

Impacto de obras de defensa de costas empleando un modelo de evolución costera^(*)

Por A. SANCHEZ-ARCILLA
Catedrático de Ingeniería Hidráulica

A. VIDAOR

Investigador Asociado

Departamento de Puertos, Costas e Ingeniería Oceanográfica
Escuela T. S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPC.

El complejo equilibrio dinámico existente en la zona costera, y especialmente en la línea divisoria entre el mar y la tierra, se ve continuamente alterado por la acción de la mano del hombre sobre alguna de sus componentes, debido a la presión de uso a la que se halla sometida (intensa localización de actividades). La realización de obras de defensa para tratar de restablecer el equilibrio, no siempre presenta los resultados apetecidos, por lo que el desarrollo de una herramienta predictiva del impacto de las mismas sobre la costa resulta necesario, de cara a una optimización en el diseño de soluciones. En este artículo se presenta un modelo numérico de evolución de costa capaz de reproducir de modo adecuado dicho impacto.

1. INTRODUCCION

La realización de obras de defensa (u otras acciones de tipo protector) de costas puede producir efectos no deseados sobre el equilibrio dinámico de la franja litoral. Esto se debe al desconocimiento que existe sobre el comportamiento o reacción real de la línea de costa a la creación de dichas obras, dada la complejidad de los fenómenos que se dan cita en la franja costera, y muy especialmente dentro de la zona de rompientes, dando lugar a un mal comportamiento funcional de las soluciones adoptadas. Esta complejidad hace que en la actualidad, la creación de un modelo del comportamiento en la masa de agua y sedimento en dicha zona, sea sólo abordable desde el punto de vista numérico, y bajo la adopción de hipótesis simplificadoras (más o menos restrictivas) según sea la calidad del mismo y los objetivos del trabajo concreto.

Un hecho, por desgracia muy común, en el diseño de obras de defensa de costa es el análisis del problema desde un punto de vista estrictamente local, o bien con un estudio poco

profundo de las consecuencias (sobre la costa adyacente) de la adopción de distintas medidas. Esto se traduce, en la gran mayoría de los casos, en nuevos problemas (erosión junto a obras de defensa construidas, retroceso y/o desaparición de playas contiguas, deposición de sedimentos en canales de salida al mar y bocanas de puertos, etc.). Este planeamiento de soluciones a nivel local se debe, en general, a la falta de herramientas de tipo predictivo que permiten efectuar una correcta evaluación del impacto sobre la costa de las distintas acciones programadas.

En un momento en el que se prevén importantes inversiones en defensa y recuperación de costas (Plan de Puertos, Programa de Planeamiento y Actuaciones sobre la Costa, MOPU 1987-90), la existencia de una herramienta de evaluación del impacto puede suponer un importante ahorro económico, de cara a poder proyectar de modo eficaz, descartando aquellas soluciones que presentan un comportamiento funcional inadecuado. Hay que destacar además que el seguimiento continuado del comportamiento de soluciones recientes ya ejecutadas puede dotar a los proyectistas e investigadores de una base de datos de inestimable

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de mayo de 1987.

valor, dada su escasez y dispersión actuales, permitiendo calibrar de modo aún mayor los modelos predictivos a emplear.

En este artículo se presenta un modelo numérico de evolución de la línea de costa basado en la ecuación de conservación de masa del sedimentos, capaz de reproducir el impacto de obras de defensa sobre la costa (muros de escollera longitudinal, espigones transversales, diques exentos sumergidos o no, regeneración artificial de playas, creación de puertos y variación de cualquiera de las acciones antes mencionadas), además la existencia de fuentes o sumideros de sedimentos (ríos, torrentes, cañones submarinos, transporte eólico, etc.) en la costa.

El modelo, una vez optimizado, se aplicó a un tramo de la costa catalana que presentaba graves problemas de erosión (resueltos hasta el momento a base de rigidizar la línea de costa mediante multitud de muros de escollera y espigones transversales), analizándose el impacto sobre la línea de costa de diversos proyectos de defensa presentados. Los resultados obtenidos, tras un completo calibrado del modelo, son satisfactorios especialmente en el aspecto cualitativo, si bien el cuantitativo depende en gran medida de la calidad de los datos necesarios como «input» para el calibrado del mismo.

2. PLANTEAMIENTO DEL MODELO

A la hora de desarrollar un modelo de predicción del impacto de obras de defensa sobre la franja costera, los modelos de tipo numérico resultan ser mucho más adecuados que la búsqueda de soluciones analíticas (solo aplicables a casos concretos mediante la adopción de un elevado número de hipótesis simplificadoras, no siempre físicamente correctas), dada su versatilidad y sencillo planteamiento.

El modelo numérico desarrollado se basa en la resolución de las ecuaciones de transporte (en función de las características de la playa, el oleaje y el sedimento existente) y continuidad de masa del sedimento de un modo conjunto, para todas las condiciones de contorno que habitualmente se presentan en la costa.

La introducción además de variaciones temporales de las distintas variables involucradas en el cálculo (clima de oleaje, riadas o períodos de sequía, variación de la eficacia de fuentes o sumideros de sedimento, etc.) es sencilla, así como la introducción de las correspondientes variaciones longitudinales (energía del oleaje, refracción/difracción del mismo, etc.).

2.1. Ecuaciones generales

Las ecuaciones generales en que se basa el modelo son:

1) *Ecuación de transporte de sedimento:*

Se puede obtener (según el estado del arte actual en la materia) según dos planteamientos distintos. El primero establece una correlación de tipo empírico entre el flujo de energía del oleaje incidente en la costa y la tasa de transporte de sedimento sumergido (en peso), y corresponde a la formulación del C.E.R.C., posteriormente analizada y replanteada por numerosos investigadores (ej. (Komar e Inman, 1970), (Sayao y Kamphuis, 1984), (Bailard, 1984)). el segundo planteamiento relaciona la tasa de transporte de sedimento sumergido (en peso) con los parámetros de oleaje y la corriente longitudinal media, existentes en la zona de rompientes (ej. (Bagnold, 1963), (Komar e Inman, 1970), (Kraus et al., 1982)). Existe un tercer tipo de planteamiento, de tipo energético ((Bailard, 1984), (Dally y Dean, 1984)), desarrollado a nivel local en base a un mayor número de coeficientes, poco conocidos actualmente, pero que sin duda representará la línea de investigación a seguir en un futuro próximo.

