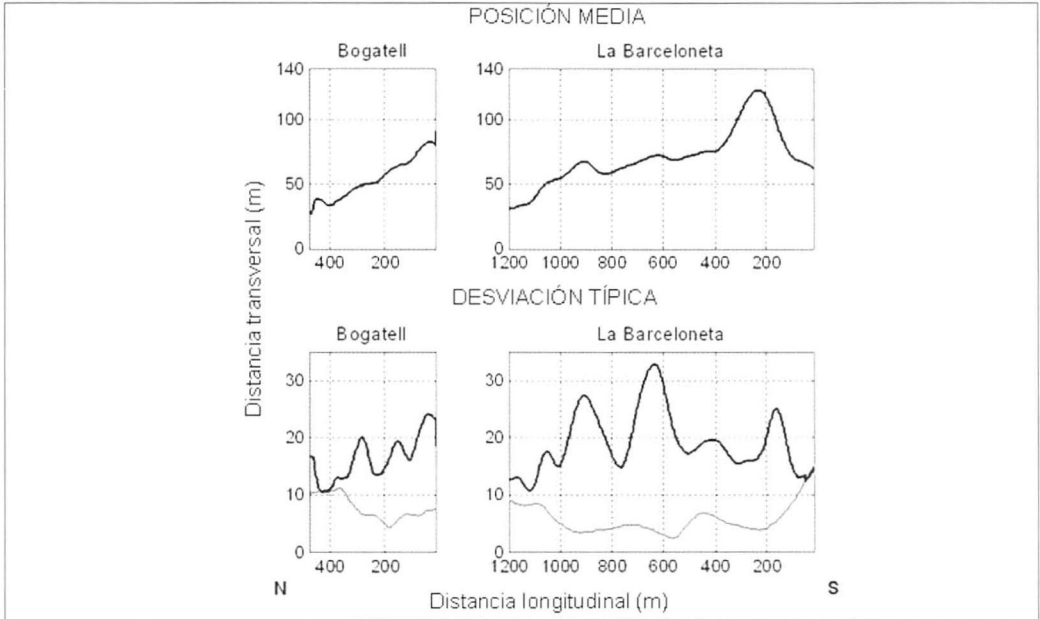


Figura 3. (a) Posición media de la cresta de la barra y (b) desviación típica de la línea de costa (línea gris) y de la cresta de la barra (línea negra) en Bogatell y la Barceloneta durante el período analizado.

La distancia entre la posición media de la barra y de la línea de costa no es constante a lo largo del periodo de estudio y varía de una playa a otra. Las migraciones de las barras hacia mar y hacia tierra, calculadas a partir de los datos de la posición media de la barra, son congruentes en ambas playas en la mayoría de los casos y se producen como respuesta a temporales. Las Tablas I y II presentan los resultados encontrados para los cinco eventos más relevantes. En general, en

la playa de la Barceloneta, si se considera una altura de ola significativa (H_s) creciente, el comportamiento de la barra evoluciona desde una situación de no-migración, a migración hacia tierra y, finalmente, migración hacia la plataforma durante los temporales más energéticos. En la playa de Bogatell este comportamiento tiene su excepción en el Evento 4 donde, con la menor altura de ola (1.21 m), se obtiene la mayor migración hacia mar de esta playa.

Las tasas de migración transversal (negativas hacia la playa) durante los eventos analizados oscilan entre +7.2 y -3.0 m/día y +6.4 y -4.1 m/día en la Barceloneta y Bogatell

respectivamente, con desplazamientos máximos de 70 m. Estas tasas de migración son similares a las observadas en playas naturales (van Enckevort y Ruessink, 2003).

Tabla I. Tasas de migración transversal y desplazamientos calculados en la Barceloneta para los episodios de temporales más relevantes. (Datos negativos indican direcciones hacia la playa).

	<i>Hs</i> (m)	Línea de costa	Barra		
		Dirección de la migración	Desplazamiento (m)	Duración (días)	Tasa de (m/día) migración
Evento 1	1.78	Hacia mar	69.8	9.7	7.2
Evento 2	1.56	Hacia tierra	-26.1	8.8	-3.0
Evento 3	1.65	Hacia mar	14.0	9.3	1.5
Evento 4	1.24	Sin migración	-22.1	20.5	-1.1
Evento 5	1.82	Sin migración	32.7	9.3	3.5

Tabla II. Tasas de migración transversal y desplazamientos calculados en Bogatell para los episodios de temporales más relevantes. (Datos negativos indican direcciones hacia la playa).

