

# Análisis de perfiles de playa por medio de funciones ortogonales empíricas (método FOE) (\*)

Por R. MEDINA y M. A. LOSADA

Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente de la Universidad de Cantabria.

y R. A. DALRYMPLE

Department of Civil Engineering, University of Delaware, U.S.A.

*La enorme variabilidad espacial y temporal de las playas dificultan, a menudo, la correcta interpretación de campañas batimétricas. En este artículo se presenta una metodología basada en funciones ortogonales empíricas (método FOE), especialmente adecuada para el análisis de series de datos espacio-temporales.*

*El método es utilizado para el análisis de los datos de una campaña topográfico-batimétrica de la canal de navegación de la Bahía de Santander y playas adyacentes. La aplicación del método a los diferentes perfiles de playa así como a la variación longitudinal de la pendiente intermareal, permite la caracterización de las oscilaciones a las que esta sometida la playa así como su evaluación cuantitativa, pudiéndose, por tanto, utilizar como una herramienta de diseño.*

## INTRODUCCION

Las playas no son elementos «estáticos» del litoral, sino que constantemente modifican su forma, tanto en planta como en perfil. Estos cambios de morfología de las playas son popularmente conocidos y responden a las variaciones de diversos agentes actuantes, tales como olas, marea, viento y corrientes. Dado que dichos agentes actuantes pueden variar de un punto a otro de una playa, así como de un día para otro, nos encontramos con que las playas pueden sufrir — y, de hecho, sufren — variaciones temporales y variaciones espaciales, tanto longitudinalmente como transversalmente.

El mecanismo por el cual una playa varía su configuración es el transporte de arena de un lugar a otro. Tradicionalmente, el estudio de dicho transporte de sedimentos se ha dividido en dos modos ortogonales, esto es, independientes: Transporte longitudinal y transporte transversal o en perfil. Definiéndose transporte longitudinal como el transporte de sedimentos paralelo a la playa, y transporte transversal como el trans-

porte de sedimentos perpendicular a la misma. Esta división ha originado que históricamente, estos dos modos hayan sido analizados por separado.

En efecto, el primer intento de cuantificación del transporte longitudinal fue realizado por el Instituto Oceanográfico de Scripps (1947), si bien las bases teóricas en las que se fundamentan los actuales conocimientos del transporte longitudinal no se establecen hasta la década de los 60, con los trabajos de Bowen (1969), Longuett-Higgins y Stewart (1964). Los trabajos posteriores han aportado diversas correcciones a las formulaciones de Bowen y Longuett-Higgins, pero la base conceptual no se ha modificado sustancialmente.

En lo que se refiere al transporte transversal, este ha sido estudiado por diversos autores como, por ejemplo, Shepard y Lafond (1949), Inman y Rusnak (1956), Gorsline (1966); Bowen (1980), Dally y Dean (1984), Wright y Short (1984). La mayor parte de estos trabajos explican los mecanismos de transporte transversal y la magnitud de los cambios a los que está sometido un perfil de playa, pero distan de ser modelos cuantitativos o predictivos.

La separación del estudio de los movimientos

(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de septiembre de 1990.

de la playa en transversal y longitudinal como si éstos fueran modos ortogonales, sirve para la caracterización de ciertos elementos fundamentales y su influencia en los mecanismos de transporte, pero no representa la realidad existente, puesto que las variaciones en un perfil de playa pueden estar motivadas no sólo por el transporte transversal, sino por transporte longitudinal. Dentro de una playa encajada, por ejemplo, una variación del ángulo de incidencia del oleaje provoca una reorientación de la línea de costa de modo que unos perfiles se erosionan mientras que otros acumulan arena. Análogamente, la existencia de formaciones rítmicas (beach cusps) en una playa hace que los perfiles de playa difieran considerablemente de un punto a otro de la misma.

A estas variaciones espaciales de los perfiles de playa hay que añadir las variaciones temporales, estas variaciones están generadas, por otro lado, por procesos de largo período, como la recesión de la línea de costa en respuesta al aumento del nivel medio del mar, la respuesta del perfil a cambios hidrodinámicos aparece como instantánea. Surge, por tanto, a la hora de analizar una determinada playa, la necesidad de establecer la escala temporal en la cual realizamos dicho estudio.

Un concepto fundamental en el análisis de las variaciones de los perfiles de playa es la idea del perfil de equilibrio, concepto introducido por Bruun (1962) e Inman y Bagnold (1963). Dicho perfil de equilibrio se define como el perfil (profundidad = función de la distancia a la costa) que se mantendría constante cuando una determinada zona de costa con unas características fijas (tamaño de arena, etc.) esté solicitada por una serie de fuerzas actuantes (olas, corrientes y marea). Esto es, el perfil que no varía en el tiempo si las fuerzas actuantes permanecen constantes.