El primer tipo de planteamiento ha sido el más asiduamente empleado en Ingeniería de Costas, debido a su sencillez, hecho que ha conducido a errores de predicción importantes al extrapolar resultados fuera del rango de validez estricto de las formulaciones originales ((Komar e Inman, 1970), (Shore Protection Manual, 1984)).

El segundo planteamiento, en desuso hasta fechas recientes, ha adquirido un nuevo auge al desarrollarse de modo más riguroso las teorías referentes al cálculo de la velocidad de la corriente longitudinal en la zona de rompientes y ha sido el empleado en este modelo (aunque

también se consideró el modelo del C.E.R.C. para comprobar las diferencias de comportamiento entre ambos). Esto representa el tener que efectuar dos ajustes (coeficientes semiempíricos de velocidad de la corriente longitudinal y transporte de sedimento) frente al único ajuste del modelo del C.E.R.C., pero permite representar de un modo físicamente más correcto la influencia de las variaciones de batimetría local, tipo de sedimento, parámetros de oleaje, etc., obteniéndose resultados mucho más acordes con la realidad. Además, el problema que representaba antiguamente la medición de corrientes longitudinales, se ha subsanado al desarrollarse medios tecnológicos (especialmente correntímetros) que permiten la misma con el grado de precisión necesario para la aplicación del modelo.

2) Ecuación de conservación de masa del sedimento

Esta ecuación se deduce al aplicar la continuidad de la masa del sedimento a un determinado volumen de control (representado por una celda de la discretización en el modelo numérico (Figura 1)). En versión continua, aplicada a una sección cualquiera transversal a la línea de costa, esta ecuación se escribe:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = - \frac{1}{2d} \frac{\partial S_l}{\partial x} \quad [1]$$

donde las coordenadas (x,y) se definen en las figuras (1) y (2). S_l es el transporte de sedimento y d es la profundidad activa o de «cierre» (Brunn, 1986), definida por el calado no afectado por la variación de los perfiles. La versión discreta de (1) sería:

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = - \frac{1}{2d} \frac{\Delta S_l}{\Delta x} \quad [2]$$

representada, para los distintos tipos de variación de los perfiles, en la figura 2.

Dada la escasez y poca precisión de información acerca del transporte transversal de sedimento de forma cuantitativa, se debe asimilar el fondo de la playa a un plano inclinado (representado por la pendiente media del fondo en la zona de rompientes). Esta hipótesis presenta

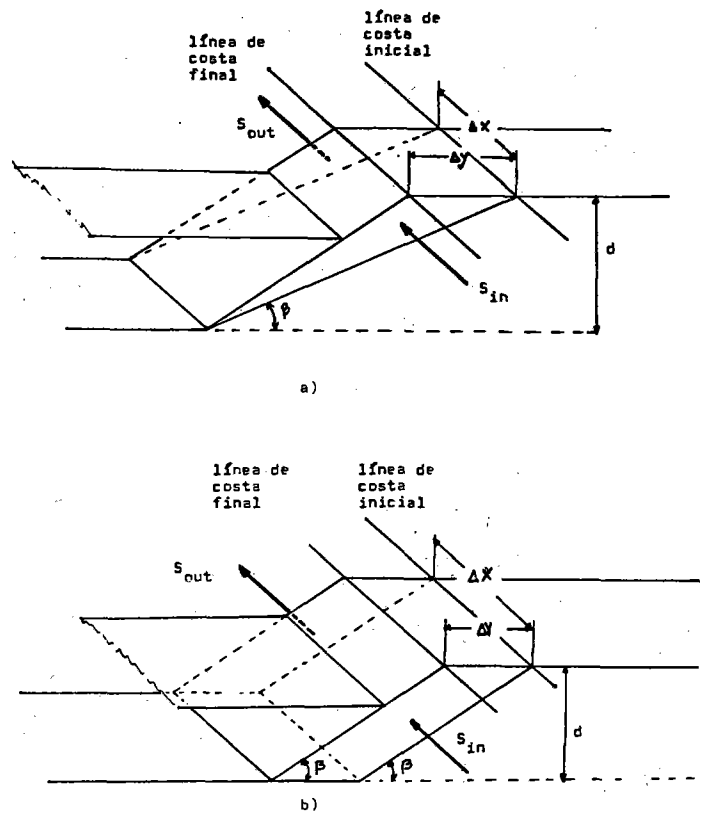


Figura 1.—Esquematzación del volumen de control empleado para la obtención de la ecuación de conservación de masa. a) volumen de control para pendiente de fondo entre valores límite. b) volumen de control cuando se alcanza uno de los valores límite (máximo o mínimo) de la pendiente del fondo.

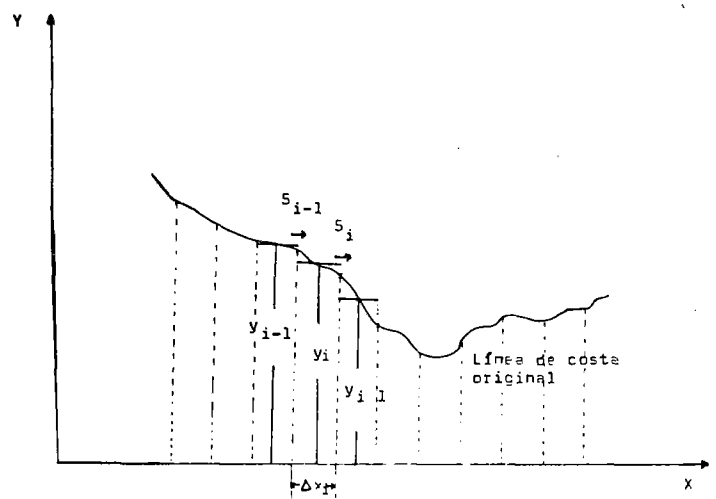


Figura 2.—Esquematzación de la línea de costa en celdas computacionales para la aplicación del modelo numérico de simulación de evolución de la línea de costa.

el problema de no poder introducir en los resultados la posible evolución de barras u otras formas morfológicas presentes en la zona de

rompientes, si bien su influencia sobre el transporte de sedimento se ha tenido en cuenta a través de los modelos de velocidad de la corriente longitudinal empleados en i). El funcionamiento del modelo (en cuanto a representación de perfiles transversales) será tanto mejor cuanto más alejada de la línea de orilla se halle la barra o bien cuanto menor sea su importancia en la batimetría de la zona.

