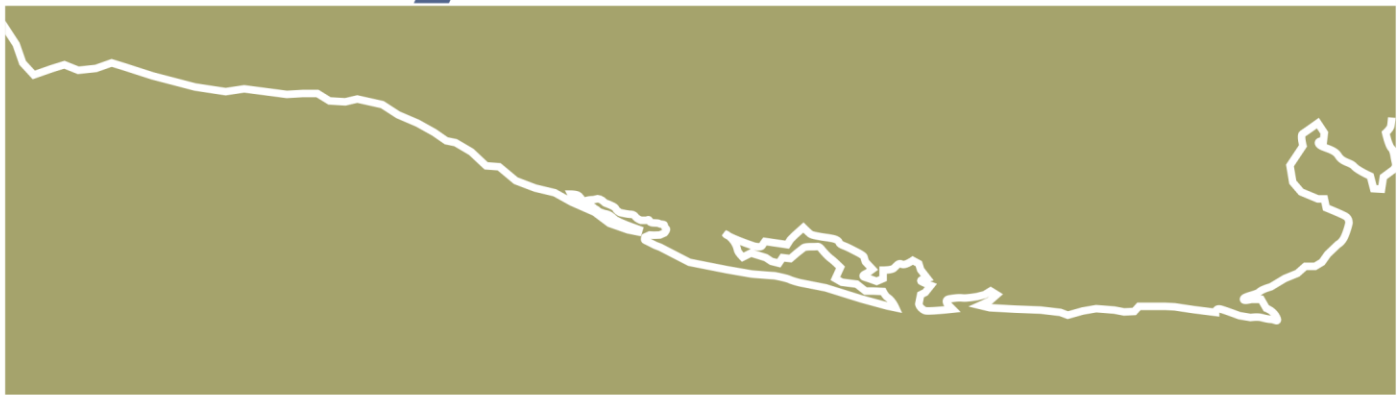


Morfología de Playas



Dirección General del Observatorio Ambiental



MARN Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Una gestión enérgica, articulada, inclusiva, responsable y transparente



INTRODUCCIÓN

Los sistemas dunares costeros son acumulaciones sedimentarias arenosas que se sitúan en áreas próximas a ambientes intermedios suministradores de sedimento, arenosos o mixtos, de los que dependen estrechamente. Los campos dunares más comunes se encuentran adosados a áreas posteriores a la playa, si bien antiguos depósitos arenosos eólicos pueden estar desconectados actualmente de su área fuente debido a cambios eustáticos¹ o epirogenéticos².

El establecimiento del balance sedimentario de una playa es fundamental desde el punto de vista del desarrollo de los sistemas dunares costeros, puesto que permiten determinar si el sistema es regresivo, está en equilibrio o es progradante.

Para poder realizar una gestión adecuada de los sistemas dunares es necesario poseer el conocimiento adecuado de los procesos que acontecen en los mismos y de los efectos que las actuaciones humanas tienen sobre su morfología y estabilidad.

En este documento se presentaran la morfología y los procesos físicos que afectan a las playas como parte del sistema playa-duna asociada.

MORFODINÁMICA DE LAS PLAYAS

Las playas sufren cambios batimétricos bajo la acción del oleaje, corrientes y viento. Los modelos de evolución de playas integran todas o algunas de estas dinámicas con el objetivo de predecir su evolución.

El modelado del flujo en la zona de rompientes y de la interacción flujo-sedimento para el establecimiento de los modelos de transporte, sólo se puede realizar imponiendo numerosas simplificaciones. Como resultado, aún en el supuesto de que las acciones sean conocidas, no existe ningún modelo de evolución tridimensional de playas que sea capaz de predecir las variaciones a corto y medio plazo en el tiempo y de pequeña y media escala en el espacio. Por otro lado, es necesario tener en cuenta la naturaleza aleatoria de las acciones.

¹ El eustatismo es la variación del nivel del mar respecto a los continentes, supuestamente inmóviles.

