

SECCIÓN 1

INTRODUCCIÓN



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN

La ocupación y utilización de las zonas costeras ha ido constantemente en aumento a largo de los últimos siglos, siendo especialmente relevante lo acontecido en las últimas décadas con el desarrollo del turismo y las actividades de ocio asociadas al disfrute del mar. La presión a la que se ve sometida la costa queda patente con un simple dato: más de dos tercios de la población mundial reside en una franja adyacente a la costa de menos de doscientos kilómetros.

Dentro de la franja costera son las playas, sin duda, los elementos más valorados de la costa, tanto como lugar de residencia, como uso lúdico y como reclamo turístico. Son, por tanto, los ámbitos costeros que reciben una mayor afluencia humana.

Esta presión se ha traducido en un gran número de ocasiones en la ejecución de obras y actuaciones que, lejos de mejorar el uso y disfrute de la costa, ha generado una serie de problemas y efectos negativos sobre las áreas costeras, tales como procesos de erosión e inundación, entre otros (véase como ejemplo la figura 1.1).

Este contexto de enorme presión humana y lamentables efectos negativos debidos a actuaciones inadecuadas, ha suscitado en los últimos años una creciente demanda por mejorar el conocimiento y las herramientas de análisis de los procesos que acontecen en la costa.

En este sentido cabe señalar que a lo largo de los tiempos se han utilizado diferentes herramientas para estimar la evolución de las playas y, más concretamente, predecir la evolución de la línea de costa.

Hasta hace no muchos años, la predicción de la evolución de las playas estaba basada principalmente en la experiencia en casos similares y en los resultados de ensayos en modelo físico. Los problemas inherentes al modelado físico, entre los que se puede destacar los efectos de escala, el alto coste de los mismos y el elevado tiempo que conlleva la realización de ensayos, unido a los adelantos en la potencia y velocidad de los ordenadores, ha provocado la sustitución de los ensayos en modelo físico por la utilización de modelos numéricos.

Ahora bien, la complejidad, la gran variedad de escalas y la tridimensionalidad de los procesos involucrados en los fenómenos que intervienen en la evolución de las playas, tiene como consecuencia que en la actualidad no exista un único modelo que pueda ser aplicado en todo el rango de escalas y que pueda ser utilizado para estudiar cualquier problema que se presente.

Es así como surgen y se han desarrollado en los últimos años diferentes tipos de modelos numéricos destinados a predecir la evolución de las playas, variando desde los modelos sofisticados en 3D, a los modelos más simples en 1D. Sin embargo, el problema dista de estar solucionado, existiendo lagunas en el conocimiento científico que han de ser resueltas, como se mostrará en la presente Tesis.



Figura 1.1- Ejemplo de la erosión en un acantilado en Oregón (Estados Unidos)

1.2. ESTADO DEL ARTE

Con el fin de establecer las carencias existentes y, por tanto, como punto de partida del trabajo a desarrollar en esta Tesis, en el presente apartado se realiza una revisión bibliográfica de los diferentes tipos de modelos de evolución de playas existentes.

Se llama la atención al lector de que, con el objetivo de una mayor claridad en la lectura de este capítulo, en este apartado se presenta únicamente un breve resumen del análisis del estado del arte, pudiendo el lector interesado dirigirse al estudio detallado del estado del arte que se presenta en el anejo I de la Tesis.

1.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS DE EVOLUCIÓN DE PLAYAS

La evolución de la morfología costera involucra procesos físicos complejos que no pueden ser descritos exactamente en términos matemáticos. Las formulaciones utilizadas en el modelado son: o bien deterministas, basadas en leyes físicas conocidas, o bien empíricas, establecidas a partir de medidas en laboratorio y en campo.

Las dificultades principales que se encuentran en el estudio de las playas son: la gran variedad de escalas y la tridimensionalidad de los procesos involucrados. Consecuentemente, tal y como ya fue comentado, en la actualidad no existen modelos de predicción de evolución de playas que puedan ser aplicados en todo el rango de escalas y puedan ser utilizados para estudiar cualquier problema que se presente. Precisamente con la idea de solventar de alguna manera estas dificultades, se recurre a las clasificaciones, con las que se propone utilizar herramientas específicas para cada situación en particular.

Existen diferentes criterios para establecer las diversas tipologías de los modelos de evolución de playas, pudiéndose destacar los siguientes:

- ✓ En función del método de resolución se tienen modelos numéricos o bien soluciones analíticas.
- ✓ En función de la dirección espacial principal de la playa se pueden diferenciar los modelos de perfil o bien los modelos de planta.
- ✓ En función de la escala temporal de aplicación del modelo se distinguen los modelos de corto (horas-días), medio (días-años) o largo plazo (años-décadas).