El parámetro libre, d , profundidad activa, se debe obtener comparando las variaciones producidas en un perfil transversal a la línea de orilla, a lo largo de un período suficientemente significativo, dado que la misma está asociada a las condiciones de oleaje, con una cierta distribución temporal (conocido de modo suficientemente aproximado). Se puede obtener también mediante el análisis granulométrico de los perfiles transversales (Brunn, 1986). De todos modos, la linealidad de (1) supone que posibles errores en la estima de d , se pueden ver subsanados por un adecuado calibrado del coeficiente de transporte de sedimento longitudinal en la formulación de S_i correspondiente.

2.2. Desarrollo del modelo

Una vez seleccionadas las expresiones a emplear para representar las ecuaciones de transporte de sedimento y continuidad del mismo, el paso siguiente consiste en discretizar la costa en celdas computacionales (Figura 2), para poder solucionar (1) mediante la aplicación del Método de las Diferencias Finitas. Para ello se emplea un esquema alternado (disposición alternada espacial) y temporal de los valores del transporte de sedimento y de la configuración instantánea de la línea de costa) que si bien dificulta en parte la imposición de condiciones de contorno, resulta poseer una mayor estabilidad en cuanto a los pares $(\Delta x, \Delta t)$, debiéndose mantener Δt menor que un cierto valor t_e (propiedad típica de los esquemas explícitos de estas características) para evitar saltos bruscos en la configuración de la línea de costa. El esquema mencionado se puede expresar en forma compacta como:

$$Y_{i+\frac{1}{2}}^{j+1} = Y_{i+\frac{1}{2}}^j - \frac{t}{2\Delta x d_{i+\frac{1}{2}}} (S_{L_{i+1}}^j - S_{L_i}^j - S_{O_i}^j) \quad [3]$$

donde i representa el índice espacial, j el índice

temporal, y $S_{O_i}^j$ es la pérdida/ganancia de sedimento para la celda $(i+1, i)$ debida a fenómenos localizados (ríos, torrentes, regeneración artificial, sumideros de sedimento, etc.). Como se puede observar, el avance o retroceso de la línea de costa se mide en los puntos $i+1/2$, mientras que el transporte de sedimento se calcula en las secciones límites de la celda $(i+1/2)$, a saber i e $i+1$.

2.3 Inputs necesarios para el modelo

El modelo requiere la siguiente información:

- a) Características del sedimento (densidad, granulometría, porosidad, etc.)
- b) Configuración inicial de la línea de costa: línea de orilla, batimetría, pendientes medias del fondo, condiciones de contorno a imponer (obras de defensa) o existencia de condiciones especiales (barreras, fuentes/sumideros de sedimentos, etc.)
- c) Cuantificación de los aportes/pérdidas que generan las fuentes/sumideros de sedimentos y su distribución temporal.
- d) Clima de oleaje (variable en el tiempo) en aguas profundas, indicando alturas de ola (H), períodos (T) y ángulo de incidencia (θ). Este oleaje se propaga hasta la línea de rompientes mediante un modelo numérico de propagación desarrollado por el Departamento de Puertos, Costas e Ingeniería Oceanográfica de la E.T.S.I.C.C.P. de Barcelona, en el que se contemplan refracción, shoaling y difracción. También serían aceptables, naturalmente, mediciones directas del clima de oleaje en rompientes.
- e) Coeficientes de transporte y de fricción con fondo (para la estimación de la velocidad de la corriente longitudinal) en base a las características de la costa en estudio (se deben calibrar con mediciones efectuadas de avance/retroceso de la línea de costa y de velocidad de la corriente longitudinal).

2.4. Condiciones de contorno o especiales que admite el modelo

El modelo reproduce de modo adecuado (se comparó con los resultados de laboratorio de (Price, Tomlinson y Willis, 1973), figura 3) la

OBRAS DE DEFENSA DE COSTAS CON UN MODELO DE EVOLUCION COSTERA

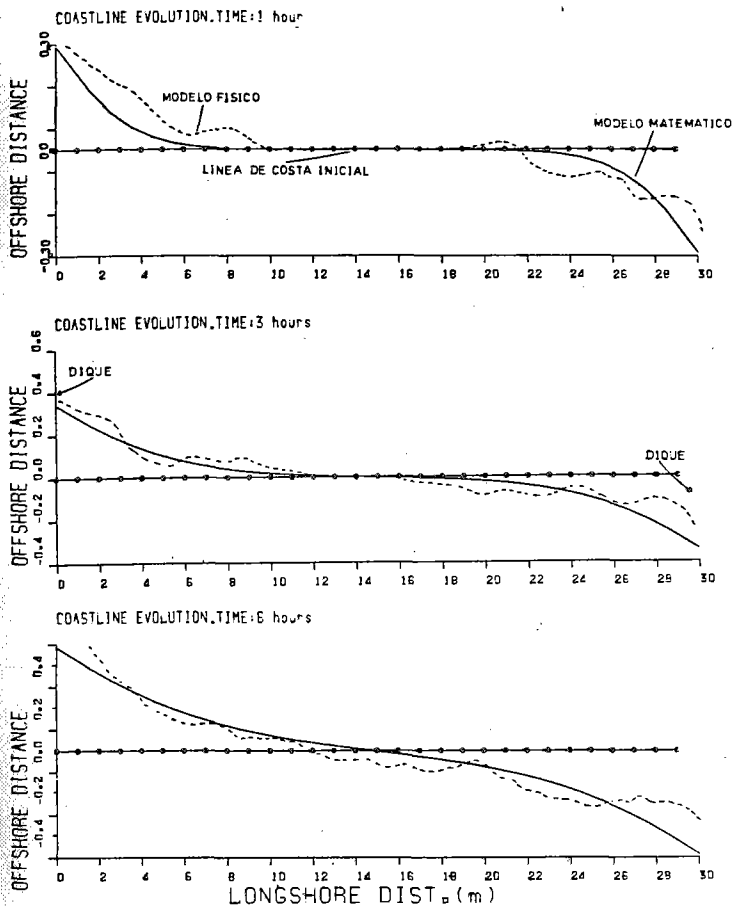


Figura 3. — Comparación de los resultados del modelo (formula del C.E.R.C., $H_b = 0.04$ m, $T = 1.15''$, $\theta = -4$) con los obtenidos experimentalmente por (Price, Tomlinson y Willis, 1973).

evolución de la línea de costa en el caso de que existan:

- Puntos de transporte nulo (barreras totales al paso de sedimentos: espigones prolongados hasta calados importantes, macizos rocosos, cañones submarinos, etc.)
- Puntos de transporte limitado (barreras parciales al paso de sedimento: espigones en calados pequeños).
- Puntos con limitación de movilidad (muros de escollera longitudinal, etc.)
- Fuentes y sumideros de sedimento (ríos, torrentes, regeneración artificial, etc.)
- Obras exentas (diques sumergidos o semi-sumergidos, etc.)