Como las zonas de playa presentan unas variaciones importantes en las fuerzas actuantes, el perfil de equilibrio puede ser entendido como un perfil medio estadístico en un plazo determinado de tiempo p.e. un año. Quiere esto decir que un método adecuado para el estudio de un perfil de playa sería la determinación del perfil medio y el examen de las desviaciones del mismo respecto a la media. De este modo, el perfil medio será un indicador de los agentes hidrodinámicos dominantes medios, mientras que las desviaciones

respecto a la media serán un indicador de las variaciones de esos agentes y otros fenómenos, como aportes de sedimentos, etc.

Análogamente a lo establecido para el perfil de playa, existe una forma en planta media de playa en respuesta a unas condiciones fijas de los agentes actuantes. Dicha forma en planta puede sintetizarse por medio de una sección longitudinal a una cota determinada (por ejemplo, media marea). El análisis de la respuesta de una determinada planta de playa puede, por tanto, reducirse al estudio de la sección longitudinal media y las desviaciones respecto a esa media.

En lo que sigue, se presenta un método eficaz para el análisis de las variaciones de la batimetría de una playa. El citado método determina una situación media y las desviaciones de dicha media.

### MÉTODOS ANALÍTICOS

La separación de la batimetría de una playa en batimetría media y desviaciones, se puede realizar por medio del método de las funciones ortogonales empíricas (FOE). Esta técnica estadística ha sido utilizada en muy diversos campos; así, Lorenz (1959) aplicó esta técnica a la predicción atmosférica; Davis (1976) a la predicción de la temperatura superficial del mar Winant, Inman y Nordstrom (1975) a la caracterización de los perfiles de playa.

Por medio del método FOE se puede analizar los perfiles de playa o de las secciones longitudinales de playa y sus variaciones tanto espaciales como temporales. Hay que señalar que el método es descriptivo y, por lo tanto, no explica los procesos que gobiernan las variaciones de las playas, si bien es capaz de evaluar variaciones de dichos procesos.

El objetivo del método FOE es representar los cambios a los que está sometido un perfil o una sección por medio del menor número de funciones ortogonales (autofunciones). Es evidente que se pueden generar muchas series ortogonales como, por ejemplo, series de Fourier; sin embargo, no existe a priori ninguna razón para sospechar que las variaciones transversales o longitudinales de playa sean sinusoidales. De hecho, hay evidencia de lo contrario, dado que la playa se erosiona rápidamente con un temporal y se recupera lentamente en períodos de calma.

# ANALISIS DE PERFILES DE PLAYA POR MEDIO DE FUNCIONES ORTOGONALES EMPRICAS

Por este motivo, se elige una serie de autofunciones empíricas, de modo que la primera función contenga la mayor parte de la varianza de los datos, definiendo varianza como media cuadrática. Las sucesivas autofunciones se eligen de modo que representen la mayor cantidad posible de la varianza remanente.

Estas funciones proporcionan la representación más densa de los datos de modo que los primeros  $n$  términos de la serie representan más de la variabilidad de los datos que los primeros  $n$  términos de cualquier otra serie ortogonal. Además, tanto las autofunciones temporales como espaciales son series ortonormales, de manera que cada modo de variabilidad, no está correlacionado con ningún otro modo.

Los fundamentos teóricos del método se desarrollan en el Apéndice 1. Como resumen, basta señalar que, por ejemplo, para el caso de un perfil de playa  $h(x, y_0, t) = h(x, t)$ , el método trata de obtener un desarrollo de los datos del modo:

$$h(x, t) = \sum_i a_i c_i(t) e_i(x)$$

donde  $a_i$  son factores de normalización,  $c_i(t)$  son autofunciones temporales,  $e_i(x)$  son autofunciones espaciales y  $h(x, t)$  son los datos del perfil (cota en el punto  $x$  para el tiempo  $t$ ). Los factores de normalización están determinados por:

$$a_i = (\lambda_i n_x n_t)^{1/2}$$

donde  $\lambda_i$  es el autovalor asociado a la  $i$ ésima autofunción,  $n_x$  es el número de puntos por perfil y  $n_t$  es el número de perfiles usados en el desarrollo.

Evidentemente, el método puede aplicarse no sólo a variaciones temporales de un perfil de playa  $h(x, y_0, t)$ , sino a variaciones temporales de secciones longitudinales de playa  $h(x_0, y, t)$  o a variaciones espaciales de perfiles de playas  $h(x, y, t_0)$ .