² La epirogenesis consiste en un movimiento vertical de la corteza terrestre a escala continental

Cualquier modelo de evolución de playas tiene que tener en cuenta esta aleatoriedad, mediante el adecuado tratamiento estadístico de las variables de entrada y de los resultados.

En este documento se presenta, la definición de algunos términos, conceptos, procesos y modelos involucrados en la descripción de la morfodinámica de playas.

En esta descripción se separa la definición de las formas en el perfil de playa de las formas características en planta. Cuando la variación longitudinal de las características morfológicas de una playa es muy pequeña, se podrá asumir que la playa es bidimensional y podrá ser descrita por las características de su perfil. En el caso general de que las variaciones longitudinales sean importantes, la playa será tridimensional y se requerirá un número determinado de perfiles y su definición en planta para la descripción morfológica completa de la playa.

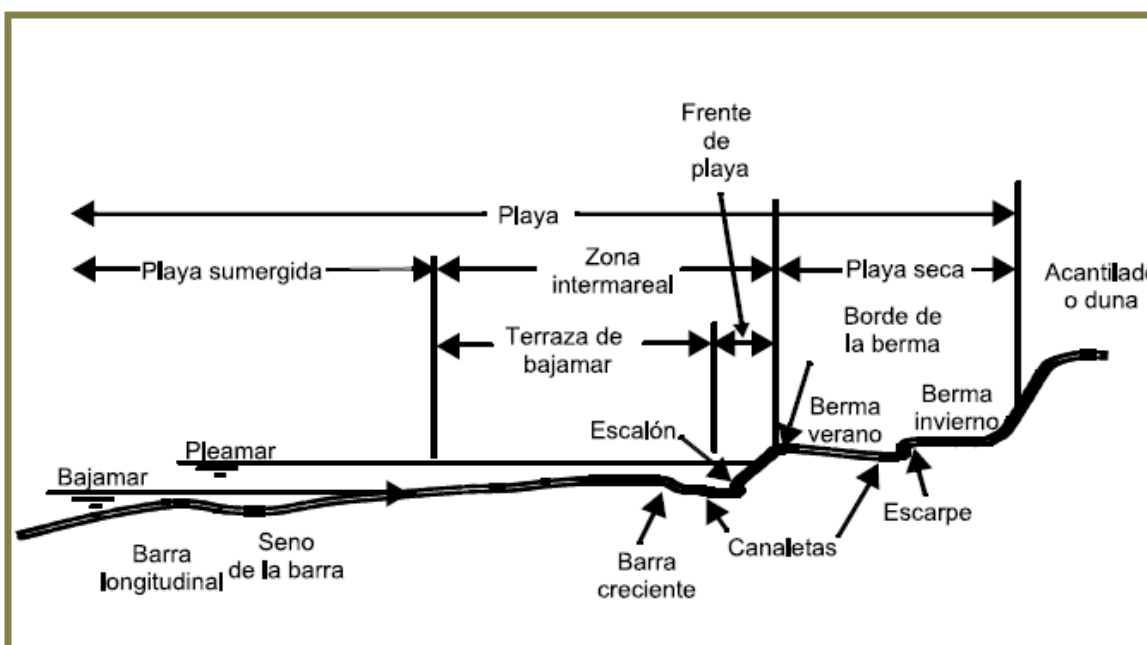


Fig.No.1 Partes que componen una playa.



