

Capítulo 1. El sistema costero

1.1 Introducción

Las costas litorales alrededor del mundo, comprenden la frontera natural entre el mar y la tierra, además son ambientes geológicos únicos por su composición y procesos físicos que las afectan. Las costas están compuestas por sedimentos de diversos tamaños y características, desde sedimentos no cohesivos como la grava y la arena, hasta sedimentos cohesivos como arcillas y limos. Este material está expuesto al constante embate del clima marítimo (oleaje, corrientes y vientos) que se encarga de darle forma a los ambientes costeros.

El oleaje se genera como resultado de la transferencia de energía por parte de la atmósfera al océano, por medio de los vientos incidentes sobre la superficie del mar, en áreas de gran magnitud. A pesar de las dimensiones del área de generación, la energía del oleaje es disipada en una pequeña área cercana a la costa, conocida como zona de rompientes. La rotura del oleaje en esta zona, es responsable de la transformación del oleaje de un patrón ordenado de movimiento oscilatorio, a uno caótico donde la turbulencia y las corrientes generadas movilizan y suspenden al sedimento que conforma la playa. Las corrientes generadas pueden así transportar grandes cantidades de sedimento en ambas direcciones (longitudinal y transversal), y en algunos lugares pueden alcanzar volúmenes tan grandes como cientos de miles de metros cúbicos de arena al año.

En México, la alta incidencia de nortes y huracanes sobre las playas, representa el principal generador de problemas de erosión e inundación costera a lo largo del litoral. Para citar un ejemplo, en la costa tabasqueña se ha documentado la erosión del litoral que mantiene en la incertidumbre a la población que vive en los puntos críticos de Sánchez Magallanes, la Barra de Tupilco, el ejido El Alacrán y la Barra de Panteones. En los últimos años, Tabasco ha registrado una pérdida de más de 300 metros de playa a lo largo de 120 kilómetros de sus costas (ver Figura 1.1).



Figura 1.1 Panel Izquierdo -Oleaje de tormenta; Panel derecho - Efectos erosivos sobre la costa tabasqueña en Sánchez Magallanes.

Las playas representan la primera línea de defensa de las costas ante la acción de tormentas, siendo una franja relativamente estrecha de terreno, su importancia es vital, dado que es aquí donde se disipa la energía del oleaje. Por ejemplo, una playa con suficiente disponibilidad de sedimento expuesta a una tormenta, modifica su configuración, generando una serie de barras sumergidas que producen la rotura de olas grandes, con lo que se disipa su energía antes de llegar a la costa (el sistema se auto protege).

En consecuencia, es deseable incrementar el conocimiento sobre los mecanismos físicos que estabilizan las playas, de tal suerte que su conservación sea sustentable y las estrategias de manejo costero trabajen en conjunto con los procesos físicos presentes en la costa. Más aún, si se considera la importancia económica de estas regiones, la cual está asociada entre muchas otras actividades, al turismo, las operaciones portuarias y la obtención de recursos naturales (pesca y acuicultura).

Los ambientes sedimentarios costeros están sujetos a una gran variabilidad en su morfología y características sedimentarias, ya que estos responden con gran sensibilidad a las fuerzas que actúan sobre ellos, una de las formas más evidentes de los cambios que sufre la costa, corresponde a la variación del perfil de la playa (i.e. corte transversal) ante la acción del oleaje. Así entonces, las playas pueden presentar perfiles característicos para cada época del año (asociados a las variaciones estacionales de la energía del oleaje). Esto se debe, a que existe un

balance delicado entre las fuerzas que tienden a depositar arena sobre la costa (constructivas) y aquellas que erosionan el material de la playa (destructivas).

En general, se ha observado que existe tendencia a la deposición de material cuando el oleaje posee poco peralte (i.e. asimetría vertical), con valores de H_0/L_0 menores a 0.03 (donde H_0 y L_0 representan la altura y longitud de ola en aguas profundas). Por otro lado, es común observar procesos erosivos en las playas cuando el oleaje está muy peraltado, valores de H_0/L_0 mayores a 0.03 (Johnson, 1956).