2.5. Resultados del modelo

Las hipótesis introducidas en el desarrollo del

modelo no producen distorsiones en los resultados finales debido a que son de trascendencia menor que la hipótesis de partida, y los errores introducidos en la calidad de los datos de medida (de modo general). Dado que el comportamiento de esta herramienta para la predicción ha proporcionado resultados cualitativos satisfactorios, cabe suponer que las hipótesis de partida son aceptables (a nivel de Ingeniería de Costas), y que dichos resultados puede ser aceptables también en su aspecto cuantitativo, siempre que no se aplique el modelo fuera de las hipótesis previas de partida (batimetría poco atormentada y línea de costa con variación suave ($\partial y / \partial x < < 1$)).

El modelo proporciona los siguientes resultados para cada sección i :

- 1) Valor de las variables del oleaje en la línea de rompientes (altura de ola, período y ángulo de incidencia).
- 2) Velocidad de la corriente longitudinal.
- 3) Transporte de sedimento longitudinal (instantáneo y medio para el período que se desee).
- 4) Evolución de los perfiles (variación de volúmenes y superficie de playa seca).
- 5) Evolución de la línea de costa, para los períodos de tiempo que se deseen.

Los resultados obtenidos para los casos reales en que se ha aplicado el modelo muestran una notable coincidencia con la realidad, si bien los resultados del punto 4) son de una difícil comparación, dadas las hipótesis de fondo plano efectuadas.

3. APLICACION DEL MODELO A UN CASO REAL: (COSTA DE MALGRAT Y SANTA SUSANA, BARCELONA)

El tramo del litoral catalán comprendido entre el puerto de Blanes y la riera de Santa Susana (Figura 4) ha visto como su fisonomía cambiaba de un modo radical en los últimos años debido a la construcción de un elevado número de obras de defensa ante la aparente regresión de la línea de costa. Este hecho se ha podido constatar en los estudios realizados sobre la dinámica litoral de la zona por el Labora-

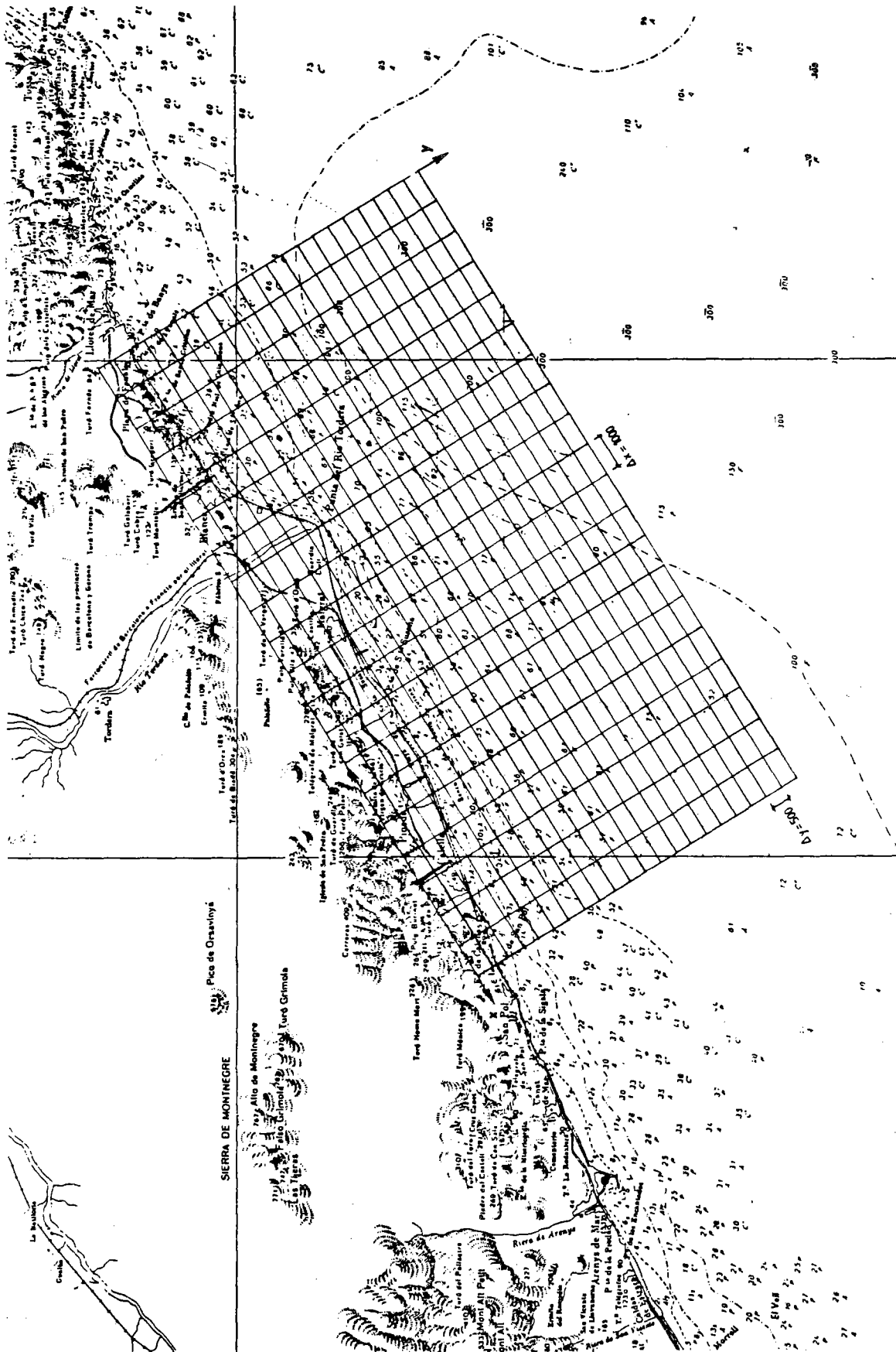


Figura 4. — Plano de situación del tramo de costa estudiado. Malla empleada para la discretización de la batimetría en el modelo de refracción.