	<i>Hs</i> (m)	Línea de costa	Barra		
		Dirección de la migración	Desplazamiento (m)	Duración (días)	Tasa de (m/día) migración
Evento 1	1.53	Hacia mar	32.7	15.8	2.1
Evento 2	1.35	Hacia tierra	-26.8	6.6	-4.1
Evento 3	1.21	Sin migración	36.9	5.8	6.4
Evento 4	1.35	Hacia tierra	-32.9	19.4	-1.7
Evento 5	1.74	Hacia tierra	18.3	11.3	1.6

La disposición general de la barra y la línea de costa en la Barceloneta y Bogatell se presentan en las figuras 4 y 5, respectivamente. En la playa de la Barceloneta, la evolución de la línea de costa puede separarse en una serie de estadios diferenciados; el primero es debido al temporal de noviembre de 2001 (Evento 1), que causó

una rotación de la playa con un avance de la línea de costa en la zona sur y erosión en el norte. Esta configuración fue cambiada por la regeneración artificial de la zona norte de la playa, que dio lugar a una disposición de la playa que se mantuvo por algo más de siete meses, después de los cuales una serie de temporales dejaron la playa con una zona

erosionada al norte y acrecida en el sur (tercer estadio). Finalmente, a partir de octubre de 2003, se formaron dos megacúspides estables en la zona central de la playa con regiones erosionadas a sus costados. Se trató de una morfología estable que no experimentó migraciones importantes durante todo el año restante.

Respecto a la configuración de la barra, el elemento más representativo es la protuberancia que se desarrolla en el extremo sur de la playa y que permanece prácticamente inalterable durante todo el período de estudio

(Fig. 2 y 4). Probablemente se formó durante el temporal de Noviembre de 2001 y con posterioridad no ha tenido lugar ningún otro evento capaz de modificarla. A finales de 2001 una segunda forma crecscéntica aparece en la barra de la Barceloneta, que migra lentamente hacia la playa y que posteriormente (verano 2002) es parcialmente destruida por la regeneración artificial. A mediados del año 2003, la barra de la Barceloneta adopta una configuración crecscéntica, con dos regiones próximas a la playa que coinciden con el desarrollo de las dos megacúspides.