A pesar de que las playas varían ampliamente en apariencia y composición, los principios que gobiernan su configuración morfológica son los mismos. El mecanismo básico para la generación de cambios morfológicos en una playa, consiste en la interacción entre el flujo asociado al oleaje (i.e. movimiento oscilatorio) y los sedimentos que la componen. Evidentemente, la cantidad de material transportado es función directa de la velocidad del flujo, y en el caso de la zona de rompientes, de la turbulencia generada durante la rotura del oleaje y los gradientes de velocidad y presión que se generan.

Una vez que los granos son puestos en suspensión por el flujo, los sedimentos son susceptibles a ser transportados a lo largo de la costa por corrientes inducidas por el oleaje. Naturalmente, la variación en las condiciones hidrodinámicas de una playa, y la interacción que se observa entre el flujo y los sedimentos determina en gran medida la respuesta morfológica de cualquier playa. Así entonces, para entender cómo se producen los cambios en la línea de costa, es necesario entender la dinámica litoral y su relación con el transporte de sedimentos.

Antes de entrar a la descripción del proceso de rotura, se integra la descripción del sistema costero y su morfodinámica. En consecuencia, el presente capítulo está organizado de la siguiente forma, en primer lugar se presentan los componentes del sistema costero morfodinámico, posteriormente se habla de las condiciones externas e internas del mismo y finalmente se presentan las características generales de las playas.

1.2 Componentes del sistema costero morfodinámico

Wright y Thom (1977) estuvieron entre los primeros investigadores en aplicar un enfoque de sistemas a la configuración de una línea de costa. Ellos observaron en un ambiente costero, un sistema dinámico con variables de entrada y salida de energía y material claramente identificables, que están controladas por las condiciones del medio ambiente (ver Figura 1.2).

Wright y Thom (1977) fueron los primeros en introducir el concepto de “morfodinámica costera” para su enfoque y definieron morfodinámica como “el ajuste mutuo entre la topografía y la dinámica de fluidos que involucra al transporte de sedimentos”. Esta visión morfodinámica, se ha subsecuentemente convertido en un paradigma dentro del estudio de la evolución costera.

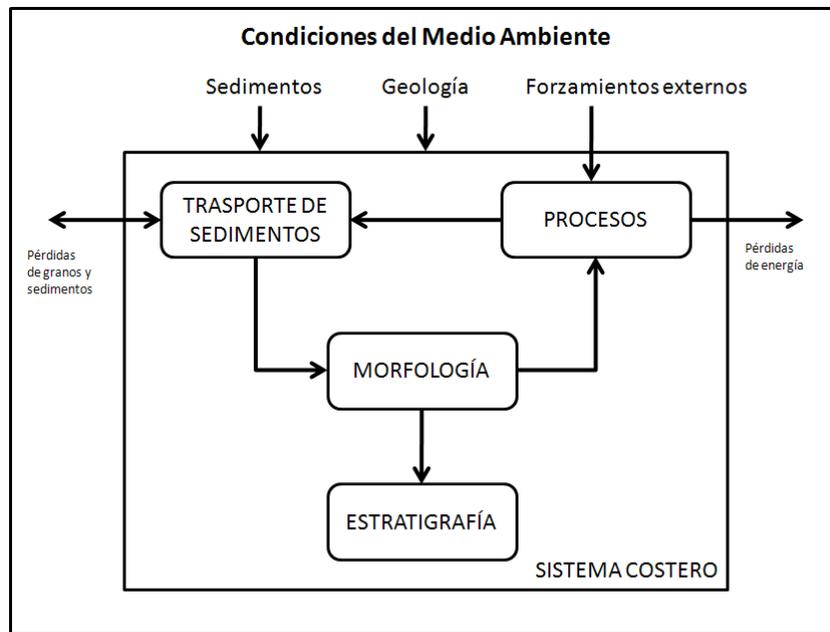


Figura 1.2 Componentes primarios involucrados en morfodinámica costera. La interacción iterativa entre la morfología y los procesos es responsable de la complejidad observada en la evolución costera (Pedrozo-Acuña, 2010).