OBRAS DE DEFENSA DE COSTAS CON UN MODELO DE EVOLUCION COSTERA

torio de Puertos Ramón Iribarren (MOPU, 1979). La fuerte presión de demanda a que se halla sometida esta zona (usos turísticos, edificación, etc.) ha provocado que las oscilaciones naturales de la línea de costa (características del equilibrio dinámico en que se encuentra) hayan sido interpretadas como regresivas, especialmente al afectar a la vía del ferrocarril Barcelona-La Junquera, construido imprudentemente cerca de la misma. La creación de numerosas obras de defensa, proyectadas para re-

solver dichos problemas erosivos a nivel local, ha impedido el libre funcionamiento de la dinámica transversal de la playa, evitando la recuperación natural de la misma. Si a estos hechos se le une la pérdida de eficacia de la principal fuente de sedimento del tramo (río Tordera) debido a la canalización parcial del mismo para protección en caso de avenidas, se puede comprender la desaparición de gran parte de las playas antiguamente existentes y la iniciativa de los organismos oficiales (Dirección General de Puer-

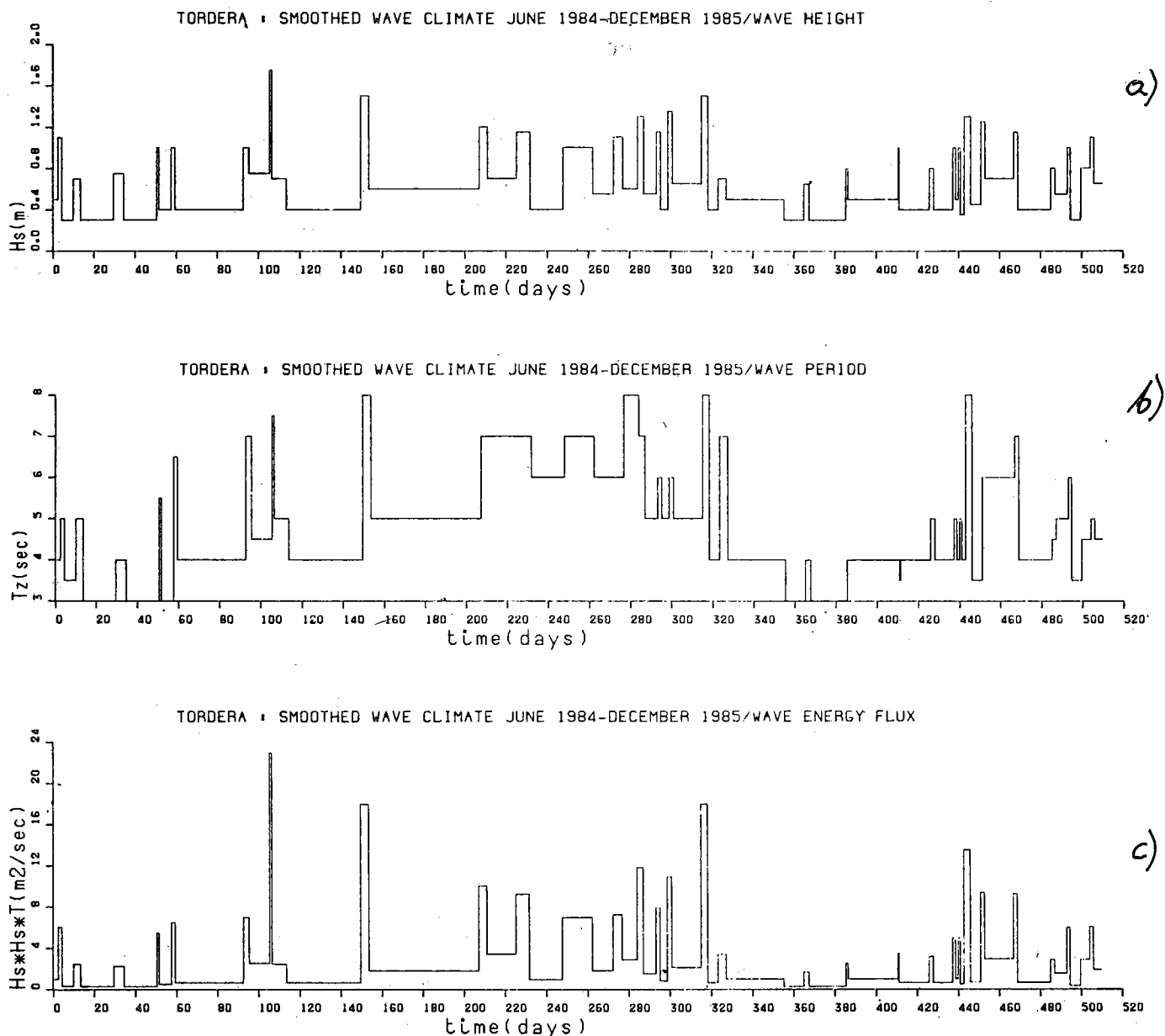


Figura 5.—Clima de oleaje suavizado (junio 1984-diciembre 1985). a) Altura de ola significativa (H_s), b) Período medio (T_z), c) Parámetro representativo del flujo de energía incidente ($H_s \cdot H_s \cdot T$)

tos y Costas del MOPU y Direcció General de Ports i Costes de la Generalitat de Catalunya) para tomar medidas que tiendan a recuperar el estado original de la costa en dicho tramo.

Dentro de estas iniciativas la Direcció General de Ports i Costes llevó a cabo durante el período (Junio, 1984-Diciembre, 1985) una campaña de medidas para tratar de analizar la estabilidad del tramo de costa mencionado y la validez de las distintas propuestas de actuación existentes. El Departamento de Puertos, Costas e Ingeniería Oceanográfica de la E.T.S.I.C.C.P. de Barcelona fue el encargado de efectuar una predicción de la evolución de la línea de costa, según las distintas acciones, previo proceso y filtrado de la información recopilada. A continuación se presenta un resumen de dicha predicción.

