

OBSERVACIONES DE BARRAS DE ARENA TRANSVERSALES EN LA PLAYA DE NOORDWIJK (HOLANDA) USANDO EL SISTEMA DE CÁMARAS ARGUS

F. Ribas¹, A. Kroon²

¹ Instituto de Ciencias del Mar (CMIMA-CSIC), Psg. Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona, Spain, ribas@cmima.csic.es

² Geografisk Institut, Københavns Universitet, Øster Voldgade 10, 1350 København K, Denmark, ak@geogr.ku.dk

INTRODUCCIÓN

La batimetría de la zona de rompientes de las playas puede ser muy compleja, no sólo debido a la frecuente presencia de barras de arena longitudinales (acumulaciones de sedimento paralelas a la línea de costa), sino también a la presencia de estructuras batimétricas con irregularidades de gran escala en la dirección longitudinal (Komar, 1998). Los sistemas de barras de arena transversales son un ejemplo de este tipo de estructura irregular a escalas de decenas a centenares de metros. Las barras transversales son acumulaciones de sedimento unidas a la costa y que se prolongan a lo largo de la zona de rompientes con una orientación perpendicular o oblicua respecto a la línea de costa. Las zonas de las barras que están unidas a la costa pueden emerger y mostrar características muy parecidas a los puntos cuspidales. Episódicamente se observan sistemas de barras transversales con un espaciado bastante regular, sin la presencia simultánea de ningún fenómeno hidrodinámico externo con espaciados similares que pueda forzar el sistema.

Existen diversos trabajos publicados donde se describen cualitativamente sistemas periódicos de barras transversales en playas naturales (Komar, 1998), pero en muy pocos se cuantifica realmente este fenómeno geofísico. Destaca el trabajo de Konicki y Holman (2000), donde se cuantifican por primera vez sistemas de barras transversales observados en la playa de Duck (U.S.A.). Se analizan 10 años de imágenes obtenidas con video-cámaras ARGUS, describiendo la estadística de presencia de barras, su espaciado característico y su dinámica. Se detectan barras transversales en la zona de rompientes interna un promedio de 16 días al año, con un espaciado promedio de 79 m. Las barras persisten durante periodos que van desde un día a dos meses. La velocidad de migración también se mide, obteniendo valores de hasta 40 metros por día. El trabajo de Konicki y Holman (2000) también muestra medidas batimétricas para confirmar que la señal detectada en las imágenes de video corresponde con barras de arena reales.

Debido en parte al desconocimiento de este fenómeno a nivel experimental, no existe un modelo físico consensuado que permita explicar la formación, evolución y desaparición de estas estructuras batimétricas periódicas. En la última década, la mayor parte de los trabajos publicados que abordan la formación y evolución de barras transversales están basados en procesos de 'auto-organización' en los que el oleaje incidente, las corrientes de la zona de rompientes y el fondo erosionable interaccionan de manera no lineal (Garnier *et al.*, 2006; van Leeuwen *et al.*, 2006; Calvete *et al.*, 2005; Klein *et al.*, 2005; Ribas *et al.*, 2003; Caballeria *et al.*, 2002; Falqués *et al.*, 1996; Christensen *et al.*, 1995). En ellos se demuestra que existen procesos de 'auto-organización' en la zona de rompientes que pueden explicar la formación y la migración de sistemas periódicos de barras transversales. Sin embargo, estudios más recientes revelan que algunos aspectos continúan abiertos. En particular, algunas de las características de las barras como su velocidad de migración, su forma o la circulación de

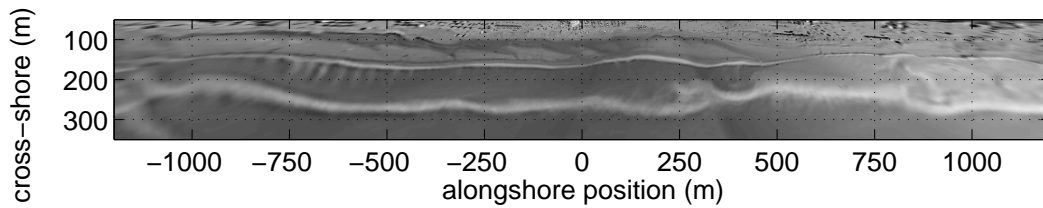


Figura 1. Imagen 'timex' rectificada de Noordwijk del 26 de Agosto del 2002 a las 12 h. Un sistema de 8 barras transversales se pueden observar en $x = 180$ m. y $y = [-775, -400]$ m.