1.2.1 *Condiciones externas del sistema costero*

Las condiciones externas del sistema costero, son aquellas asociadas al medio ambiente y representan el conjunto de factores estáticos y dinámicos que impulsan y controlan los cambios en los sistemas costeros (Wright y Thom, 1977). No están afectados por el sistema costero en sí mismo y se les considera como las condiciones de frontera del sistema. Las principales condiciones externas del sistema son la geología, los sedimentos y los forzamientos externos.

- **Geología:** comprende el estado inicial de las fronteras solidas, incluyendo geología regional o local y el estado morfológico de la región, es decir, la plataforma continental, la configuración de la línea de costa y la litología. Regionalmente, la configuración de la línea de costa puede ser importante para el control de los procesos de transformación del oleaje. La litología es un factor importante, ya que dependiendo de las características del material será la tasa de erosión y el desarrollo transversal de los acantilados.
- **Sedimentos:** sus aspectos más importantes son su naturaleza y la abundancia del material no consolidado. La disponibilidad del sedimento depende de la ubicación del volumen de las fuentes junto con los procesos de transporte. Están compuestos de materiales que varían física y químicamente de un lugar a otro; siendo las variaciones más importantes aquellas relacionadas con el tamaño de grano y el contenido de carbonatos. Los depósitos de grava son comunes en áreas donde la costa ha sufrido glaciaciones. Los sedimentos arenosos son característicos de zonas costeras y plataformas continentales en latitudes medias. Mientras que los sedimentos lodosos son más comunes en áreas húmedas con temperaturas tropicales.
- **Forzamientos externos:** Son aquellos procesos que proveen la energía necesaria para la evolución del sistema. Algunos aspectos importantes son la frecuencia, magnitud y carácter de las fuentes de energía externas. Las mayores fuentes de energía costera son atmosféricas (vientos y clima), terrestres (descarga del río) y marinas (oleaje, mareas, corrientes y otros fenómenos oceanográficos).

1.2.2 *Condiciones internas del sistema costero*

El sistema costero está controlado por las condiciones del medio ambiente que operan más allá de sus fronteras y de acuerdo a la definición de Cowell y Thom (1994) se compone de cuatro componentes principales:

- **Procesos:** comprende todos los procesos que ocurren en los ambientes costeros, que generan y afectan el transporte de sedimentos. Los más importantes son los procesos hidrodinámicos (oleaje, mareas y corrientes) y aerodinámicos (vientos).
- **Transporte de sedimentos:** la interacción entre un flujo en movimiento y un fondo móvil, induce esfuerzos cortantes en el fondo que pueden resultar en la incorporación de material en el flujo para su transporte. Los patrones de erosión y deposición se evalúan a través del balance de sedimentos. Si el balance de sedimentos es positivo (i.e. más sedimentos entran a una región costera de los que salen) ocurrirá una deposición de material; mientras que en un balance negativo de sedimentos (i.e. más sedimentos salen de la región costera de los que entran) resultará en erosión.
- **Morfología:** se refiere a la superficie tridimensional de una costa (i.e. dunas, deltas, estuarios, arrecifes de coral, plataformas costeras). Los cambios en la morfología de la costa son el resultado de la erosión y la deposición del material. Estos pueden ser cualitativamente evaluados a través de la disponibilidad del sedimento o cuantitativamente por medio de la ecuación de continuidad del sedimento (ecuación 2.1).