✓ En función del “*tipo de modelo*” se encuentran los modelos a los que se les impone una tendencia al equilibrio (modelos de bucle cerrado) o bien los modelos que tratan de modelar los procesos físicos de pequeña escala (modelos de bucle abierto).

Así pues, en función del criterio que se elija, se pueden establecer diferentes clasificaciones en las que enmarcar los modelos existentes. Las principales clasificaciones que han ido apareciendo a lo largo del tiempo se pueden consultar en el anejo I (Kraus, 1983; Shimizu et al.,1996; Hanson, 2000 y Hanson et al., 2003). Con carácter ilustrativo, en la figura 1.2 se presenta una de ellas, en concreto la clasificación de Hanson (2000), la cual toma como referencia la propuesta por Hanson y Kraus (1989).

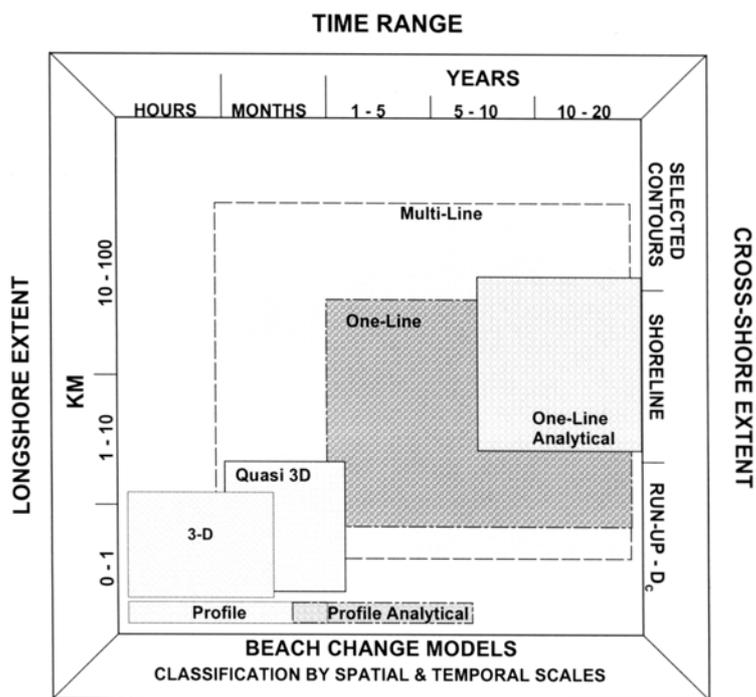


Figura 1.2- Clasificación de los diferentes modelos de evolución de playas (tomada de Hanson, 2000)

Básicamente, con esta clasificación se distinguen los siguientes modelos:

- Modelos de evolución de perfil en escalas de corto a medio plazo.
- Modelos 3D o Quasi-3D válidos igualmente para escalas de corto a medio plazo.
- Modelos Multi-líneas o N líneas en escalas de medio-largo plazo y los modelos de una línea en escalas de largo plazo.

1.2.2. TIPOS DE MODELOS DE EVOLUCIÓN DE PLAYAS

Con el objetivo de realizar un análisis más detallado de los diferentes modelos de evolución de playas, se van a estudiar clasificados en función de la escala temporal de aplicación: en un primer punto se van a analizar los modelos en el corto-medio plazo, distinguiéndose entre los modelos de evolución de perfil y los modelos de evolución en 3D, posteriormente se estudiarán los modelos en el largo plazo (modelos de una línea), y finalmente se analizarán los modelos de evolución que intentan ser aplicables en el medio-largo plazo.

1.2.2.1. Modelos de evolución en el corto-medio plazo

Dentro de este tipo de modelos, se van a diferenciar los modelos de evolución de perfil y los modelos en 3D.

1.2.2.1.1. MODELOS DE EVOLUCIÓN DE PERFIL

Estos modelos se utilizan para predecir la evolución de un perfil de playa en escalas temporales pequeñas (tormentas, días). Sin embargo, en el estado de conocimiento actual no son apropiados para predicciones en escalas temporales mayores. En períodos superiores a algunos días este tipo de modelos se desestabiliza y genera soluciones físicamente imposibles.

Los modelos de evolución de perfil simulan la evolución del perfil de playa causada principalmente por transporte transversal de sedimento. Así pues, las variaciones en el transporte longitudinal de sedimento no se tienen en cuenta, pues solamente se analiza un perfil a lo largo de la costa para cada instante de tiempo.