## AREA DE ESTUDIO Y CAMPAÑAS BATIMETRICAS

Como parte de un estudio de las condiciones

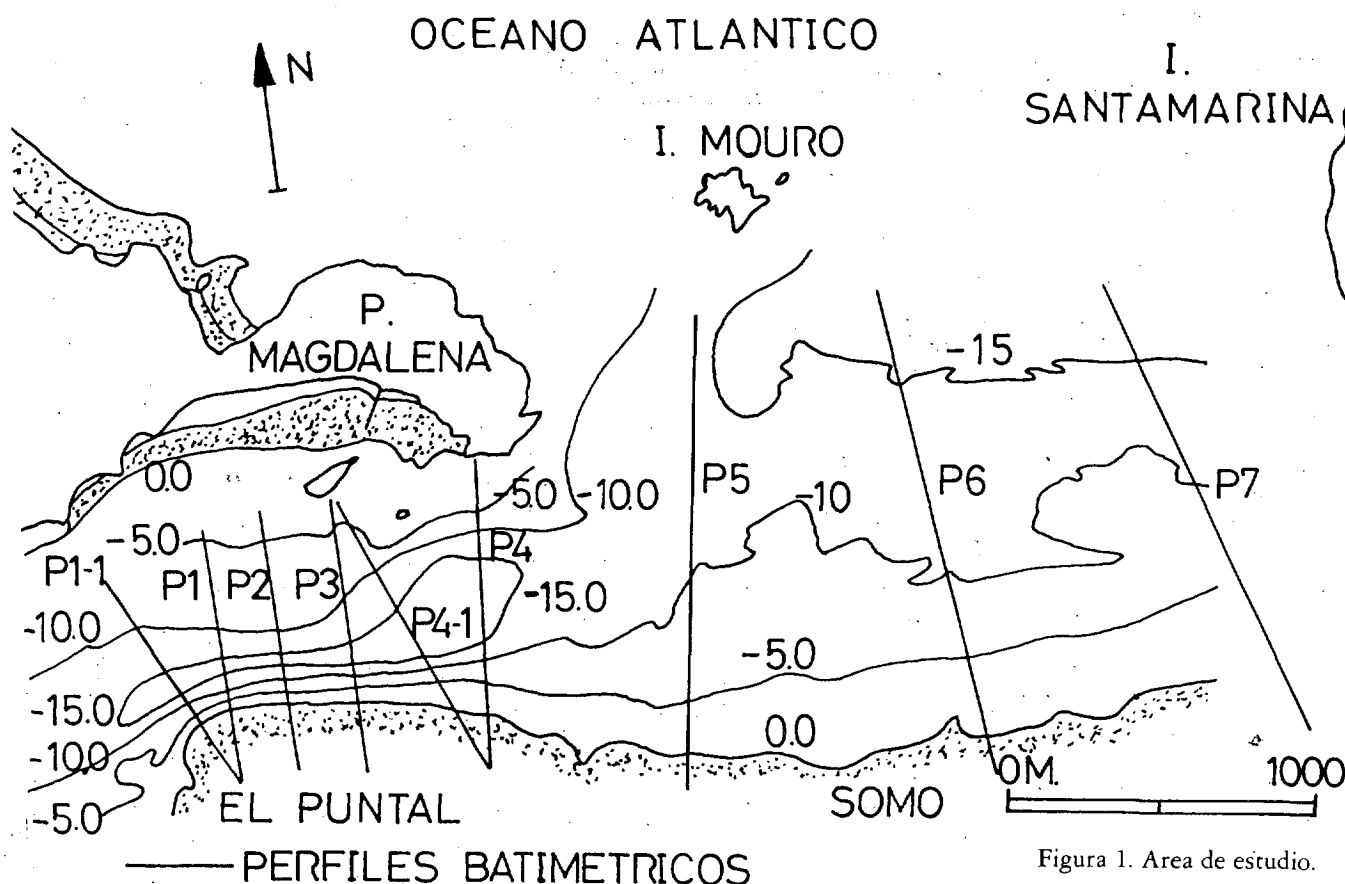


Figura 1. Area de estudio.

morfodinámicas de la canal de navegación de la Bahía de Santander, se realizó una extensa campaña topográfico-batimétrica de la canal de navegación y playas adyacentes (fig. 1).

La campaña topográfico-batimétrica consistió en la toma mensual, durante un año, de datos de 9 perfiles transversales que abarcan desde zonas interiores de canal de navegación (P1) a zonas de playa abierta (P7), ver fig. 1. El espaciamiento medio entre perfiles fue de 100 metros en la zona interior y de 500 metros en la zona exterior. Los perfiles batimétricos fueron realizados desde la zona intermareal hasta una profundidad máxima de unos 15 metros; los perfiles topográficos fueron realizados desde la zona de dunas hasta la zona intermareal, asegurando de este modo una zona de solape entre los perfiles tomados con medios marinos y los tomados con medios terrestres. Estos datos fueron almacenados en forma de matriz  $h(x, y, t)$ , donde  $x = 46$  número de puntos por perfil,  $y = 9$  número de perfiles a lo largo de la playa,  $t = 12$  número de perfiles a lo largo del tiempo.

Los datos medidos corresponden a zonas en las que existe una gran variación de los agentes actuantes. En efecto, debido a la protección que la Península de la Magdalena (fig. 1) ofrece ante los oleajes Noroeste (reinales y dominantes en la zona), los perfiles referentes a las bases 5, 6 y 7 corresponden a zonas expuestas al oleaje; los perfiles referentes a las bases 1, 2 y 3 corresponden a zonas protegidas por la Península y el perfil referente a la base 4 a zona de transición. Por otro lado, la presencia de la Bahía de Santander, unida a la existencia de carreras de marea de 4 metros, hace que los perfiles 1, 2 y 3 estén sometidos a corrientes de marea con velocidades máxima medias de 1 m/sg, que disminuyen a 0.6 m/sg en el perfil 4, para ser despreciables en los perfiles 5, 6 y 7.