agua asociada pueden depender de la descripción usada para el transporte de sedimento y la evolución del oleaje (van Leeuwen *et al.*, 2006; Klein *et al.*, 2005; Jiao y Oskan-Haller, 2005; Ribas *et al.*, 2005). Para comprender la dinámica del sedimento en la zona de rompientes es necesario obtener más observaciones experimentales cuantitativas de barras transversales, para así poder estudiar mejor los procesos físicos responsables de este fenómeno.

El objetivo de esta comunicación es profundizar en el estudio de los procesos físicos responsables de los sistemas periódicos de barras de arena oblicuas en la zona de rompientes, a través de la cuantificación de sus características y su dinámica en la playa de Noordwijk (Holanda) y del análisis del oleaje observado durante su presencia.

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio es la playa de Noordwijk aan Zee (Holanda), que forma parte de los 120 km. ininterrumpidos de playa arenosa y recta de la costa holandesa. El tamaño de grano medio es de 0.17 mm. El análisis de una serie de mapas batimétricos anuales (JARKUS data set, desde 1964) revela la presencia de dos barras longitudinales paralelas a la costa superpuestas a un perfil promedio suave de 1:150 (van Enckevort *et al.*, 2004).

Las condiciones de oleaje y marea se han medido en la boya Meetpost Noordwijk (MPN), localizada en frente de Noordwijk a 18 m. de profundidad. Las fluctuaciones debidas a la marea se han medido cada 10-minutos y la altura cuadrática media de las olas (H_{rms}), su periodo de pico (T_{peak}) y el ángulo de incidencia del oleaje respecto a la normal a la costa (θ) se han registrado cada hora. Durante los seis años analizados el oleaje muestra un periodo promedio de $T_{peak} = 5.7$ s. y una altura de $H_{rms} = 0.76$ m. La altura de ola presenta una variación estacional, con valores ligeramente mayores en otoño e invierno (Octubre-Marzo, $H_{rms} = 0.88$ m.) que en primavera y verano (Abril-Setiembre, $H_{rms} = 0.61$ m.). El oleaje es predominantemente oblicuo, ya sea del NNW ($\theta = 39^\circ$) o del SW ($\theta = -47^\circ$). La marea es semidiurna y muestra un rango promedio de 1.4 m.

En Setiembre del 1998 se instalaron cinco video-cámaras ARGUS en el tejado de un hotel en frente de la playa de Noordwijk, que cubren 3 km. de zona de rompientes en la dirección longitudinal. En este trabajo se han analizado casi 6 años de datos, desde el 17 de Setiembre del 1998 hasta el 21 de Julio del 2004. Las cámaras han funcionado correctamente durante casi todo el periodo, con sólo diez interrupciones técnicas de menos de 9 días y una única interrupción de 49 días, que ocurrió en Junio y Julio del 2003.

METODOLOGÍA

Promediando todas las imágenes obtenidas con una video-cámara durante 10 minutos se obtiene una imagen 'timex'. Para cada hora, las imágenes 'timex' de las cinco cámaras se rectifican y se juntan en una única imagen rectificada, usando una malla de 1 m. x 1 m. La

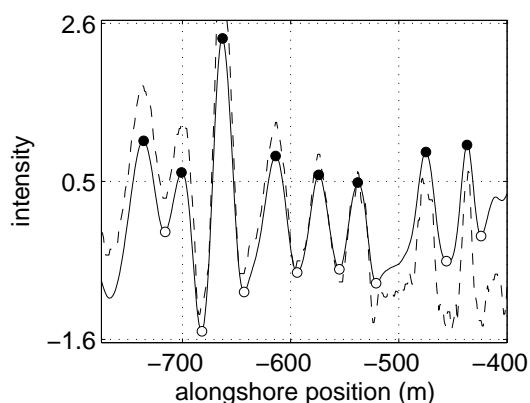


Figura 2. Transecto de intensidad de grises de la imagen del 26 de Agosto del 2002 a las 12 h., localizado en $x = 180$ m. y $y = [-775, -400]$ m. (es decir, sobre el sistema de barras que se puede ver en la figura 1. La línea discontinua muestra la intensidad de grises del transecto y la línea continua es la intensidad normalizada y filtrada, con los picos (círculos rellenos) y los valles (círculos vacíos) detectados.

figura 1 muestra un ejemplo de imagen 'timex' rectificada del día 26 de Agosto del 2002 a las 12 h., en la que los patrones de rotura del oleaje (franjas blancas) son una señal de la presencia de barras de arena. En la misma figura se puede observar un sistema de 8 barras transversales, superpuestas a las barras longitudinales características de la costa holandesa.