Básicamente los modelos numéricos de evolución de perfil se pueden diferenciar en dos grandes familias: los modelos de bucle cerrado o basados en una formulación de equilibrio y los modelos de bucle abierto, que tratan de modelar los procesos físicos en pequeña escala. Ambos tipos de modelos, así como ejemplos de los mismos, se encuentran descritos en el anejo I.

Dentro de los modelos de bucle cerrado se encuentran los siguientes:

- EDUNE (Kriebel, 1982; Kriebel y Dean, 1985).
- SBEACH (Larson y Kraus, 1989b).
- CROSS (Zheng y Dean, 1997).
- PEQUE (García, 2000).

Ejemplos de modelos de bucle abierto son:

- UNIBEST-TC (Stive y Battjes, 1984; Roelvink et al, 1995).
- LITCROSS (Brøker-Hedegaard et al., 1991).
- PETRA 2.0 (GIOC, 2001d).

1.2.2.1.2. MODELOS DE EVOLUCIÓN EN 3D

Los modelos de evolución de playas completamente en 3D calculan la hidrodinámica y los cambios morfológicos en un dominio en 3D. Este tipo de modelos se utiliza en la actualidad para calcular cambios en la topografía local de una playa y en un corto intervalo de tiempo, pues su empleo en el largo plazo no sólo requiere grandes tiempos de computación, sino que actualmente es todavía

cuestionable su validez (ya que se desestabilizan y generan soluciones físicamente imposibles). Además, debido al gran número de parámetros necesarios de entrada al modelo, es imprescindible una extensa verificación y análisis de sensibilidad previo.

Una variante de estos modelos son los modelos Quasi-3D (Briand y Kamphuis,1990; Roelvink et al.,1994), en los que se acopla un modelo vertical de dos dimensiones (2DV) con un modelo horizontal de dos dimensiones (2DH o modelo de área costera). El primer modelo calcula los perfiles de velocidad y el segundo determina la circulación costera, el transporte de sedimentos y los correspondientes cambios de la batimetría. Este tipo de modelo no es válido para las predicciones de largo plazo, requiere considerable tiempo de computación y de datos detallados para su verificación.

Los modelos 2DH son otra clase más convencional de los modelos de evolución de playas en 3D. El esquema seguido por los modelos 2DH consiste en utilizar las ecuaciones promediadas en la coordenada vertical z . De Vriend et al. (1993) se refirieron a esta clase de modelos como modelos de área costera de medio plazo 2DH.

Ejemplos de modelos 2DH son:

- LITPACK (DHI, 2001).
- 3D-SHORE (Shimizu et al., 1996).
- TELEMAC (Péchon y Teisson, 1996).
- MOPLA 2.0 (GIOC, 2001c).

Los modelos 2DH pueden estar acoplados a modelos de una línea con la intención de determinar las variaciones experimentadas por la línea de costa, denotándose en este caso como modelos híbridos (LITPACK, 3D-SHORE).

Finalmente se puede concluir que todos estos modelos en 3D son completamente deterministas y se basan en leyes físicas conocidas. Como la intención de estos modelos es predecir parámetros de procesos locales (oleaje, corrientes y transporte de sedimentos), requieren una base de datos detallada para la

calibración, verificación y análisis de sensibilidad. Además, requieren tiempos de computación relativamente grandes. A pesar de su alto grado de sofisticación y tiempo de cálculo extenso, la exactitud de este tipo de modelos es todavía cuestionable. Asimismo, involucran coeficientes empíricos, tales como los relacionados con la fricción en el fondo, con la mezcla turbulenta y con el transporte de sedimentos, que son pobremente conocidos. Integrando la distribución local calculada de transporte de sedimento transversalmente y para largos períodos de tiempo conduce a resultados erróneos, pues pequeñas imprecisiones locales se amplifican en el largo plazo. En consecuencia, no deben ser utilizados para estas escalas temporales.

1.2.2.2. Modelos de evolución en el largo plazo (modelos de una línea)

En este apartado se van a estudiar los modelos de evolución de la planta de las playas en el largo plazo (años a décadas). Los modelos más comunes de este tipo son los modelos de una línea o de línea de costa (one-line o shoreline models). Este tipo de modelos se ha venido utilizando en los últimos años por ser una herramienta que permite simplificar el problema real, requiriendo poco tiempo de ordenador para conseguir resultados. Sin embargo, los modelos actuales no pueden ser utilizados en escalas temporales más pequeñas, en las que es necesario tener en cuenta la variabilidad experimentada por el perfil de playa.