DEFINICIONES SOBRE LA MORFOLOGÍA DEL PERFIL.	
TÉRMINO	DEFINICIÓN
Perfil de playa	Variación de la profundidad con la distancia a la línea de costa, en dirección normal a la misma.
Línea de costa	Línea determinada por el nivel de la pleamar.
Playa seca	Zona del perfil de playa comprendida entre el límite de tierra de la playa y el nivel alcanzado por el oleaje en pleamar. Este segundo límite suele coincidir con el borde de la berma o el inicio del frente de playa.
Berma	Zona semi-horizontal de la playa seca formada por la acumulación de sedimento debida al oleaje. Su límite por el lado del mar es el brusco cambio de pendiente que se produce hacia el frente de playa, denominado borde de la berma. Cuando, tras una temporada de gran actividad del oleaje, se sucede un período de calma, una nueva berma, berma de verano se puede añadir a la anterior, berma de invierno, con un nivel horizontal inferior (debido a que el ascenso del oleaje es inferior). Marcando la separación entre las dos bermas puede haber una zona de mayor pendiente, correspondiente al frente de playa de invierno.
Escarpe	Escalón vertical en la playa seca formado por la erosión de la berma producida por un temporal.
Zona intermareal	Zona de la playa comprendida entre el borde de la berma y el la línea de máxima bajamar.
Frente de playa	Sección de la playa que queda expuesta a la acción del flujo ascendente y descendente del oleaje en pleamar.
Escalón	Zona de mayor pendiente que aparece en ocasiones en el límite inferior del frente de playa en playas reflejantes durante la pleamar.
Terraza de bajamar	Parte de la zona intermareal situada entre el límite inferior del frente de playa y la línea de máxima bajamar.
Canaleta de bajamar	Depresión en la terraza de bajamar que puede aparecer inmediatamente por debajo del frente de playa. Suele estar asociada al seno de una barra creciente muy próxima al frente de playa.
Barra longitudinal	Acumulación de arena semi-paralela a la línea de costa. Puede haber varias barras en el perfil de la playa.
Cresta de la barra	Zona de mayor elevación de la barra longitudinal.
Seno de la barra	Depresión en el perfil de playa paralela a la línea de costa, asociada con la barra. Se produce inmediatamente hacia el interior de la barra.
Playa sumergida	Zona de la playa comprendida entre la línea de máxima bajamar y el límite exterior del perfil.

Tabla No.1: Definiciones sobre la morfología de perfil

Se define **Playa** como la acumulación de sedimento no consolidado (arena, grava o canto rodado) que se sitúa entre la línea de máximo alcance del oleaje en temporal, pleamar viva³ y una profundidad que corresponde a la zona donde deja de producirse un movimiento activo de sedimentos debido a la acción del oleaje.

Las playas se enmarcan dentro de la **Zona Costera**, que comprende el área de la plataforma continental y de la costa, en la que los procesos morfodinámicos vienen determinados por la dinámica marina. Su desarrollo hacia tierra y hacia el mar depende, por lo tanto, de la tipología de la costa, de la plataforma continental, y del clima marítimo de la zona.

EL PERFIL DE LAS PLAYAS

El perfil de las playas cambia constantemente como respuesta a los cambios del transporte transversal de sedimentos que produce la dinámica marina, especialmente el oleaje. Los cambios más notorios son los asociados a los desplazamientos de las barras y al avance o retroceso de la berma.

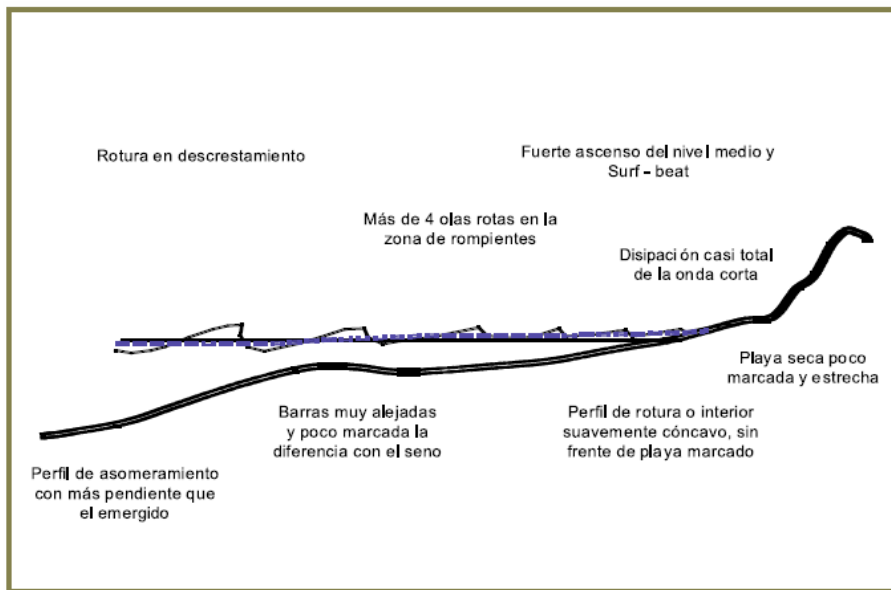
De entre las múltiples formas posibles de perfil, existen dos extremas que presentan una geometría en planta aproximadamente bidimensional: el perfil disipativo y el reflejante.