## 1. RESULTADOS

### a) Análisis temporal de los perfiles

Winant, Inman y Nordström (1975) mostraron que, cuando el método FOE se aplica a la caracterización de los perfiles de playa, las autofunciones tienen una interpretación física. Así, la primera autofunción (correspondiente al autovector mayor) representa un perfil medio, la segunda presenta un mínimo en la posición de la barra y un máximo en la posición de la berma y

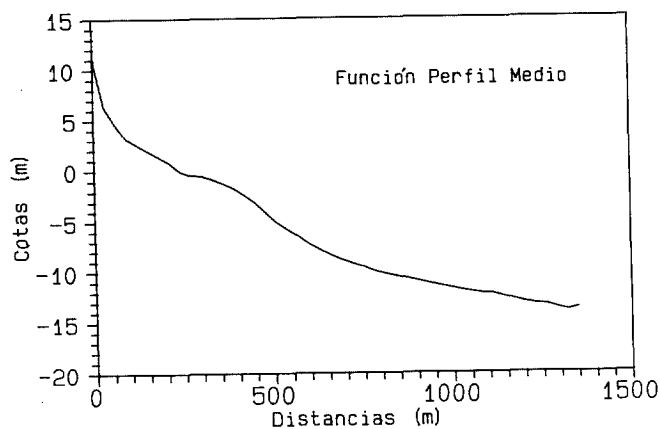


Figura 2. Función perfil medio.

la tercera presenta un máximo en la posición de la terraza mareal. Por este motivo, las denominaron función perfil medio, función barra-berma y función terraza mareal, respectivamente.

La aplicación del método a las diferentes campañas realizadas en el perfil 6, ilustran lo anteriormente citado; en la fig. 2 se presenta la primera autofunción correspondiente al perfil de la base 6 (función del perfil medio). Dicha autofunción representa, aproximadamente, el 99.4 por 100 del valor cuadrático medio de todos los datos de ese perfil. La autofunción muestra un perfil curvilíneo de playa, formado por dos tramos, uno exterior con pendiente más suave y otro cercano a la costa en la zona intermareal con pendiente más fuerte; la separación entre ambas zonas se produce sensiblemente a la cota + 0.0 por medio de un punto de inflexión.

La comparación de dicho perfil medio con perfiles individuales permite interpretar el significado de autofunciones de mayor orden. En efecto, en la fig. 3 se ha dibujado conjuntamente la función perfil medio (trazo continuo) con perfiles de verano e invierno, (trazo discontinuo). Como puede observarse, el perfil de invierno presenta un exceso de material en la zona de la barra y un defecto en la zona de la berma; en el perfil de verano, esta situación se invierte. En el resto del perfil, las desviaciones respecto al perfil medio son prácticamente nulas. Este hecho se refleja claramente en la forma de la segunda autofunción (función barra-berma) y su variación temporal (fig. 4). El máximo y el mínimo de la segunda autofunción señalan los lugares de mayor cambio o desviación respecto de la media; los coeficientes temporales indican las variaciones

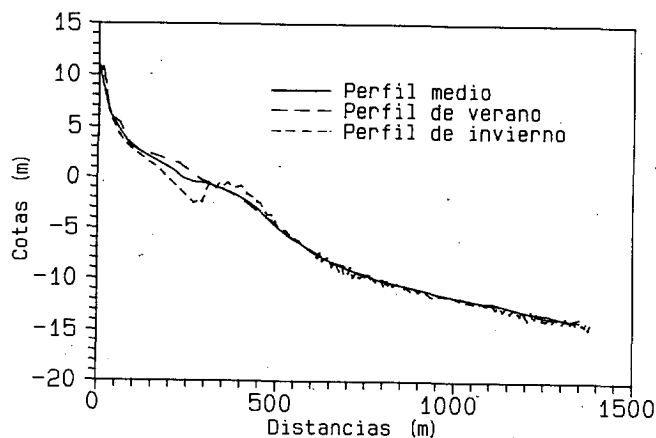


Figura 3. Comparación perfil medio/perfiles verano-invierno.

estacionales de dicha autofunción. El valor positivo durante el invierno señala la aparición de una barra, mientras que el valor negativo en verano señala la desaparición de la misma.

En la tabla 1 se presenta, en tanto por 100, los autovalores correspondientes a las cuatro prime-

ras autofunciones para los diferentes perfiles estudiados. De la observación de la tabla se desprende que el perfil medio representa más del 99 por 100 de la varianza, a excepción del perfil 7 correspondiente a la zona más expuesta y de mayor variabilidad.