En los modelos de una línea, la evolución de la playa se representa por el cambio de la línea de costa. El cambio de la línea de costa se produce en este tipo de modelos por las variaciones del transporte longitudinal de sedimento a lo largo de la costa y en el tiempo. Se supone que el perfil de playa no cambia de forma y sólo se traslada paralelamente a sí mismo hasta la profundidad límite o profundidad de cierre, tal y como se puede observar en la figura 1.3.

Los efectos del transporte transversal de sedimento, tales como la erosión producida por tormentas o bien el movimiento cíclico de la posición de la línea de costa asociado con las variaciones estacionales del oleaje, no pueden ser representados con este tipo de modelos que asumen forma de perfil constante.

El primer modelo analítico de evolución de la línea de costa fue introducido por Pelnard-Considère (1956), siendo la teoría de una línea originaria de este autor.

Posteriormente con el avance en los ordenadores, se han ido desarrollando diferentes modelos numéricos de una línea, con los que se puede simular la evolución de la línea de costa para un amplio rango de playas, estructuras costeras, características de oleaje y condiciones de contorno.

Como ejemplos de estos modelos más generales se encuentran los siguientes:

- GENESIS (Hanson y Kraus, 1989).
- ONELINE (Kamphuis, 1993; Dabees y Kamphuis, 1997, 1998).

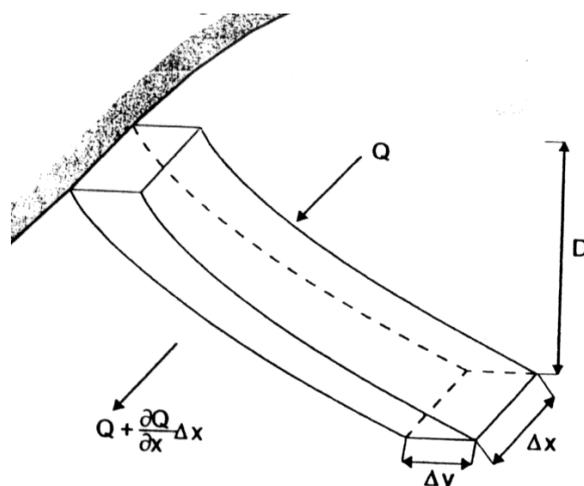


Figura 1.3- Representación esquemática de una playa con un modelo de una línea (tomada de Larson et al., 1997)

La ecuación de partida de los modelos de una línea corresponde a la ecuación de conservación de la masa de sedimento dentro del flujo turbulento (Abbott y Price, 1994). A partir de esta ecuación y realizando una serie de pasos que serán descritos en el capítulo 2 de la Tesis, se determina la ecuación básica de los modelos de una línea, que aparece indicada en la ecuación (1.1).

$$\boxed{\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = \pm q} \quad (1.1)$$

con: A el área transversal del perfil de playa, Q el transporte longitudinal de sedimento (volumen total por unidad de tiempo) y q un posible aporte (+) o pérdida (-) de sedimento (volumen total por unidad de longitud y por unidad de tiempo).

Utilizando la hipótesis fundamental de los modelos de una línea, la cual consiste en asumir que el perfil de playa no cambia de forma (ni en el tiempo, ni en el espacio) y sólo se traslada paralelamente a sí mismo hasta la profundidad límite o profundidad de cierre (también invariable en el tiempo y en el espacio), se define la variación del área transversal de la playa en función de la variación de la línea de costa, tal y como se presenta en la ecuación (1.2).

$$\boxed{\frac{\partial A}{\partial t} = D \frac{\partial y}{\partial t}} \quad (1.2)$$

donde: y indica la posición de la línea de costa y D representa una distancia en vertical en la cual se va a asumir que el perfil de playa se traslada, como queda indicado en la figura 1.3.

Introduciendo la ecuación (1.2) en la ecuación (1.1), se obtiene la ecuación que utilizan los modelos de una línea actuales, la cual aparece indicada mediante la expresión (1.3).

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \pm \frac{q}{D} - \frac{1}{D} \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (1.3)$$

Nótese que el único cambio de la línea de costa que se reproduce mediante la ecuación (1.3) es el asociado con las variaciones del transporte longitudinal de sedimento a lo largo de la costa y con los aportes o pérdidas puntuales de sedimento.