Cuando se observan sistemas de 3 o más barras transversales espaciadas regularmente, se analizan en detalle su espaciado y su dinámica. Para ello, se estudia la intensidad de grises de la imagen en un transecto colocado longitudinalmente sobre el sistema de barras. Antes de poder extraer las características de las barras es necesario normalizar y filtrar el ruido de la señal de intensidad. La línea continua de la figura 2 corresponde a la intensidad de grises del transecto localizado en $x = 180$ m. y $y = [-775, -400]$ m., es decir sobre las barras de la imagen de la figura 1. La línea discontinua de la misma gráfica es la intensidad obtenida después de normalizarla y filtrar el ruido. En los transectos de intensidad filtrados se localizan los picos y los valles, sujetos a la condición que la diferencia de intensidad entre un pico y un valle colindantes verifique $I_{diff} > (\bar{I} + 0.5 \sigma_I)$ (donde \bar{I} y σ_I son la media y la desviación estándar de I en el transecto). Esta condición asegura que pequeñas oscilaciones temporales no sean detectadas como barras transversales. En la figura 2 se pueden ver los picos y valles detectados en la imagen del 26 de Agosto del 2002.

Para cada día en el que se detecta un sistema de 3 o más barras, se calculan los promedios del número de barras (N_{bar}) y del espaciado entre los picos y los valles localizados (λ_d), así como su desviación estándar (σ_{λ_d}). El coeficiente de variación del espaciado se define como la media dividida entre la desviación estándar. La velocidad de migración diaria se evalúa haciendo un análisis de correlaciones cruzadas entre los transectos de intensidad de los días consecutivos con sistemas barras (los detalles están explicados en van Enckevort *et al.*, 2004). Sólo se conservan las tasas de migración que provienen de una correlación mayor que 0.7.

Un 'evento de barras' se define como varios días consecutivos con un sistema de 3 o más barras detectado en una posición similar. Si la cantidad total de barras detectadas durante todos los días de un cierto evento es mayor que 16, lo consideramos un 'buen evento de barras'. Seguidamente, se calcula la cantidad de días y de barras asociadas a los eventos (N_{day}^{te} y N_{bar}^{te}) y a los buenos eventos (N_{day}^{ge} y N_{bar}^{ge}). En muchas imágenes en las que tenemos