TABLA 1

| Perfil | $\lambda_1$ | $\lambda_2$ | $\lambda_3$ | $\lambda_4$ |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1      | 99.67       | 0.22        | 0.07        | 0.04        |
| 2      | 99.47       | 0.30        | 0.18        | 0.05        |
| 3      | 99.53       | 0.35        | 0.10        | 0.02        |
| 4      | 99.30       | 0.37        | 0.27        | 0.15        |
| 5      | 99.85       | 0.07        | 0.05        | 0.03        |
| 6      | 99.72       | 0.18        | 0.07        | 0.03        |
| 7      | 99.78       | 0.58        | 0.45        | 0.19        |

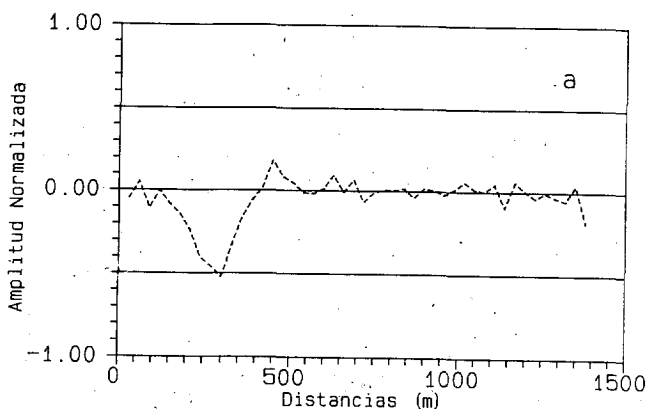
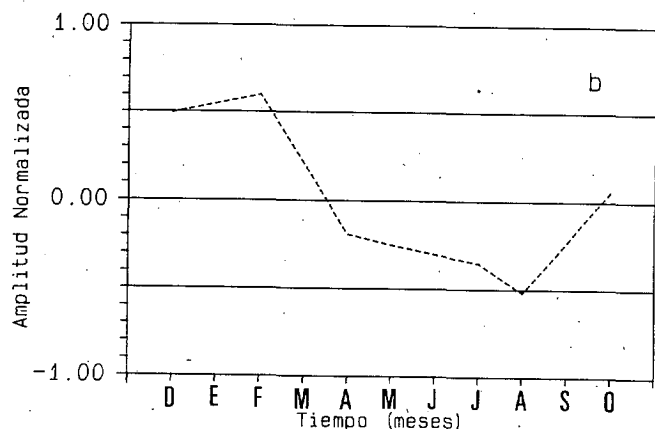


Figura 4. Variación espacial y temporal de la función barra-berma.

## b) Análisis temporal de la variación longitudinal de la pendiente de la playa

El método FOE puede ser aplicado, como ya se ha comentado, al análisis de la variación de la forma en planta de una playa. Para ello, basta seleccionar una característica longitudinal de la misma, como pueden ser una sección determinada, la pendiente de la playa, etc.

A modo de ejemplo, se presenta a continuación el análisis de la variación longitudinal de la pendiente media en zona de carrera de marea de la playa del Puntal de Somo (fig. 1). Para ello, se ha generado la matriz  $X(y, t)$ , donde  $y$  = número de perfiles,  $t$  = tiempo,  $X(y, t)$  = distancia horizontal entre las cotas de playa +5.0 y +0.0. Evidentemente, a mayor  $X$  corresponde una menor pendiente de playa y viceversa.

Análogamente a lo establecido en el apartado anterior, la primera autofunción ha de representar una pendiente media a lo largo de la playa y las sucesivas autofunciones desviaciones espaciotemporales de dicha media.

En efecto, en la fig. 5 se presenta la primera autofunción espacial (función pendiente media). Dicha función representa el 98.93 % del valor cuadrático medio de los datos. En la figura se observa claramente la variación longitudinal de la pendiente de la zona intermareal (+5, +0). Así, en las zonas expuestas (Bases 5, 6 y 7), la pendiente media es del orden de  $1/40$ . Este valor aumenta ( $X$  decrece) a medida que nos aproxi-

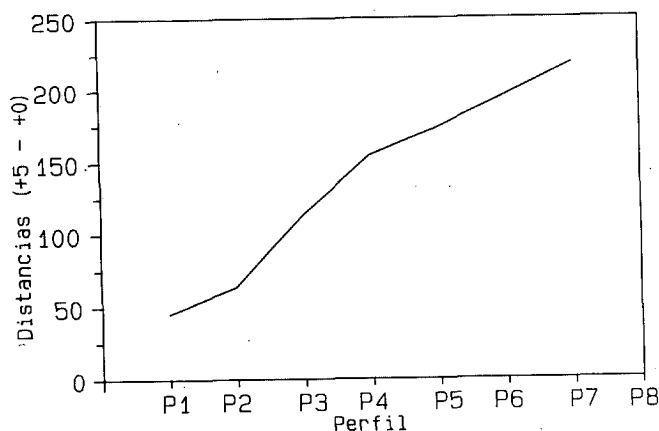


Figura 5. Función pendiente media.

mamos a perfiles más protegidos contra la acción del oleaje (Bases 4, 3, 2 y 1).