Asimismo, por el hecho de haber asumido un perfil de playa constante en el tiempo, se prescinde de la información del transporte transversal de sedimento. Esta es la razón por la que los modelos de una línea actuales sólo proporcionan soluciones válidas en el largo plazo (años a décadas), no pudiéndose representar los efectos del transporte transversal de sedimento, tales como la erosión producida por tormentas o bien el movimiento cíclico de la posición de la línea de costa asociado con las variaciones estacionales del oleaje.

Entre las hipótesis básicas que utilizan la mayoría de los modelos de una línea, se pueden destacar las siguientes (Hanson y Kraus, 1989):

1. El perfil de playa adopta una forma invariable en el tiempo y en el espacio.
2. Los límites entre los que se supone que el perfil de playa se traslada son invariables en el tiempo y en el espacio (según Hanson y Kraus, 1989, el límite en la costa viene marcado por la elevación de la berma y en el mar por la profundidad de cierre).
3. El transporte longitudinal de sedimento sólo se produce por la rotura del oleaje.
4. La estructura detallada de la circulación costera se ignora.
5. Existe una tendencia de largo plazo de la línea de costa.

En el anejo I se puede consultar una descripción más detallada de los modelos de una línea, soluciones analíticas, modelos numéricos, el modelo GENESIS, etc.

1.2.2.3. Modelos de evolución que intentan ser aplicables en el medio-largo plazo

Con la idea de ampliar el rango de aplicación de los modelos de una línea, se han desarrollado diferentes modelos que tratan de incorporar la variabilidad del perfil de playa. Estos modelos se han clasificado en los tres grupos siguientes:

- Modelos de una línea con término de transporte transversal de sedimento.
- Modelos híbridos.
- Modelos de N líneas.

1.2.2.3.1. MODELOS DE UNA LÍNEA CON TÉRMINO DE TRANSPORTE TRANSVERSAL DE SEDIMENTO

Dabees y Kamphuis (1997, 1998) plantearon un modelo de una línea denominado ONELINE, en el que se trató de introducir el transporte transversal de sedimento. Con esta idea, en la ecuación 1.1, el término que representa un aporte o pérdida de sedimento constante por unidad de longitud (denotado como q) fue modificado, pasando a representar la suma del anterior término con un término de transporte transversal de sedimento.

Siguiendo la misma línea, Hanson et al. (1997) y Hanson y Larson (1998) trataron de incorporar al modelo de una línea las variaciones estacionales de la línea de costa. En esta ocasión, el término q de la ecuación 1.1 representó el transporte transversal de sedimento.

Aunque en el anejo I se pueden consultar más detalles de los modelos analizados, como resultado del estudio realizado se concluye que este tipo de modelos, al incluir el término de transporte transversal de sedimento como condición de contorno, tratan de resolver el problema de una manera artificial, pero no tienen en cuenta los cambios experimentados en el perfil de playa por la redistribución del sedimento dentro del mismo.

1.2.2.3.2. MODELOS HÍBRIDOS

El fundamento de los métodos híbridos consiste en acoplar un modelo de una línea con un modelo de evolución del perfil de playa.

Uno de los primeros métodos híbridos para determinar la evolución de las playas fue propuesto por Hashimoto y Uda (1980). Estos investigadores aplicaron las autofunciones empíricas para predecir la evolución del perfil de playa. Así pues, la continuidad del material del fondo se estableció con el modelo de línea de costa y el perfil se describió con las autofunciones.

Posteriormente, Larson et al. (1990) presentaron un modelo híbrido, denominado 3DBEACH, que consistía en el acoplamiento del modelo de evolución de una línea GENESIS, con el modelo de evolución de perfil SBEACH (Larson y Kraus, 1989b). En este modelo híbrido el transporte longitudinal y el transporte transversal de sedimento son tratados independientemente.

Shimizu et al. (1996) presentaron un modelo híbrido, el modelo 3D-SHORE, en el que se utilizaba un modelo de una línea para determinar la evolución de la línea de costa acoplado a un modelo de evolución de playa en 3D para determinar la batimetría y la evolución de la morfología de la playa (nótese que el modelo 3D-SHORE fue clasificado en el apartado 1.2.2.1.2. como modelo 2DH).

Entre los modelos híbridos más recientes, se encuentra el incluido en el paquete LITPACK del Danish Hydraulic Institute (véase DHI, 2001). Este paquete combina diferentes módulos para determinar la posición de la línea de costa: con una serie de módulos se determina la hidrodinámica y el transporte de sedimento mediante un esquema en 2DH y, finalmente, el módulo LITLINE calcula la posición de la línea de costa. Este último módulo resuelve la ecuación de conservación de sedimento para determinar la posición de la línea de costa, tomando como dato de partida el transporte de sedimento proporcionado por otros módulos del paquete LITPACK.