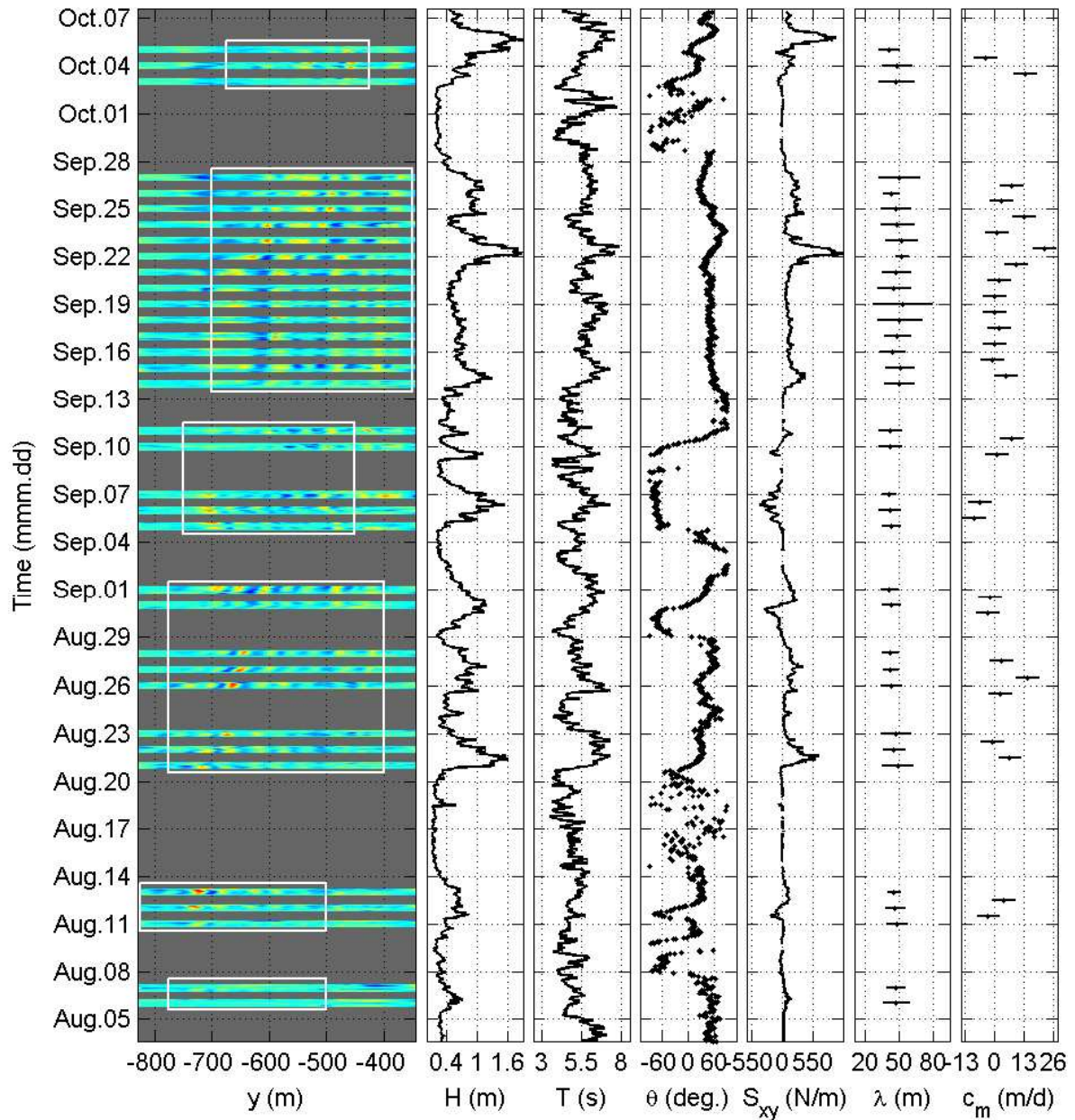


Figura 3. Diagrama de evolución temporal del evento detectado del 6 de Agosto al 5 de Octubre del 2002. Se muestran (de izquierda a derecha) las líneas de intensidad filtradas cada hora, $I(t, y)$, la H_{rms} , T_{peak} y θ medidas en la boya, la componente longitudinal del tensor de radiaciones, S_{xy} , y el espaciado, λ_d , y la velocidad de migración, c_m , medidos los días en los que se detectan barras. En la evolución temporal de las intensidades, el rojo corresponde a valores altos de intensidad (picos) y el azul a valores bajos (valles). Las bandas grises horizontales corresponden a horas sin luz o a días con altura de ola demasiado baja para poder detectar las barras. Las líneas horizontales en las gráficas de λ_d y c_m representan la σ_{λ_d} y la incertidumbre de medida, respectivamente.

barras, éstas no se pueden detectar debido a que el nivel de marea es demasiado elevado o bien a que la altura de ola es demasiado baja para tener rotura encima de las barras. Esto se soluciona parcialmente usando siempre las imágenes durante bajamar. En estas condiciones, la altura de ola mínima que permite detectar barras es $H_{rms}^{thr} = 0.35$ m. De los 6 años

Tabla 1. Resultados globales de presencia de barras y duración de los eventos: número total de días con imágenes (N_{day}^{im}), número de días con imágenes y con altura de ola mayor que 0.35 m. (N_{day}^{co}), cantidad total de eventos detectados (N_{te}) y número de días y de barras asociadas a los eventos (N_{day}^{te} y N_{bar}^{te}). Las últimas tres cantidades se presentan también para los buenos eventos (N_{ge} , N_{day}^{ge} y N_{bar}^{ge}).