3.1. Datos de partida

Tras el análisis de los datos batimétricos y de las características del sedimento (arenas de tipo medio y grueso), se pasó a analizar los registros de oleaje obtenidos por una boya situada en calados de 70 m. frente a la desembocadura del río Tordera. Dicho análisis, en combinación con los datos del National Weather Records Center, para el cuadrante apropiado, permitió la obtención de un clima de oleaje discretizado en escalones temporales de igual altura de ola (empleándose para el promediado el flujo de energía incidente en la boya y no la altura de ola). Los resultados se pueden apreciar en la Figura 5 observándose una mayor frecuencia de presentación para oleajes procedentes de S y SW, si bien los de mayor intensidad en cuanto a flujo energético, proceden del sector de Levante.

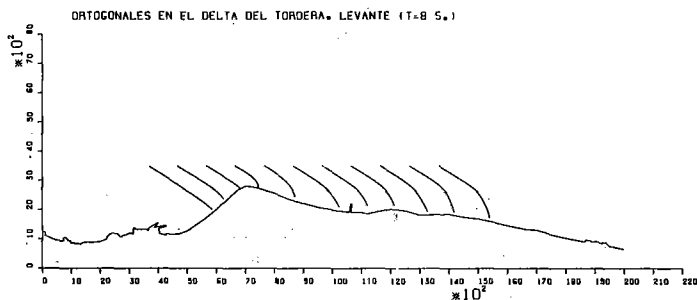


Figura 6.—Plano de oleaje. Dirección del oleaje: Levante. Período: $T = 8''$.

Este clima de oleaje fue transmitido mediante el modelo de propagación desarrollado por el Departamento de Puertos, Costas e Ing. Oceanográfica de la ETSICCPB, hasta la línea de rompientes, estableciéndose la rotura según el criterio de McCowan ($H/h = 0.78$). Un ejemplo de los planos de oleaje obtenidos se muestra en la (Figura 6).

Conocidos estos datos, se pasó a calibrar el

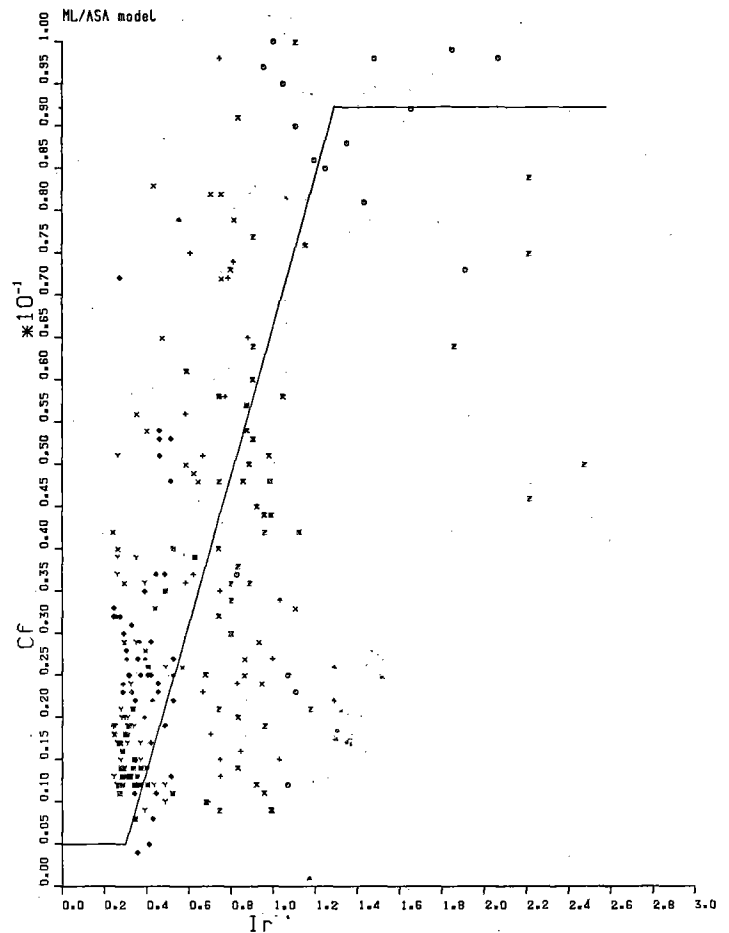


Figura 7.—Ajuste conjunto para los correntímetros fijo y móvil del coeficiente de fricción con fondo en función del parámetro de Iribarren, I_r , en todos los perfiles de medida:

- : Perfil 2 (orilla)
- △ : Perfil 2 (barra)
- +
- x : Perfil 5 (barra)
- ◇ : Perfil 8 (orilla)
- ↑ : Perfil 8 (barra)
- x : Perfil 12 (orilla)
- z : Perfil 12 (barra)
- Y : Perfil 14 (orilla)
- ⊗ : Perfil 14 (barra)
- * : Perfil 9-10

coeficiente de fricción con fondo (propio de los modelos de velocidad de la corriente longitudinal) empleando para ello los datos registrados en los 9 perfiles de medida mediante correntímetros fijos y móviles. Dada la variabilidad de las condiciones de rotura longitudinalmente a la costa se efectuó un calibrado de dicho coeficiente, cf, con el parámetro de Iribarren, I_{rb} (Sánchez-Arcilla y Viador, 1986), definido como:

$$I_{rb} = \frac{m}{(Hb/Lo)^{1/2}} \quad [4]$$

donde b indica condiciones en rompientes, m es la pendiente media del fondo y Lo es la longitud de onda en agua profundas. Esta suposición proporciona un ajuste (Figura 7) satisfactorio y permite la autocorrección del valor de dicho coeficiente al evolucionar el perfil. El modelo de velocidad de la corriente longitudinal VI, empleado es el de (Losada y S. Arcilla, 1985) por su sencillez, rapidez de cálculo y adecuada representación del fenómeno físico.

Una vez calibrado V, se localizaron las fuentes y sumideros de sedimento, cuantificándose sus aportes/pérdidas y la distribución temporal de las mismas (principalmente los aportes del río Tordera, estimados en unos 89.000 m³ de sedimento/año).