Como conclusión del estudio de los modelos híbridos anteriores (véase anejo I para más detalles), se deriva que el acoplamiento de dos modelos puede ser una

herramienta idónea con el fin de disponer de un modelo de evolución en el medio-largo plazo. Sin embargo, los modelos existentes presentan problemas que limitan su uso. Así por ejemplo, es cuestionable la utilización de los modelos 2DH de bucle abierto para determinar la evolución de las playas en el largo plazo (como los empleados en el modelo 3D-SHORE o el incluido en el paquete LITPACK), pues es conocido que este tipo de modelos puede llegar a desestabilizarse y generar soluciones físicamente imposibles. Por otro lado, la interacción planta perfil de alguna de las propuestas de este apartado, como es el caso del modelo 3DBEACH, es demasiado débil y no refleja la realidad de la evolución de las playas. Así pues, a pesar de las limitaciones detectadas en este último modelo, sí que se considera más adecuada la vía seguida por éste, al utilizar un modelo de evolución de perfil de bucle cerrado.

1.2.2.3.3. MODELOS DE N LÍNEAS

Los modelos de N líneas surgen precisamente con la idea de incorporar la variabilidad del perfil de playa en los modelos de una línea, intentando extender el rango de aplicación de estos últimos al medio plazo. Así pues, pretenden introducir a los modelos de evolución en planta o modelos de una línea la información del perfil de playa.

En los modelos de N líneas se realiza un seguimiento no sólo de la línea de costa, sino también de N contornos, entre los que se establece una conexión a través de un intercambio de transporte transversal de sedimento (véase la figura 1.4 en la que aparece una representación esquemática de una playa con un modelo de N líneas). Consecuentemente, estos modelos se pueden describir como un conjunto de modelos de una línea conectados por el intercambio de transporte transversal de sedimento.

Los modelos de N líneas, partiendo de la teoría de una línea, tratan de aproximarse a una descripción en 3D de la evolución de la playa. Describen cambios en la topografía del fondo en ambas direcciones, tanto la longitudinal como la transversal, bajo hipótesis simplificadoras que restringen la forma del perfil.

El primer modelo de este tipo fue un modelo de dos líneas (Bakker, 1968). Posteriormente Perlin y Dean (1978, 1983) desarrollaron un modelo de N líneas relativamente sofisticado para determinar el cambio de los contornos de la playa. Hasta la fecha se ha seguido investigando sobre los modelos de N líneas, encontrándose entre estos modelos recientes los siguientes:

- NLINE propuesto por Dabees y Kamphuis (1999, 2000).
- INLINE desarrollado por Hanson y Larson (2000).

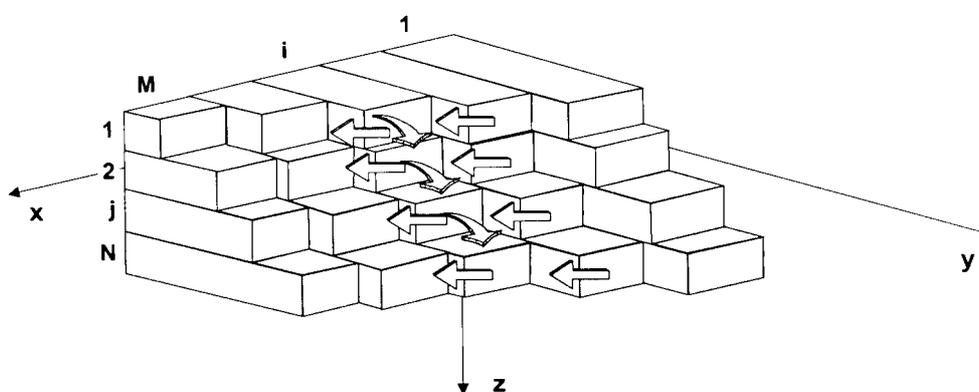


Figura 1.4- Representación esquemática de una playa con un modelo de N líneas (tomada de Hanson y Larson, 2000)

Los modelos actuales de N líneas, en principio podrían llegar a ser aplicados en situaciones con escalas temporales de meses a décadas y con escalas espaciales de unos pocos cientos de metros a unos cientos de kilómetros. Sin embargo, este tipo de modelos necesita mucho más tiempo de ordenador comparado con el que requieren los modelos de una línea. Asimismo, debido a la pérdida del fenómeno físico involucrado al intervenir el intercambio de transporte transversal de sedimento para el que no se han establecido expresiones fiables cuantitativamente, los modelos de N líneas no se han utilizado mucho en aplicaciones ingenieriles.