N_{day}^{im}	N_{day}^{co}	N_{te}	N_{day}^{te}	N_{bar}^{te}	N_{ge}	N_{day}^{ge}	N_{bar}^{ge}
2012	1417	81	251	1394	29	157	931

del estudio, se calcula el número de días con altura de oleaje mayor que 0.35 m. (N_{day}^{co}) y entonces se puede obtener el porcentaje de tiempo con presencia de barras respecto el tiempo con buenas condiciones para la detección,

$$P_{dwc}^{te} = \frac{N_{day}^{te}}{N_{day}^{co}} 100 \quad . \quad (1)$$

Finalmente, se calcula la componente longitudinal del tensor de radiaciones asociado al oleaje, S_{xy} , que es una indicación de la corriente inducida en la zona litoral,

$$S_{xy} = \frac{\rho g}{16} H_{rms}^2 \sin\theta \cos\theta \quad , \quad (2)$$

donde ρ es la densidad del agua y g es la aceleración de la gravedad.

RESULTADOS

Un sistema de 5 a 8 barras transversales que se puede detectar desde el 6 de Agosto hasta el 5 de Octubre del 2002 se muestra como ejemplo de buen evento. Este sistema de barras, que se observa claramente en la figura 1, reaparece en las imágenes durante casi dos meses en $x = 180$ m. e $y = [-800, -350]$ m., siempre que la altura de ola es mayor que 0.35 m. El transecto de intensidad correspondiente al 26 de Agosto del 2002 a las 12 h. se presenta en la figura 2. Los 8 picos y los 8 valles están localizados cada 42 metros aproximadamente. El diagrama de evolución temporal de este evento se puede ver en la figura 3. Se muestran (de izquierda a derecha) las líneas de intensidad filtradas cada hora ($I(t, y)$), la altura de ola (H_{rms}), el periodo (T_{peak}), el ángulo de incidencia respecto a la normal a la costa (θ , valores positivos significan oleaje del NW) y la componente longitudinal del tensor de radiaciones (S_{xy} definido en la ecuación 2). Los últimos paneles muestran el espaciado (λ_d) y la velocidad de migración (c_m , valores positivos representan barras migrando hacia el S), medidos los días en los que se detectan barras. En el diagrama de intensidades, el rojo corresponde a valores altos de intensidad (picos) y el azul a valores bajos (valles). La alternancia horizontal de bandas rojas y azules muestra la presencia de barras transversales mientras que un desplazamiento global de las bandas en y refleja la migración de las barras en la dirección longitudinal (por ejemplo del 21 al 23 de Setiembre). Las bandas grises horizontales corresponden a horas sin luz o a días con altura de ola demasiado baja para poder detectar las barras. Las líneas horizontales en las gráficas de λ_d y c_m representan la desviación estándar σ_{λ_d} y la incertidumbre de medida (5 m. en esta zona), respectivamente.

Como se puede ver en la figura 3, el espaciado entre barras es relativamente constante durante los dos meses, variando de 41 a 53 m. El sistema de barras migra a velocidades de -6 a 22 m/día. Una primera inspección de las tasas de migración durante este evento revela

Tabla 2. Estadística global de los valores diarios que caracterizan los sistemas de barras y el oleaje durante los días con presencia de barras. Se presentan la media y la desviación estándar del espaciado, λ , del módulo de la velocidad de migración, $|c_m|$, y de las condiciones de oleaje (H_{rms} , T_{peak} y $|\theta|$).

	λ (m)	$ c_m $ (m/d)	H (m)	T (s)	$ \theta $ ($^\circ$)
Mean	40	4.9	0.74	5.6	50
Std	13	-	0.36	0.8	20

un acuerdo cualitativo entre c_m y S_{xy} , tanto en magnitud como en signo. El signo de θ se ha elegido tal que las olas incidentes del NW (SW) dan lugar a un valor positivo (negativo) de S_{xy} . Parece que tales olas dan lugar a un valor de c_m positivo (negativo), por consiguiente esperamos una correlación positiva entre c_m y S_{xy} . El promedio de altura cuadrática media de ola, periodo de pico y módulo del ángulo de incidencia durante este acontecimiento es $H_{rms} = 0.55$ m., $T_{peak} = 5.3$ s. y $|\theta| = 45^\circ$.