El **perfil disipativo**, es característico de playas de arena fina y/o niveles de energía elevados. En general, la berma no es aparente, y el perfil se inicia prácticamente en el pie de duna o en el acantilado, en su caso. La zona de rompientes es muy amplia y tiene un talud ligeramente cóncavo con pendientes bajas y



Fotografía No.1: Playa El Cuco, departamento de La Unión

³ Son las mareas altas que se producen con la luna llena y la luna nueva, cuando el Sol, la Luna y la Tierra se encuentran alineados



sin formaciones destacables. El perfil bajo la bajamar suele presentar una o varias barras longitudinales, con senos y crestas poco marcados. La pendiente de la zona de asomeramiento es mayor que la de la zona rompientes.

Fig. No. 2 Esquema de perfil de playa disipativa

El **perfil reflejante**, se presenta en playas de arenas medias a gruesas, con niveles de



Fotografía No.2: Playa San Marcelino, departamento de La Paz

energía bajos. En este caso, el borde de la berma marca claramente el inicio del frente de playa. En la playa seca pueden apreciarse restos de bermas y escarpes correspondientes a perfiles anteriores producidos por condiciones de oleaje más energéticas. Sobre el frente de playa son frecuentes los beach cusps (ver fotografía No. 2) y suele

existir un escalón en la parte inferior del frente de playa compuesto de materiales más gruesos, después del cual la pendiente del perfil baja considerablemente, conservando una forma cóncava. Una plataforma de bajamar de pendiente suave queda al descubierto en bajamar. En la playa sumergida no se aprecian barras.

Entre estos dos tipos extremos de morfología del perfil se presenta toda una gama de estados intermedios.

Estos estados de playa no se pueden definir mediante un sólo perfil, pues son básicamente tridimensionales y la morfología está fuertemente relacionada con los sistemas circulatorios que se establecen en las playas.