En el anejo I se ha realizado un estudio detallado de los diferentes modelos de N líneas que han ido apareciendo a lo largo del tiempo.

1.3. CONCLUSIONES DEL ESTADO DEL ARTE

Después del estudio realizado del estado del arte de los modelos de evolución de playas, se derivan las siguientes conclusiones:

- ❖ Se verifica que no existen en la actualidad modelos de predicción de evolución de playas que puedan ser aplicados en todo el rango de escalas y puedan ser utilizados para estudiar cualquier problema que se presente.

- ❖ Aunque en el corto-medio plazo y en el largo plazo se dispone de herramientas específicas para estudiar la evolución de las playas, existe un vacío en cuanto a modelos de evolución aplicables en el medio-largo plazo.

- ❖ La mayoría de los modelos de evolución existentes que intentan ser aplicables en escalas de medio-largo plazo se basan en modelos de una línea.

- ❖ Resolver el medio plazo requiere de la incorporación de la variabilidad del perfil de playa a los modelos de evolución de la planta de las playas en el largo plazo o modelos de una línea.

- ❖ De las tres opciones diferenciadas en la literatura (modelos de una línea con término de transporte transversal de sedimento, modelos híbridos, modelos de N líneas) con las que se ha intentado desarrollar una herramienta para el medio-largo plazo, se considera más adecuada la opción de utilizar un modelo híbrido que incorpore un modelo de evolución de perfil de bucle cerrado o basado en una formulación de equilibrio.

1.4. OBJETIVOS DE LA TESIS

De acuerdo con el análisis del estado del arte efectuado en el anterior apartado y las lagunas de conocimiento señaladas, se plantea como objetivo general de la Tesis el “desarrollo de un modelo de evolución de playas aplicable en escalas de medio-largo plazo”.

Con el fin de establecer tal modelo, se deben resolver los siguientes problemas:

1. Se deben derivar las ecuaciones generales de conservación del sedimento, sin introducir ningún tipo de hipótesis con respecto al perfil de playa. Nótese que la mayoría de los modelos tradicionales de una línea utilizan unas ecuaciones simplificadas, con las limitaciones consecuentes asociadas.

2. Se debe desarrollar un modelo de evolución de perfil que incorpore el perfil completo de playa.

Por otro lado, y como objetivo específico concreto del trabajo, se plantea la aplicación del modelo de evolución de medio-largo plazo al estudio de la evolución de las playas en zonas donde los procesos de refracción-difracción son los preponderantes. Con este fin, se deben resolver los siguientes problemas:

1. Se debe establecer un método adecuado para la determinación de las características del oleaje en rotura en estas zonas.

2. Se debe proponer una formulación de perfil de equilibrio en zonas de refracción-difracción (con la intención de incorporar la variabilidad del perfil de playa).

1.5. ESTRUCTURA DE LA TESIS

Con la finalidad de desarrollar los objetivos establecidos en el punto anterior, la Tesis se compone de las siguientes secciones, las cuales a su vez están constituidas por capítulos:

□ SECCIÓN 1. INTRODUCCIÓN

▪ **Capítulo 1. *Introducción.*** En este capítulo se presenta la motivación de la Tesis, se realiza una revisión de los diferentes modelos de evolución de playas, se determinan las conclusiones y se plantean los objetivos de la Tesis.

□ SECCIÓN 2. FUNDAMENTOS Y DESARROLLO DEL MODELO DE EVOLUCIÓN DE MEDIO-LARGO PLAZO

▪ **Capítulo 2.** *Ecuaciones generales de conservación del sedimento.* En este capítulo se derivan las ecuaciones generales de conservación del sedimento.

▪ **Capítulo 3.** *Métodos de determinación de la variación de la línea de costa.* En este capítulo se describen los diferentes métodos de determinación de la variación de la línea de costa existentes en la actualidad, prestándose especial atención a los métodos que utilizan los modelos de evolución de playas en el largo plazo y detectándose las deficiencias de los mismos.

▪ **Capítulo 4.** *Desarrollo del modelo de evolución con perfil de forma constante y profundidad límite variable.* En este capítulo se desarrolla el primero de los dos modelos de evolución que se proponen en la Tesis y que corresponde al modelo de evolución con perfil de forma constante y profundidad límite variable.