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dQ}{dx} + \frac{dQ}{dy} \quad (\text{ecuación 2.1})$$

donde:

V = volumen

Q = transporte de sedimentos

t = tiempo

x = coordenada transversal

y = coordenada longitudinal

- **Estratigrafía:** conforme la formación costera evoluciona en el tiempo, el efecto integrado de los cambios morfológicos queda grabado en la estratigrafía de la formación misma. Por ejemplo, la colmatación de un estuario en el tiempo con sedimentos fluviales y marinos. Estos sedimentos serán depositados a lo largo de las márgenes del río y en el fondo del estuario, con lo que la estratigrafía resultante del mismo conformará un registro parcial de su evolución. Las secuencias estratigráficas son el registro histórico de la deposición del material, mientras que los eventos erosivos se representan por huecos en este registro.

1.3 La playa

Las playas son de las geoformas costeras más importantes y ampliamente distribuidas. Cada playa según su localización, responde a condiciones geológicas y procesos físicos únicos. Una playa está definida como una acumulación de sedimentos no consolidados en el borde de un cuerpo de agua, con inclinación hacia el agua (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). El límite hacia tierra está marcado por un cambio abrupto en la pendiente, donde nacen los rasgos geomorfológicos conocidos como dunas o acantilados. La playa, es la parte de la costa que presenta modificaciones de forma constante y puede estar compuesta de cualquier tipo y tamaño de sedimentos. Su pendiente es moldeada por la acción del oleaje, siendo este el principal agente de cambio en la forma de la playa, pero no el único (i.e., mareas, viento, etc.).

Tal y como se muestra en la Figura 1.3, el perfil de la playa, corte transversal de la misma perpendicular a la costa, esta generalmente compuesto de cuatro secciones: Offshore, zona de cercanías de la costa, la playa y la costa. Dentro de la zona de cercanías de la costa, se encuentra la región de someramiento, donde comienza el peralte de la ola (i.e. asimetría vertical) y la de rompientes donde rompen las olas y se genera la turbulencia asociada a la rotura el oleaje.

Para determinar la respuesta del perfil de la playa ante las condiciones de oleaje incidente, es necesario entender los procesos físicos asociados a las condiciones de flujo dentro de la zona de

rompientes. Estas limitaciones están parcialmente adscritas a la carencia de técnicas de medición en esta región, donde ocurren la mayor parte de los cambios morfológicos de una playa, ya que en esta zona el flujo se caracteriza por ser altamente no lineal y turbulento.

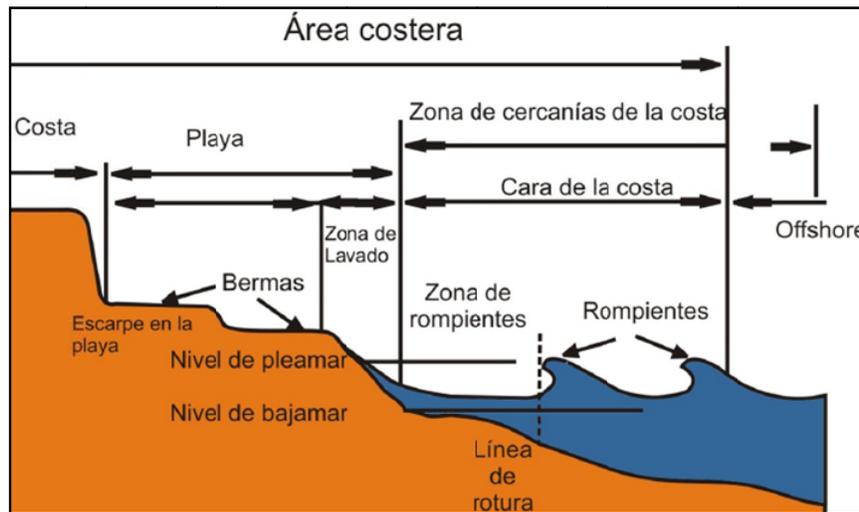


Figura 1.3 Terminología del perfil de playas (Pedrozo-Acuña, 2010).