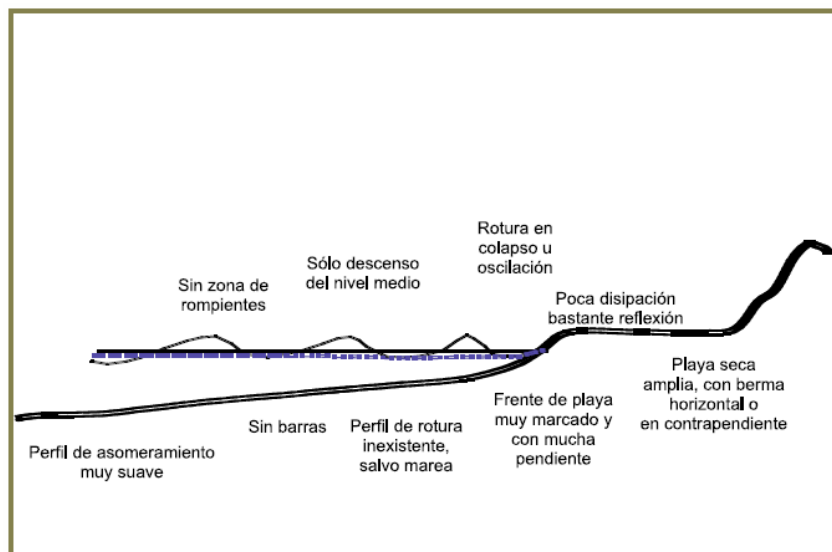


Fig. No. 3 Esquema perfil de playa reflejante

Algunas playas muestran una gran variabilidad en su perfil, respondiendo a condiciones de oleaje fuertemente variables. En latitudes templadas, las playas medianamente expuestas, con tamaños de grano fino a medio, de 0.2 a 0.3 mm de diámetro, sufren condiciones de oleaje caracterizadas por fuertes variaciones estacionales y fuertes temporales invernales. Tras un período de tiempo sometidas a temporales de forma repetitiva, dichas playas alcanzan una posición de semiequilibrio que se aproxima bastante a la de las playas disipativas, y se dice que la playa ha alcanzado su **Perfil de invierno**. Contrariamente, tras largos períodos de calma, más frecuentes en los meses estivales, la playa recupera un perfil cercano al reflejante: **Perfil de verano**. Estos términos de 'perfil de invierno' y 'perfil de verano', son pues relativos y pueden no corresponderse, en un momento determinado con la estación del año en la que se encuentra el citado perfil, sino con el aspecto que presenta la playa en un momento determinado.



LA FORMA EN PLANTA DE LAS PLAYAS

Además de la definición del perfil, la forma de una playa no queda completa sin su descripción en planta que se realiza en función de las escalas de las mismas.

ESCALA	FORMA	DESCRIPCIÓN
PEQUEÑA ESCALA (formas de lecho)	Rizaduras o ripples	Rizaduras del lecho producidas por el movimiento oscilatorio o las corrientes, con escala de longitud de decímetros y de tiempo de formación de segundos.
	Dunas y antidunas	Formas de lecho asociadas al oleaje y corrientes en la zona de rompientes, con escalas de longitud del orden de metros y de tiempo, de minutos.
MEDIA ESCALA	Beach cusps	Formas rítmicas de entrantes y salientes que se forman en el frente de playa, con longitud de onda del orden de la decena de metros. Escala de evolución: horas.
	Megacusps	Formas rítmicas de entrantes y salientes que se forman en el frente de playa, asociadas a secuencias longitudinales rítmicas de barras crecientes o transversales. Los entrantes en el frente de playa suelen estar enfrentados con los canales de retorno, mientras que los salientes coinciden con la zona de avance hacia tierra de la barra. Su longitud de onda es del orden de la centena
	Barras rítmicas	Barra creciente que alterna zonas de mayor aproximación a tierra con otras más alejadas. Estas barras son características de algunas playas intermedias y siempre están asociadas con megacusps en el frente de playa. Mismas escalas que megacusps.
	Barras crecientes	Barras claramente asimétricas, con el talud del lado de tierra con mucha más pendiente, que del lado del mar, indicando un desplazamiento de la barra hacia tierra. Mismas escalas que megacusps.
	Barras transversales	Barras que se extienden en dirección aproximadamente perpendicular a la línea de costa. Frecuentemente su lado de tierra queda unido al frente de playa. Entre las barras transversales existen siempre canales de retorno. Mismas escalas que megacusps.
	Canales de retorno	Zonas de mayor profundidad que cortan transversalmente las barras longitudinales y crecientes. Están asociados a la hidrodinámica de las corrientes en la zona de rompientes. Mismas escalas que megacusps.
GRAN ESCALA	Deltas	Depósito arenoso de forma más o menos triangular, resultante de la interacción entre el sedimento aportado por un río y el transporte

		longitudinal generado por el oleaje.
	Tómbolos	Saliente de arena producido por la presencia de una isla, arrecife emergido natural o estructura artificial, debido al cambio de la dinámica del oleaje provocado por la estructura. En el tómbolo, el saliente de arena se une a la estructura, formando un espigón natural de arena entre la costa y la isla o estructura.
	Salientes o hemitómbolos	Saliente de arena con el mismo origen del tómbolo o debido al encuentro de dos corrientes costeras opuestas. En el caso de estar producido por una estructura, el saliente no alcanza la misma.
	Cordones litorales puntales o flechas	Cordón arenoso paralelo a la dirección general de la línea de costa, producido por los cambios de dirección de la misma, en zonas con importante transporte longitudinal de sedimentos. En determinadas costas de plataforma somera, los cordones litorales pueden surgir por transporte transversal del sedimento. Cuando el cordón tiende a cerrar una bahía en zonas mareales o con aportación fluvial importante, el cordón alcanza un equilibrio con el prisma de marea o con el caudal fluvial. En zonas sin marea, o con poca aportación fluvial, el cordón puede llegar a cerrarse casi completamente, dejando en la zona de tierra una laguna salobre o dulce denominada albufera.
	Islas barrera	Si un cordón litoral queda separado por dos salidas al mar de la marisma interior, se denomina isla barrera.