La tabla 1 resume los resultados globales de presencia de barras y duración de los eventos. El número total de días con imágenes durante los 6 años es $N_{day}^{im} = 2012$, excluyendo los periodos con problemas técnicos en las cámaras. El número de días con imágenes y con altura de ola mayor que 0.35 m. es $N_{day}^{co} = 1417$. Se han seleccionado 81 eventos de sistemas periódicos de más de 3 barras, con un promedio de 4.5 barras y una duración promedio de 3.1 días. La cantidad total de días con barras es $N_{day}^{te} = 251$, que representa un 18% del tiempo con imágenes y buenas condiciones de oleaje (P_{dwc}^{te} definido en la ecuación 1). El número total de barras detectado es $N_{bar}^{te} = 1417$. Entre los eventos encontrados hay 29 buenos eventos (con un promedio de 5 barras y una duración de 5.4 días). La cantidad total de días con buenos eventos es $N_{day}^{ge} = 157$ y el número total de barras durante esos eventos es $N_{bar}^{te} = 931$.

El promedio diario del espaciado de los sistemas de barras detectados durante los 6 años varía de 21 a 79 m. Promediando los valores de toda la serie de datos se obtiene $\lambda_d = 40$ m. y $\sigma_\lambda = 13$ m., es decir el coeficiente de variación es $\sigma_\lambda/\lambda_d = 33\%$. La tabla 2 presenta la media y la desviación estándar de los valores diarios que caracterizan los sistemas de barras y el oleaje durante los días con presencia de barras. La media del valor absoluto de la velocidad de migración es $|c_m| = 4.9$ m/día (con un valor máximo de 26 m/día).

Las condiciones de oleaje en los días con presencia de barras se caracterizan por olas de altura media ($H_{rms} = 0.74$ m.) e incidencia oblicua, con un valor absoluto del ángulo de incidencia de 50° (ver la tabla 2). Los dos paneles superiores de la figura 4 muestran los histogramas de altura de ola y de ángulo de incidencia durante los 6 años analizados. Los dos paneles intermedios de la misma figura son los histogramas de oleaje durante los días con presencia de barras. Los cambios en la distribución del ángulo son especialmente relevantes, con una selección clara de los valores grandes (ver los picos en -70° y 45°). Hay muy pocos valores del ángulo cercanos a zero comparado con los paneles superiores. Finalmente, los dos paneles inferiores muestran las características de las olas un día después de la finalización de los eventos, con predominio de oleaje normal a la costa.

El espaciado de los sistemas de barras encontrados no está correlacionado con ninguna de las magnitudes derivadas del oleaje. En cambio, la figura 5 confirma la correlación positiva entre c_m y S_{xy} que se ha sugerido anteriormente. En el panel superior se muestran todos los datos de tasa de migración obtenidos durante los 6 años. Aunque la alineación es evidente,

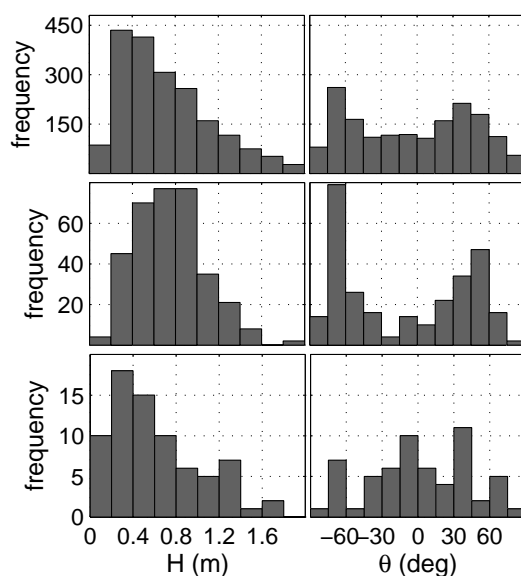


Figura 4. Histogramas de altura de ola (H_{rms}) y de ángulo de incidencia (θ). Paneles superiores: condiciones durante los 6 años analizados. Paneles intermedios: condiciones durante los días con presencia de barras. Paneles inferiores: condiciones un día después de la finalización de los eventos.

el coeficiente de correlación correspondiente no es muy elevado, $r^2 = 0.54$. Algunos factores que pueden explicar la variabilidad en las tasas de migración medidas son los errores de medida, los fenómenos de 'splitting' y 'merging' (característicos de los sistemas dinámicos) y la influencia de la configuración a gran escala de la batimetría subyacente. El aumento significativo del coeficiente de correlación cuando se estudian sólo las tasas de migración del año 2002 (panel inferior de la figura 5, con un coeficiente de $r^2 = 0.69$), refleja la importancia de la batimetría subyacente. La mayor parte de los valores de c_m durante ese año pertenecen a un mismo evento, el que se ha mostrado en la figura 3, y por lo tanto las barras transversales correspondientes están superpuestas a una batimetría muy parecida.