A partir de estos datos, y en base a la evolución de la línea de costa registrada en el período de medida, se calibraron los coeficientes de transporte (Figura 8), teniendo en cuenta su variación según las características del sedimento presente (Figura 9). El ajuste efectuado demostró que el modelo de (Bagnold, 1963) predice

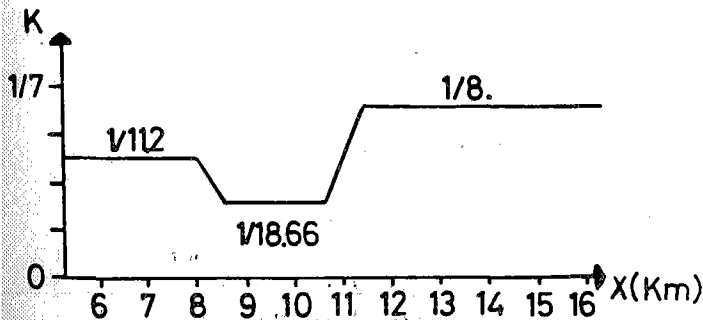


Figura 8. — Ley de Variación longitudinal a la línea de costa del coeficiente de transporte de sedimento longitudinal, definido como:

$$K_{cerc} = K \times 0.77$$

$$K_{bagnold} = K \times 0.28$$

El eje X esta referido a la línea base definida en la figura 4.

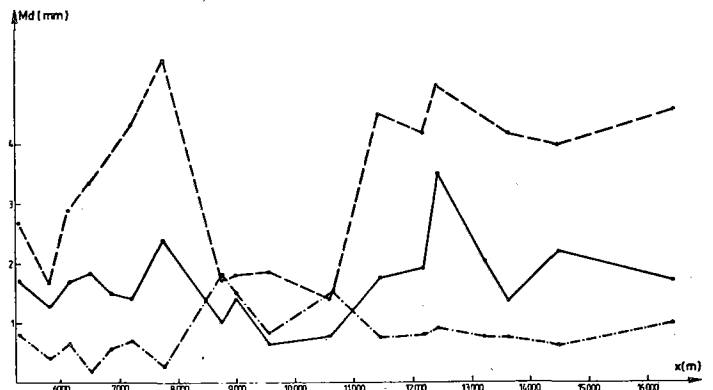


Figura 9. — Distribución longitudinal de la Mediana (Md) del sedimento presente en la zona de estudio:

- Zona de swash.
- - - Zona de rompientes.
- · - · - Zona correspondiente al calado h = -5. m.

de un modo más adecuado que el del CERC el transporte longitudinal de sedimento.

3.2. Predicción de impacto de obras de defensa

Una vez obtenida la información necesaria para el funcionamiento del modelo, se efectuó un primer pase para predecir a 20 años la evolución futura en la línea de costa en las condiciones actuales (i.e. sin obras adicionales) (Figura 10). Los resultados indican fuertes erosiones en los tramos de Malgrat y Santa Susana, lo que hace aconsejable la toma de acciones tendentes a evitar este fenómeno.

Un primer proyecto es el presentado por el

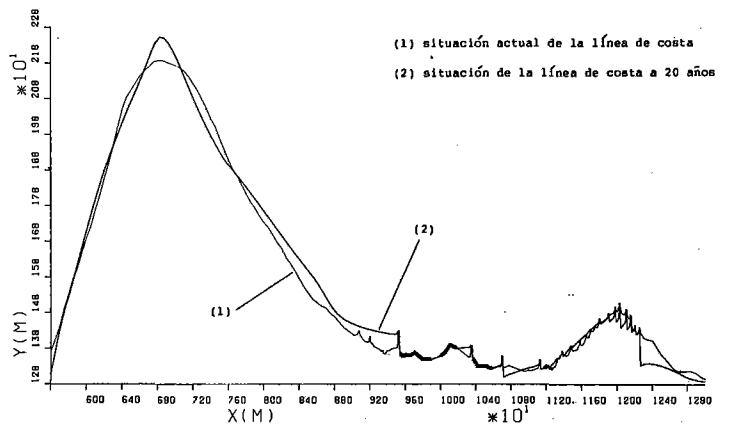


Figura 10. — Resultados del modelo de evolución de la línea de costa. Modelo de transporte de sedimento de Bagnold. Modelo de velocidad de la corriente longitudinal de Losada y Sanchez-Arcilla, 1985.

Previsión a 20 años para la situación actual de la línea de costa (i.e. sin realización de nuevas acciones).

MOPU, dentro del Programa de Planeamiento y Actuaciones sobre la Costa, y denominado «Proyecto de Regeneración de las playas del Maresme: Tramo Malgrat», 1985, en el que se contempla la realización de una regeneración artificial del tramo de Malgrat y el desmontaje parcial del espigón principal existente en el mismo, dada su acción de barrera para el transporte longitudinal de sedimento.

Por su parte, el ayuntamiento de Santa Susana presentó un proyecto para la defensa de sus playas, consistente en la construcción de diques exentos semisumergidos, aproximadamente paralelos a la costa y ubicados en la zona Norte del prodelta de la Riera de Santa Susana.

La predicción del modelo para la evolución de la línea de costa en estos supuestos se presenta en la figura 11, donde se pueden observar las oscilaciones características de la presencia de estructuras de defensa exentas, y una mayor estabilización de todo el tramo, no siendo graves las erosiones detectadas. Se observa que esta solución es cualitativamente mejor que la de mantener la situación actual, si bien no se considera (S. Arcilla y Vidor, 1986) que sea la más adecuada (la eliminación de las barreras parciales constituidas por los espigones transversales es un paso necesario para normalizar el transporte sedimentario en el tramo).

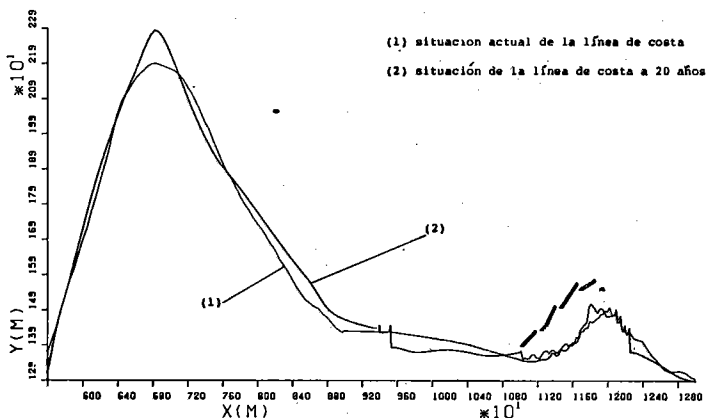


Figura 11. — Resultados del modelo de evolución de la línea de costa. Modelo de transporte de sedimento de Bagnold. Modelo de velocidad de la corriente longitudinal de Losada y Sanchez-Arcilla, 1985.