Tabla No.2: Forma en planta de las playas

ESCALAS ESPACIO - TEMPORALES DE LOS PROCESOS MORFODINÁMICOS

Las dinámicas actuantes sobre la playa movilizan los sedimentos y modifican la forma de la misma. Estas dinámicas (oleaje, corrientes, variaciones del nivel medio, aportaciones fluviales, etc.) y los cambios de forma producidos son clasificables en determinadas escalas de espacio y tiempo. De esta manera, los modelos desarrollados para el estudio de la hidrodinámica, procesos de transporte y cambios de forma, suelen ser válidos en escalas acotadas en un rango espacio-temporal determinado.

Las escalas espaciales y temporales de los procesos que actúan en una playa están relativamente ligadas, por lo que podrían ser definidas conjuntamente. Sin embargo, en el diseño de las campañas de seguimiento, tiene una gran importancia la definición independiente de las medidas tanto en el espacio como en el tiempo.



Se presentan las escalas espacio-temporales de algunos de los cambios morfológicos más importantes que tienen lugar en las playas.

Estos cambios se han dividido en corto, medio y largo plazo o pequeña, media y gran escala, de una manera arbitraria.

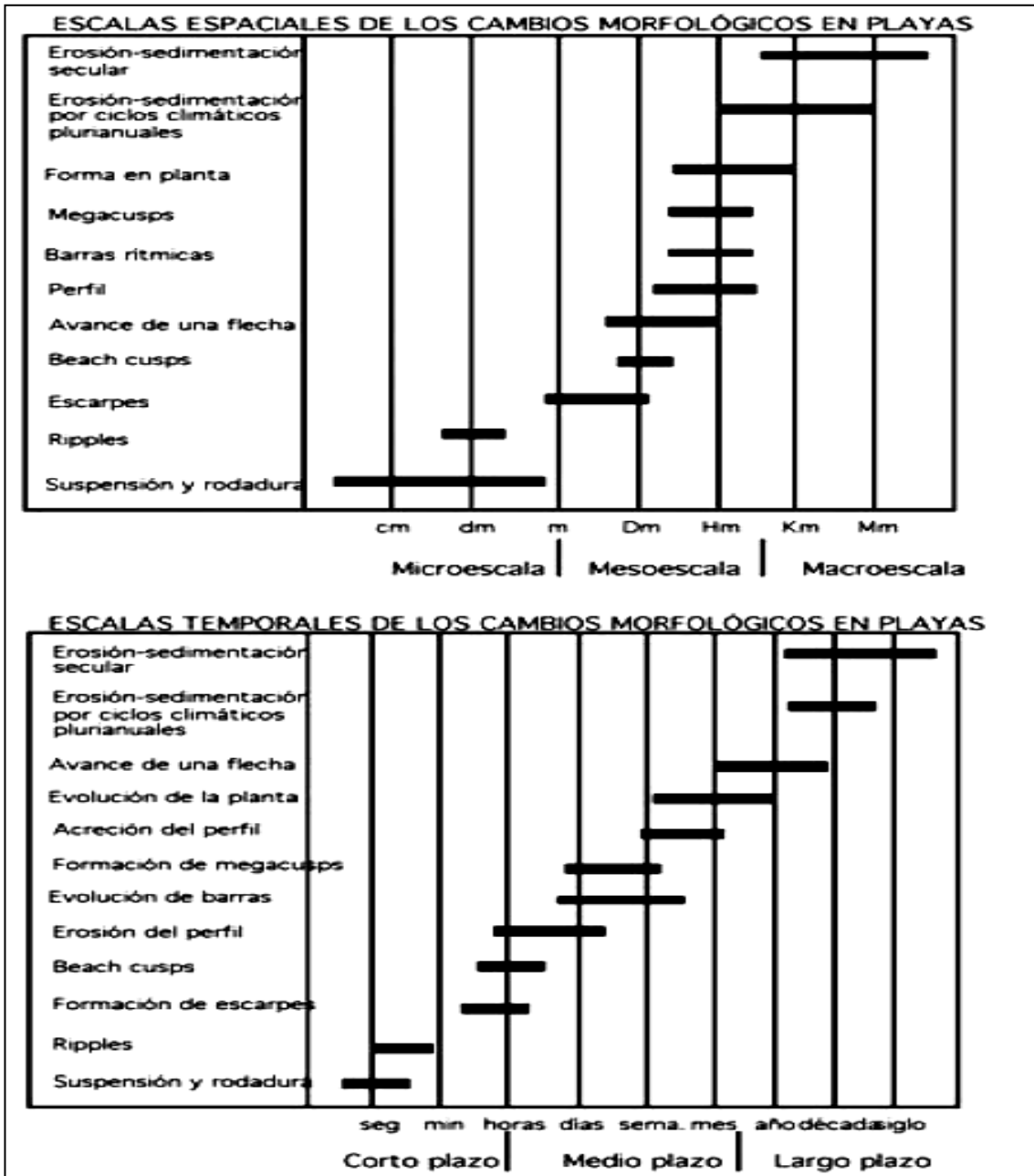


Fig. No.4: Escalas temporales y espaciales

EL BALANCE SEDIMENTARIO EN LAS PLAYAS

El establecimiento del balance sedimentario de una playa es fundamental desde el punto de vista del desarrollo de los sistemas dunares costeros, puesto que permiten determinar si el sistema es regresivo, está en equilibrio o es progradante. En el primer caso, el sistema dunar se verá sometido a retroceso, con una erosión progresiva de la duna primaria durante los temporales y mareas vivas, no recuperada en los períodos de buen tiempo. La duna primaria mostrará, de esta manera, fuertes pendientes del lado del mar, con derrumbes frecuentes, apareciendo en el pie de la misma, bloques de vegetación arrancada de la duna.