COMPARACIÓN CUALITATIVA CON MODELOS

Los valores de espaciado obtenidos no contradicen los resultados de los modelos teóricos que predicen la formación de sistemas periódicos de barras transversales (Garnier *et al.*, 2006; van Leeuwen *et al.*, 2006; Calvete *et al.*, 2005; Klein *et al.*, 2005; Ribas *et al.*, 2003; Caballeria *et al.*, 2002; Falqués *et al.*, 1996; Christensen *et al.*, 1995).

Por ejemplo, Calvete *et al.* (2005) predicen que uno de los modos lineales morfodinámicos de las playas con barras longitudinales es un sistema de barras transversales unidas a la costa y con un espaciado regular de pocas decenas de metros. Sin embargo, el oleaje usado en ese artículo incide perpendicularmente a la costa y los sistemas de barras no migran con lo que la comparación con los resultados de Noordwijk, donde el ángulo de incidencia es elevado, no es muy adecuada.

Por otro lado, Garnier *et al.* (2006) también obtienen barras transversales con espaciados de decenas de metros usando un modelo no lineal aplicado a una playa plana y con incidencia oblicua del oleaje. Los valores obtenidos para la velocidad de migración son significativamente mayores que los valores detectados en Noordwijk. Para ángulos de incidencia de 50° el modelo

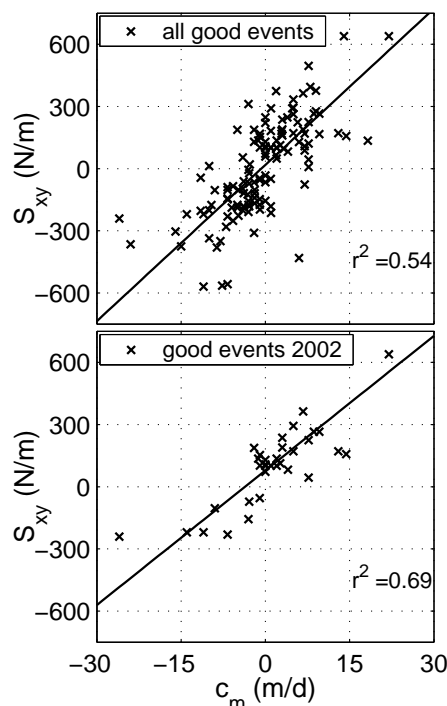


Figura 5. Correlación entre las tasas de migración (c_m) y la componente longitudinal del tensor de radiaciones (S_{xy}), medido en la boya. Panel superior: valores obtenidos durante los 6 años, con un coeficiente de correlación de $r^2 = 0.54$. Panel inferior: valores obtenidos durante el año 2002, con un coeficiente de correlación de $r^2 = 0.69$.

predice tasas de migración del orden de 100 m/día, mientras que en Noordwijk los mayores valores detectados son del orden de 25 m/día. Sin embargo, a diferencia de este último modelo, las barras transversales de Noordwijk aparecen superpuestas a un sistema de 2 barras longitudinales. Para poder comparar cuantitativamente los resultados de Noordwijk con los de los modelos teóricos es necesario aplicarlos a las condiciones específicas de esta playa (batimetría y oleaje).

CONCLUSIONES

La batimetría de la zona de rompientes de la playa de Noordwijk se caracteriza por una presencia significativa de sistemas periódicos de barras de arena transversales, superpuestos a las barras longitudinales características de la costa holandesa. Estos sistemas de barras transversales consisten en diversas acumulaciones de sedimento que empiezan en la costa, se prolongan a lo largo de la zona de rompientes y tienen un espaciado longitudinal regular.