Un aspecto interesante es la variación espacio-temporal de dicha pendiente, variación que queda determinada por la segunda autofunción, figs. 6a, 6b.

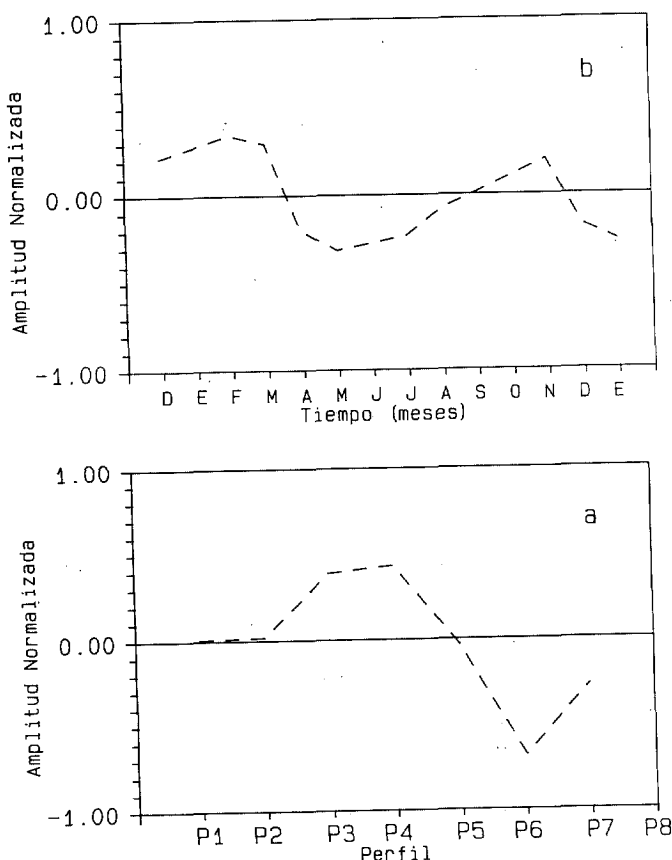


Figura 6. Variación espacial y temporal de la pendiente.

En la fig. 6a se ha presentado la variación espacial de la pendiente media. Como hecho a destacar está el diferente signo de la autofunción en los perfiles 1, 2, 3, 4 y 5, 6, 7, de modo que cuando aumenta la pendiente en 5, 6, 7 disminuye en 1, 2, 3, 4. Respecto a su variación temporal, fig. 6b, se observa una oscilación estacional de los valores de las pendientes a las diferentes condiciones a las que está sometida la playa a lo largo de un año.

## DISCUSION

Los resultados obtenidos al aplicar el método FOE a los datos de los diferentes perfiles muestran que éstos pueden ser representados por medio un pequeño número de modos de oscilación espacio-temporal representando la mayor parte de la varianza de los datos. Si adoptamos dos modos de oscilación, el porcentaje de varianza capturada asciende al 99.6 por 100, valor que aumenta al 99.9 por 100 si tomamos tres modos.

Los perfiles de playa quedan, de este modo, caracterizados por un perfil medio sensiblemente constante a lo largo del tiempo y un perfil barra-berma con oscilaciones temporales estacionales. Si se desea un grado de precisión mayor, podemos incluir un modo de oscilación tipo terraza mareal con oscilaciones temporales de período más corto.

Las variaciones longitudinales del porcentaje de varianza de los diferentes perfiles presentado en la tabla 1 nos indican la mayor o menor correlación de los mismos con los modos de oscilación propuestos, así como la importancia relativa de las diferentes autofunciones a lo largo del sistema de playa. En este sentido, la aplicación del método FOE a la variación longitudinal de la pendiente media intermareal muestra una rigidización de la misma a medida que nos situamos en perfiles correspondientes a zonas más protegidas. La interdependencia tamaño de granopen-diente la playa de los diferentes perfiles está siendo objeto de estudio actualmente por medio de una campaña topográfico-batimétrica unida a una toma de muestras de arena.

Las diferencias entre las dinámicas preponde-rantes en los perfiles 5, 6, 7 (oleaje) y los perfiles 1, 2, 3 (corriente de marea) se ponen de manifiesto en las variaciones espacio-temporales del segundo modo longitudinal (figs. 6a, 6b); así, cuando el oleaje aumenta en invierno, los perfi-

les 5, 6, 7 se erosionan, rigidizándose los taludes de la zona intermareal; parte de este material alcanza por transporte longitudinal los perfiles 1, 2, 3, depositándose en la zona intermareal que, de este modo, suaviza su pendiente. En épocas de calma, la barra de los perfiles de playa asciende hasta formar la berma de verano, suavizándose la pendiente intermareal. Los perfiles 1, 2, 3, por contra, son erosionados por acción de la corriente de marea que limpia el material excedente depositado en situaciones de temporal.