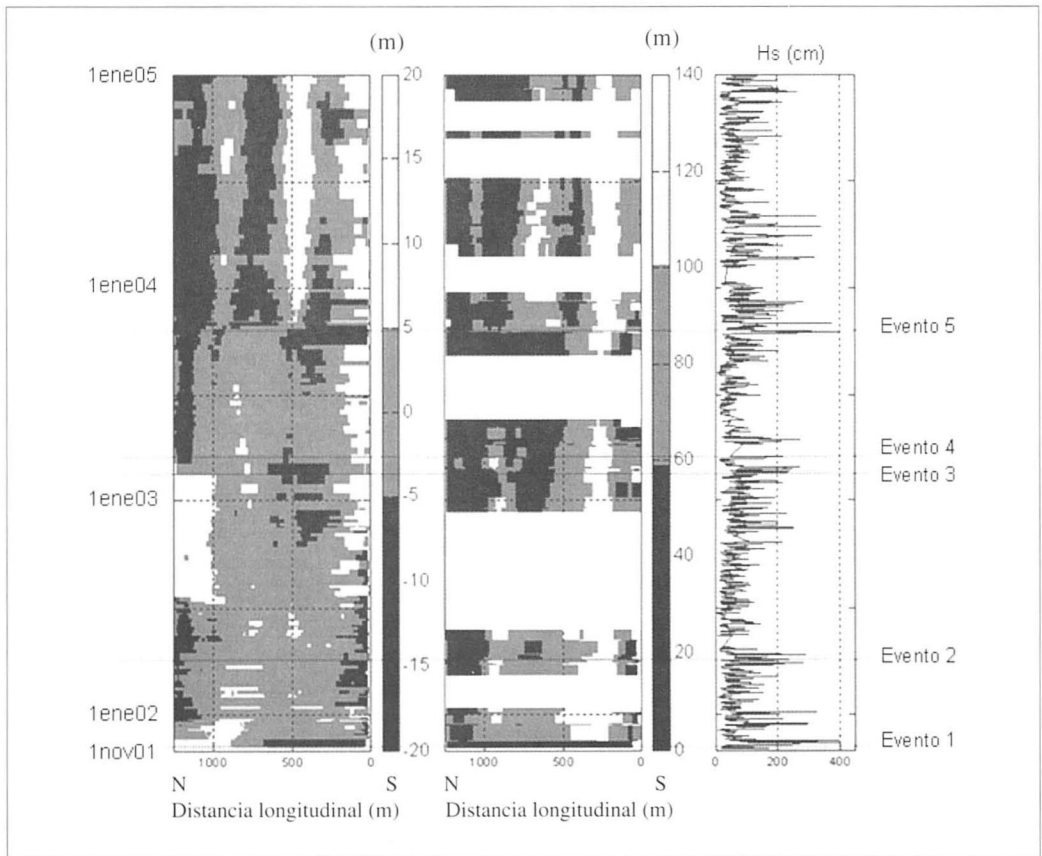


Figura 4. Distancia de la línea de costa (izquierda) y de la barra (centro) respecto a la línea de costa de referencia en la Barceloneta. Tonos oscuros representan posiciones hacia tierra y claros hacia mar. Las bandas blancas indican periodos sin datos de la barra.

En la playa de Bogatell el temporal de noviembre de 2001 (Evento 1) tuvo un efecto similar al de La Barceloneta, produciendo un basculamiento de la playa con un avance de la línea de costa en la zona sur. En este caso la respuesta a la erosión fue una regeneración artificial a lo largo de toda la playa. El efecto de la regeneración fue más evidente, se vertieron unos 70.000 m³ de arena y la línea de costa avanzó una media de 20 m en la playa. Después de la regeneración la arena se distribuyó a lo largo de la playa con cierto retroceso de la línea de costa en la zona sur de la playa y un avance en la zona norte. Después de esta reorganización y al mismo tiempo que en la playa

de la Barceloneta, se produjo la erosión de la arena vertida en la regeneración y la formación de una de las megacúspides más grandes y duraderas en esta playa que desaparece en octubre de 2003 debido a un temporal (Evento 5).

Los cambios en la configuración en planta de la barra de Bogatell desde una morfología rectilínea a una ondulada son más frecuentes que en La Barceloneta y tienen una longitud de onda típica de unos 175 m. Estos cambios pueden estar relacionados con la morfología de las barras ya que, el perfil transversal de la barra de Bogatell se asemeja más a una terraza que a una barra (Fig. 3).