Previsión a 10 años teniendo en cuenta las actuaciones previstas (Proyecto de Regeneración de las playas del Maresme: tramo Malgrat, DGPC, MOPU, 1985, y Proyecto de recuperación de la playa de Santa Susanna, Ayuntamiento de Santa Susanna, 1984).

Estos resultados deben manejarse con precaución en su aspecto cuantitativo, debido a posibles errores introducidos en el proceso de filtrado y adecuación de los datos necesarios para el funcionamiento del modelo. Las hipótesis referentes a pendientes medias del fondo, aportes del río Tordera (variables temporalmente según posibles acciones a tomar), clima de oleaje representativo (este último obligado debido a la falta de datos representativos para la predicción a largo plazo) pueden no ser válidas (bien globalmente o localmente), si bien el comportamiento cualitativo se puede considerar correcto en base al calibrado de evolución de la línea de costa efectuado para el período de medición.

4. CONCLUSIONES

El modelo numérico de evolución de costa presentado es una herramienta sencilla y eficaz para poder reproducir la evolución de la línea de costa, tanto para las situaciones sin intervención externa como para aquellas en que se prevén acciones sobre la zona costera. Los resultados a nivel cualitativo son satisfactorios, siempre que el tramo de costa estudiado no se aparte excesivamente de las condiciones de partida impuestas (fondos aproximadamente planos y pequeña curvatura de la línea de costa). Aún en caso de que estas condiciones no se cumplan estrictamente el modelo permite evaluar la diferencia del impacto sobre la costa de diversas acciones a tomar, permitiendo así seleccionar la más adecuada.

En el aspecto cuantitativo, el modelo ofrece mejores resultados cuanto mejor sea la calidad y representatividad de los datos medidos necesarios para el funcionamiento del mismo, especialmente los referentes al clima de oleaje característico.

El modelo posee la ventaja de poder estudiar el impacto sobre la costa de las diversas obras de defensa a nivel global, es decir a nivel de la unidad costera a la que pertenece el tramo donde se proyecta la acción, pues se pueden prolongar las condiciones de contorno hasta puntos lo suficientemente alejados de la misma o bien hasta puntos con condición de contorno

OBRAS DE DEFENSA DE COSTAS CON UN MODELO DE EVOLUCION COSTERA

conocida (barreras totales, etc.). Este hecho permite una predicción del impacto de la construcción de una obra de defensa en toda la unidad costera correspondiente, permitiendo la adopción de medidas local y globalmente favorables.

REFERENCIAS

1. BAGNOLD, R. A. (1963): Mechanics of Marine Sedimentation. In the Sea. McGraw-Hill, 3, 507-28, Interscience. NY.
2. BAILARD, J. A. (1984): A Simplified Model for Longshore Sediment Transport. Proc. Coastal Engineering, 1984.
3. BRUUN, P. (1986): Sedimentary Balances (Land and Sea) with Special Reference to the Icelandic South Coast from Trolakñofn to Dyrrholoe. River Nourishment of Shores. Practical Analogies on Artificial Nourishment. Coastal Eng. 10 July 1986.
4. Coastal Engineering Research Center (1984): Shore Protection Manual U. S. Army Corps of Engineers, Washington D. C., 3 vols.
5. DALLY and DEAN, R. G. (1984): Suspended Sediment Transport and Beach Profile evolution. Journal on Waterw, and Harb. Div. ASCE.
6. KOMAR, P. D. and DINMAN (1970): Longshore Sand Transport on Beaches. Journal of Geophys. Res., 75.
7. KRAUS, N. C., ISOBE, M et al. (1984): Field Experiments on Longshore Sand Transport in the Surf Zone. Proc. I.C.C.E.
8. Laboratorio de Puertos Ramón Iribarren (1979): Estudio de la dinámica litoral en la costa peninsular Mediterránea y Onubense. Provincias de Barcelona y Gerona. MOPU.
9. LOSADA, M. y S. ARCILLA, A. (1985): An Alternative Approach to Longshore Current evaluation. Proc. I.C.C.E., Taiwan. 1986.
10. PRICE, W. A., TOMLINSON, K. N. and D. H. VILLIS (1973): Predicting changes in the plane shape of beaches. Proc. 13th I.C.C.E.
11. S. ARCILLA, A. y A. VIDAOR (1986): Influence of breaker type on Surf Zone Dynamics. Proc. I.C.C.E., Taiwan. 1986.
12. S. ARCILLA, A. y A. VIDAOR (1986): Análisis hi-

drodinámico de la zona de Rompientes. Programa de Clima Marítimo. Dirección General de Puertos y Costas. MOPU.

13. S. ARCILLA y A. VIDAOR (1986): Delta del río Tordera. Análisis de la estabilidad costera. Dept. Puertos, Costas e Ing. Oc. E.T.S.I.C.C.P.B.
14. SAYAO, O. J. y J. KAMPHUIS (1984): Model Test on Littoral Sand Transport Rate. Proc. I.C.C.E.

A. Sánchez-Arcilla



El profesor Sánchez-Arcilla es actualmente Catedrático de Puertos y Director del Departamento de Puertos, Costas e Ingeniería Oceanográfica de la E.T.S.I.C.C.P. de la U.P.C. Ha realizado estudios de postgrado y especialización (Ing. Marítima) en diversas instituciones europeas. También es autor de monografías y publicaciones en distintas revistas españolas y extranjeras, habiendo realizado trabajos de investigación en colaboración con centros europeos y norteamericanos.

A. Vidaor



A. Vidaor es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la E.T.S.I.C.C.P. de la U.P.C. Ha realizado diversos trabajos de investigación aplicada en el campo de la Ing. Marítima dentro de su actividad en el Departamento de Puertos, Costas e Ingeniería Oceanográfica de la U.P.C. Es, asimismo, autor de distintos artículos y monografías.