## CONCLUSIONES

El método de funciones ortogonales empíricas (F.O.E.) es adecuado para el estudio de las variaciones espacio-temporales de las playas, tanto en lo que se refiere a modificaciones en perfil como en planta, pudiéndose utilizar como una herramienta de diseño de playas.

La utilización del método en perfiles de playa identifica el perfil medio y las variaciones estacionales a las que está sometido con formación de barras y berma. El método sirve para determinar las magnitudes de dichas formaciones, así como su ocurrencia temporal y la variación de dichas formaciones longitudinalmente en una playa.

Por medio del método, se puede analizar las modificaciones longitudinales de una playa, como la pendiente intermareal. De este modo, se identifica zonas con características homogéneas, tanto espaciales como temporales, características, por otro lado, susceptibles de ser cuantificadas por el citado método.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido realizado dentro del proyecto de investigación PB87-0800 de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT). La realización de las campañas batimétricas ha sido financiada por la Junta del Puerto de Santander, a través de la Fundación Leonardo Torres Quevedo de la Universidad de Cantabria.

## APENDICE 1: Fundamentos teóricos del método FOE

Una de las aplicaciones de la teoría probabilística es la estimación de una variable aleatoria en función de una serie de datos disponibles. La solución óptima de dicho problema es, en general, de difícil obtención pero, si limitamos las operaciones admisibles con los datos a operaciones lineales y el «óptimo» se interpreta en un sentido de menor error cuadrático, el problema se simplifica enormemente, quedando reducido a una estimación de mínimos cuadrados. Este problema fue resuelto por Wiener y Kolmogorof (1940), basándose en el principio de ortogonalidad y su demostración puede encontrarse en Papoulis (1965).

El problema se plantea de la siguiente manera:

Sea  $h(x, t)$  la matriz formada por el conjunto de elevaciones de un perfil a lo largo del tiempo ( $h(i, j) =$  profundidad en el punto  $i$  en el punto  $j$ ). Podemos imaginarnos un perfil tomado en  $t = t_0$  como una muestra de un proceso aleatorio, el cual deseamos aproximar por medio de una combinación lineal de un conjunto finito « $l$ » de funciones  $e_i(x)$  que vamos a suponer ortogonales

$$h(x, t_0) = c_1 e_1(x) + c_2 e_2(x) + \dots + c_l e_l(x)$$

donde  $h$  es una estima de  $h$ . Aplicando el principio de ortogonalidad tenemos que

$$c_i = E(h(x, t_0) e_i(x)) / E(e_i(x) e_i(x)) = E(h(x, t_0) e_i(x)) / CE_i \quad i = 1, \dots, l$$

donde  $E()$  denota esperanza matemática y  $CE_i$  representa la covarianza de las funciones  $e_i(x)$

Generalizando para todas las diferentes muestras  $t_0, t_1, \dots$

$$c(t)_i = E(h(x, t) e_i(x)) / CE_i \quad i = 1, \dots, l \quad (1)$$

Análogamente, podemos imaginarnos las variaciones temporales de un punto del perfil  $h(x_0, t)$  como una muestra del proceso aleatorio  $h(x, t)$  y tratar de aproximarlos por medio de una combinación lineal de un conjunto finito de funciones  $c(t)_i$ , ortogonales

$$h(x_0, t) = e_1 c(t)_1 + e_2 c(t)_2 + \dots + e_l c(t)_l$$

Siguiendo el mismo razonamiento, obtenemos:

$$e_i(x) = E(h(x, t) c(t)_i) / CC_i \quad i = 1, \dots, l \quad (2)$$

donde  $CC_i = E(c(t)_i c(t)_i)$

Sustituyendo (1) en (2) tenemos

$$CC_i CE_i e(x)_i = (1/IK) H H^T e(x)_i$$

donde

$I = n^{\circ}$  de puntos por perfil

$K = n^{\circ}$  de campañas

$$H = h(x, t)$$

Si denominamos

$$\lambda_i = CC_i CE_i$$

$$\underline{A} = (1/IK) H H^T$$

resulta

$$\underline{A} e(x)_i = \lambda_i e(x)_i \quad i = 1, \dots, I \quad (3)$$

que es un problema de autovalores ( $\lambda$ ) de una matriz real simétrica  $\underline{A}$ , siendo  $e(x)$  los autovectores o autofunciones espaciales correspondientes.