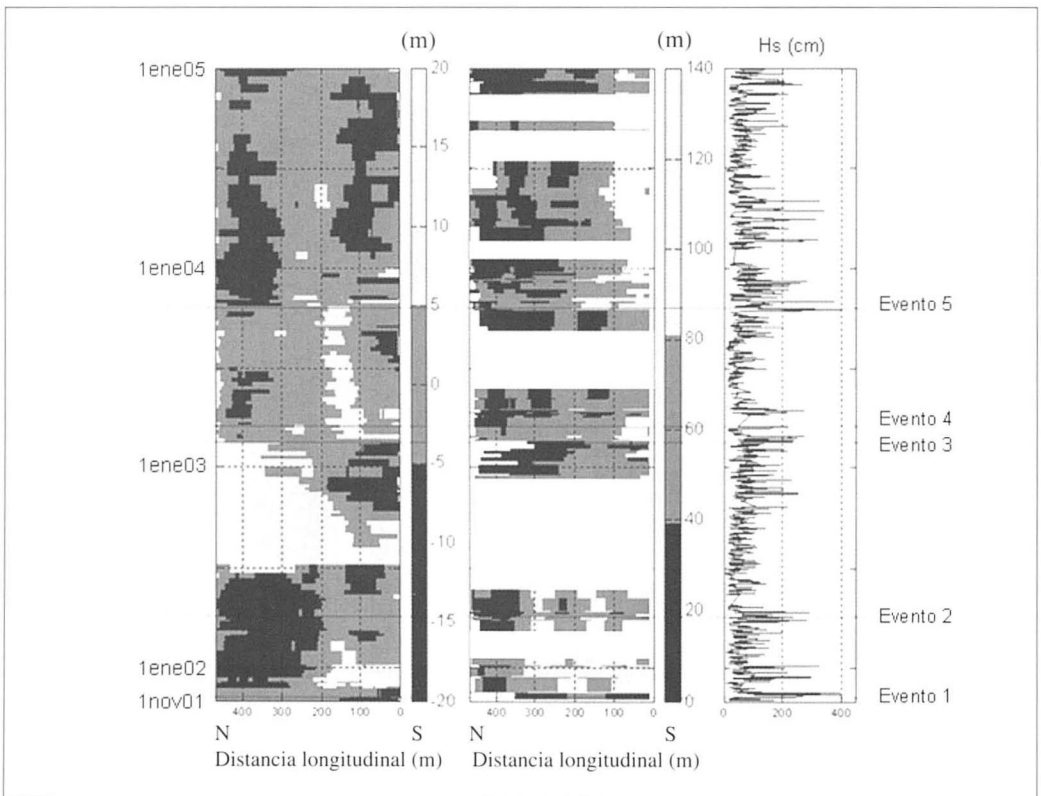


Figura 5. Distancia de la línea de costa (izquierda) y de la barra (centro) respecto a la línea de costa de referencia en Bogatell. Tonos oscuros representan posiciones hacia tierra y claros hacia mar. Las bandas blancas indican periodos sin datos de la barra.

5. Conclusiones

La variabilidad espacial de las barras muestra una configuración oblicua en ambas playas, con las secciones Norte localizadas más cercanas a la playa en concordancia con la corriente longitudinal predominante en la zona, que produce un transporte de sedimentos hacia el Sur. En el caso de la línea de costa, la máxima variabilidad está asociada a procesos de basculamiento de las playas, aunque la presencia de megacúspides en el caso de La Barceloneta y la regeneración en Bogatell también juegan un papel importante en esta variabilidad.

Los desplazamientos de la barra y la línea de costa promediados longitudinalmente no muestran relación a lo largo del periodo de estudio, encontrándose, por ejemplo, migraciones de la barra hacia el mar tanto si la orilla migra hacia mar como si migra hacia tierra o no presenta migración. Tampoco se ha encontrado similitud al comparar la distancia entre la línea de costa y la barra en ambas playas; pero sí se ha observado un comportamiento análogo en las dos playas respecto a las migraciones hacia costa o alejándose de costa como respuesta a los mismos temporales.

Además se observa un aumento en la sinuosidad de la barra asociado a la erosión del sedimento regenerado en verano de 2002.

En definitiva, los cambios morfológicos en los sistemas de barras observados en las playas de la ciudad de Barcelona son similares a los descritos para playas naturales, por lo que los procesos sedimentarios que controlan la formación y evolución de los sistemas de barras deben ser equivalentes. En este sentido, las playas de Barcelona pueden ser utilizadas como un laboratorio a gran escala para el estudio de los procesos sedimentarios y el modelado de sistemas morfodinámicos costeros.

6. Agradecimientos

Este estudio se ha realizado en el marco del proyecto PUDEM (REN2003-06637-C02-01/MAR) financiado por el ministerio de Educación y Ciencia. E. Ojeda y F. Ribas disfrutaron de una beca FPU y un contrato «Juan de la Cierva» respectivamente. Se agradece al Dr. Gerben Ruessink de la Universidad de Utrecht por suministrar el software BLIM.

Bibliografía

- GÓMEZ, J., ESPINO, M., PUIG-DEFABREGAS, J. y JEREZ, F. (2005): Xarxa d'Instrumentació Oceanogràfica I Meteorològica de la Generalitat de Catalunya (XIOM). Boies d'onatge dades obtingudes l'any 2004. Informe Técnico.
- HOLMAN, R. A., SALLENGER, Jr. A. H., LIPMANN, T. C. y HAINES, J. W. (1993): The application of video image processing to the study of nearshore processes. *Oceanography*, nº 6, págs. 78-85.
- OJEDA, E. y GUILLÉN, J. (2006): Monitoring beach nourishment based on detailed observations with video measurements. *Journal of Coastal Research*, Special Issue, nº 48, págs. 100-106.
- VAN ENCKEVORT, I. M. J. y RUESSINK, B. G. (2003): Video observations of nearshore bar behaviour. Part 1: alongshore uniform variability. *Continental Shelf Research*, nº 23, págs. 501-512.
- WRIGHT, L. D. y SHORT, A. D. (1984): Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, nº 56, págs. 93-118.