Durante los 6 años analizados, hay 1417 días con imágenes y con altura de ola suficiente para tener rotura significativa sobre las barras y en 251 de estos días se han detectado sistemas de barras transversales (18% del tiempo). Se han encontrado 81 eventos con un promedio de 4.5 barras y una duración media de 3.1 días. El espaciado medio es de 40 metros, con un coeficiente de variación del 33%. Los sistemas de barras migran con una tasa promedio de 4.9 m/día y un valor máximo de 26 m/día. Las condiciones de oleaje durante los eventos se caracterizan por olas de altura intermedia e incidencia oblicua. Valores del ángulo de incidencia mayores de 45° y relativamente constantes durante más de un día son necesarios para la formación y la persistencia de los sistemas de barras.

No se ha encontrado ninguna relación entre el espaciado y las condiciones de oleaje. En cambio las velocidades de migración muestran una correlación positiva con la componente longitudinal del tensor de radiaciones, es decir las barras migran en la dirección de la corriente longitudinal inducida por el oleaje incidente. Sin embargo, los valores de los coeficientes de correlación no son muy elevados debido a los errores de medida de las tasas de migración y al efecto de la batimetría subyacente.

Los valores de espaciado obtenidos por los modelos teóricos que describen la formación de sistemas periódicos de barras transversales están en el mismo orden de magnitud que los medidos en Noordwijk. Sin embargo, algunos de estos modelos predicen tasas de migración demasiado elevadas.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de F. Ribas está subvencionado por el gobierno español a través del 'Programa Juan de la Cierva'. Los autores agradecen el apoyo económico de la Comisión Europea a través del proyecto de investigación COASTVIEW (contrato número EVK3-CT-2001-0054).

REFERENCIAS

- Caballeria, M., Coco, G., Falqués, A., Huntley, D. A., 2002. Self-organization mechanisms for the formation of nearshore crescentic and transverse sand bars. *J. Fluid. Mech.*, 465, 379–410.
- Calvete, D., Dodd, N., Falqués, A., van Leeuwen, S. M., 2005. Morphological development of rip channel systems: normal and near normal wave incidence. *J. Geophys. Res.*, 110, C10006, doi: 10.1029/2004JC002803.
- Christensen, E., Deigaard, R., Fredsoe, J., 1995. Sea bed stability on a long straight coast. *Proc. 24th Int. Conf. Coastal Eng.*, 1865–1879.
- Falqués, A., Montoto, A., Iranzo, V., 1996. Bed-flow instability of the longshore current. *Cont. Shelf Res*, 16(15), 1927–1964.
- Garnier, R., Calvete, D., Falqués, A., Caballeria, M., 2006. Generation and nonlinear evolution of shore-oblique/transverse sand bars. *J. Fluid. Mech.*, aceptado.
- Jiao, H., Oskan-Haller, H.T., 2005. Generation of nearshore morphology in a combined wave-current-morphology system. *Proc. 29th Int. Conf. Coastal Eng.*, 2777–2783.
- Klein, M. D., Schuttelaars, H. M., 2005. Morphodynamic instabilities of planar beaches: sensitivity to parameter values and process formulations. *J. Geophys. Res.*, 110, F04S18, doi: 10.1029/2004JF000213.
- Komar, P.D., 1998. *Beach Processes and Sedimentation*, 2^a ed., Prentice Hall.
- Konicki, K. M., Holman, R. A., 2000. The statistics and kinematics of transverse bars on an open coast. *Mar. Geol.*, 169, 69–101.
- Ribas, F., Falqués, A., Montoto, A., 2003. Nearshore oblique sand bars. *J. Geophys. Res.*, 108, C43119, doi: 10.1029/2001JC000985.
- Ribas, F., Vis-Star, N. C., de Swart, H. E., Falqués, A., 2005. Generation of nearshore oblique sand bars: sensitivity to sand transport formulation. *Proc. 29th Int. Conf. Coastal Eng.*, 2888–2900.
- van Enckevort, I. M. J., Ruessink, B. G., Coco, G., Suzuki, K., Turner, I. L., Plant, N. G., Holman, R. A., 2004. Observations of nearshore crescentic sandbars. *J. Geophys. Res.*, 109, C06028, doi: 10.1029/2003JC002214.

van Leeuwen, S. M., Dodd, N., Calvete, D., Falqués, A., 2006. Physics of nearshore bed pattern formation under regular and random waves. *J. Geophys. Res.* *111*, F01023, doi: 10.1029/2005JF000360.