El desarrollo anterior se puede hacer para la obtención de  $c(t)_i$ , resultando:

$$\underline{B} c(t)_i = \lambda_i c(t)_i \quad i = 1, \dots, I \quad (4)$$

donde

$$\underline{B} = (1/IK) H^T H$$

De este modo, los datos  $h(x, t)$  se han desarrollado en términos de funciones ortogonales (autofunciones) en espacio y tiempo

$$h(x, t) = \sum_{i=1}^I c(t)_i e(x)_i$$

Si generamos funciones

$$c''(t)_i = c(t)_i / \left( \sum_{n=1}^K c_{ni}^2 \right)^{1/2}$$

$$e''(x)_i = e(x)_i / \left( \sum_{n=1}^I e_{ni}^2 \right)^{1/2}$$

de modo que los desarrollos sean ortogonales unitarios (ortonormales) tenemos

$$h(x, t) = \sum_{i=1}^I (\lambda_i IK)^{1/2} c''(t)_i e''(x)_i$$

## REFERENCIAS

- BOWEN, A.J., 1969. «The generation of longshore currents on a plane beach». Jour. Mar. Res. Vol. 27, n° 2, pp. 206-215.
- BOWEN, A.J., 1980. «Simple Model of Nearshore Sedimentation; Beach Profiles and Longshore Bars». The Coastline of Canada S.B. Mc Cann editor. Paper 80-10, pp. 1-11.
- BRUUN, P., 1962. «Sea-level» rise as a cause of shore erosion». ASCE Jour. Waterw. Harb. Div., 88, pp. 117-130.
- DALLY, W.R. y R.G. DEAN, 1984. «Suspended sediment transport and beach profile evolution». J. Waterways, Port, Coastal Ocean Div. Am. Soc. Civil Engrg., 110, pp. 55-63.
- DAVIS, R.E., 1976. «Predictability of sea surface temperature and sea level pressure anomalies over the North Pacific Ocean». Jour. Phys. Ocean, Vol. 6, pp. 249-66.
- GORSLINE, D.S., 1966. «Dynamic characteristics of West Florida Gulf Coast beaches». Marine Geology, n° 4, pp. 187-206.
- INMAN, D.L. y R.A. BAGNOLD, 1963. «Littoral processes». The Sea, Vol. 3, M.N. Hill ed. Interscience, New York, pp. 529-553.
- INMAN, D.L. Y G.A. RUSNAK, 1956. «Changes in sand level on the beach and shelf at La Jolla, California». U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Tech. Memo. n° 82, pp. 519-586.
- LONGUET-HIGGINS, M.S. Y R.W. STEWART, 1964. «Radiation stress in water waves A physical discussion with applications». Deep Sea Res., Vol. 11, pp. 529-562.
- LORENZ, E.N., 1959. «Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction». Report n° 1, Statistical Forecasting Project, Dept. Meteorology, M.I.T., 49 págs.
- PAPOULIS, A., 1965. «Probability, Random Variables and Stochastic Processes». Mc Graw Hill Ltd.
- Scripps Institution of Oceanography, 1947. «A statistical study of wave conditions at five sea localities along the California Coast». University of California, Wave Report n° 68.
- WINANT, C.D., D.L. INMAN y C.E. NORDSTROM, 1975. «Description of seasonal beach changes using empirical eigenfunctions». Jour. Geophys. Res. Vol. 80, n° 15, pp. 1979-86.
- WRIGHT, L.D. Y A.D. SHORT, 1984. «Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis». Mar. Geol., Vol. 4, pp. 10-16.

## Raúl Medina Santamaría



Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria. Profesor Ayudante de dicha Universidad, adscrito al Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente. Su labor investigadora está centrada en el campo de la Ingeniería Oceanográfica y Costera, habiendo realizado numerosos trabajos en ese campo, tales como: emisarios submarinos, emplazamiento de puertos en el litoral cantábrico, estudio de desembocaduras, estudio de instalación de arrecifes artificiales en el Mar Cantábrico, etc.

Ha publicado numerosos artículos, tanto en España como en revistas extranjeras: American Society of Civil Engineers, Journal of Coastal Research, Journal of Geophysical Research, etc.

---

## Miguel A. Losada Rodríguez

Ingeniero de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid (1970). Doctor I. C. C. P. de la Universidad Politécnica de Madrid (1976). Catedrático de Ingeniería Oceanográfica y Costera del Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente de la Universidad de Cantabria (1978). Ha desempeñado los cargos de Director de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos de Santander (1982-85) y Gerente de la Fundación Leonardo Torres Quevedo para la Promoción de la Investigación en la Universidad de Cantabria (1985-88).

Ha realizado numerosos estudios en Ingeniería Oceanográfica y de Costas en España y el extranjero.

Ha publicado numerosos artículos científicos, tanto en España como en revistas extranjeras. Asimismo, ha sido coautor de varios libros.

---

## Robert A. Dalrymple

Catedrático de la Universidad de Delaware (Estados Unidos) desde 1984, adscrito al Departamento de Ingeniería Civil, terminó sus estudios como Ingeniero en 1968, en la Universidad de Hawai, para doctorarse en 1973 en Ingeniería Civil y Costera en la Universidad de Florida.

Sus trabajos se centran en el campo de la mecánica del oleaje, incluyendo modelos de propagación de ondas e interacción olas-corriente, procesos litorales y desembocaduras con marea.

Pertenece a diversas sociedades de Ingeniería Civil, tales como: American Society of Civil Engineers; Sigma XI; American Geophysical Union; American Shore and Beach Preservation Society; Internacional Association for Hydraulic Research; American Academy of Mechanics, etc.

Ha publicado numerosos libros y artículos de reconocido prestigio internacional.

---