▪ **Capítulo 5.** *Desarrollo del modelo de evolución de medio-largo plazo.* En este capítulo se desarrolla el segundo de los dos modelos de evolución que se proponen en la Tesis y que corresponde al modelo de evolución de medio-largo plazo.

□ SECCIÓN 3. OLEAJE EN ROTURA EN ZONAS DE REFRACCIÓN-DIFRACCIÓN EN LOS MODELOS DE EVOLUCIÓN DE PLAYAS

▪ **Capítulo 6.** *Métodos previos para la determinación del oleaje en rotura en zonas de refracción-difracción.* En este capítulo se analizan las características del oleaje en rotura en zonas de refracción-difracción determinadas por los principales modelos de evolución de playas de largo plazo existentes en la actualidad.

▪ **Capítulo 7.** *Método propuesto para la determinación del oleaje en rotura en zonas de refracción-difracción.* En este capítulo se describe el método

propuesto para la determinación de las características del oleaje en rotura en zonas de refracción-difracción.

□ **SECCIÓN 4. PERFIL DE EQUILIBRIO EN ZONAS DE REFRACCIÓN-DIFRACCIÓN**

▪ **Capítulo 8.** *Antecedentes y descripción de los datos de campo.* En este capítulo se estudian los antecedentes del problema de la variabilidad espacial del perfil de playa en zonas de refracción-difracción y se describen los datos de campo con los que se ha contado para la realización de la Tesis.

▪ **Capítulo 9.** *Formulación de perfil de equilibrio en zonas de refracción-difracción.* En este capítulo se desarrolla la formulación de perfil de equilibrio en zonas de refracción-difracción.

▪ **Capítulo 10.** *Calibración con datos de campo y discusión de la formulación propuesta.* En este capítulo se realiza la calibración con datos de campo de los parámetros de la formulación propuesta en el anterior capítulo. Asimismo, se lleva a cabo una discusión de la formulación desarrollada.

▪ **Capítulo 11.** *Procedimiento para la determinación del perfil de equilibrio en zonas de refracción-difracción.* En este capítulo se detalla el procedimiento propuesto para la determinación del perfil de equilibrio en zonas de refracción-difracción.

□ **SECCIÓN 5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO**

▪ **Capítulo 12.** *Conclusiones y Futuras líneas de trabajo.* En este capítulo se especifican las conclusiones derivadas en la presente Tesis, así como se proponen las futuras líneas de trabajo.

□ SECCIÓN 6. REFERENCIAS

▪ **Capítulo 13. Referencias.** En este capítulo se presentan las referencias que se incluyen en la Tesis.

□ SECCIÓN 7. ANEJOS

Adicionalmente a los capítulos descritos, la presente Tesis está compuesta de los siguientes anejos:

▪ **Anejo I. Estado del arte de los modelos de evolución de playas.** En este anejo se lleva a cabo una descripción detallada de los diferentes modelos de evolución de playas que han ido apareciendo a lo largo del tiempo.

▪ **Anejo II. Características esenciales del modelo numérico de propagación de oleaje MSP.** En este anejo se describen las características esenciales del modelo numérico de propagación de oleaje MSP referenciado en la sección 3 de la Tesis.

▪ **Anejo III. Batimetría, tamaños de grano y localización de los perfiles de playa.** En este anejo se presentan varias características (batimetría, tamaños de grano, foto aérea y localización de perfiles) de cada una de las playas que constituyen la base de datos con la que se ha contado para la elaboración de la sección 4 de la Tesis.

▪ **Anejo IV. A_r medido frente al de la formulación de González et al. (1997).** En este anejo se presenta la comparación efectuada, para todas las playas de la base de datos utilizada, entre los parámetros de forma de refracción de los perfiles medidos, con respecto a los correspondientes parámetros determinados con la formulación propuesta por González et al. (1997).

▪ **Anejo V. Comparación $A_{ref-dif}$ medido frente al de la formulación propuesta.** En este anejo se presenta la comparación efectuada, para todas las playas de la base de datos utilizada, entre los parámetros de forma en zona de refracción-difracción de los perfiles medidos, con respecto a los correspondientes parámetros

determinados con la formulación propuesta en la presente Tesis para ambas opciones: playas existentes y diseño de playas (carácter predictivo).

▪ **Anejo VI.** *Aplicación de la metodología propuesta para las playas no desarrolladas.* En este anejo se especifica la metodología a seguir para la utilización de la formulación propuesta de perfil de equilibrio en zonas de refracción-difracción en el caso de playas no desarrolladas, aplicándose a las playas de este tipo existentes en la Tesis.