En el segundo caso, se mantendrá una playa seca con un transporte eólico hacia las dunas compensadas por períodos de erosión en temporales. Durante los períodos de buen tiempo, suele formarse una anteduna con vegetación incipiente, la cual se destruye en los períodos erosivos. La duna primaria, en estos casos, suele estar bien desarrollada, con una altura elevada.

Finalmente, en el caso de balance sedimentario positivo, la continua aportación de sedimento a la playa seca combinado con el transporte eólico en la misma, va produciendo cordones paralelos de antedunas a medida que una nueva anteduna se añade del lado del mar. Las dunas, en este caso, suelen ser de baja altura, progresivamente más vegetadas a medida que se avanza hacia el interior.

El balance sedimentario es un cómputo, en términos de macro escala, de los aportes y pérdidas existentes en la zona de estudio. Este cómputo ha de ser tal que permita:

1. establecer las condiciones de contorno de los modelos de evolución, en el caso de playas abiertas, o
2. la constatación de que es una playa encajada sin aportes o pérdidas externas.

La primera tarea a realizar en la determinación del balance sedimentario es la identificación de los elementos más relevantes, esto es, fuentes y sumideros de sedimentos, tipos de sedimentos y mecanismos de transporte.



Entre las fuentes usuales se encuentran:

- Erosión de acantilados.
- Aportes fluviales.
- Aportes biogénicos.
- Aportes desde la plataforma continental.
- Aportes debidos al viento.
- Aportes humanos (regeneraciones, vertidos de dragados).

Entre los sumideros usuales se encuentran:

- Sedimentación en estuarios, puertos y otras estructuras.
- Sedimentación en la parte trasera de la playa por el viento y/o por el oleaje.
- Transporte hacia la plataforma continental.
- Descomposición de la arena.
- Extracción por el hombre.

Los mecanismos de transporte fundamentales a considerar son:

- Transporte longitudinal debido al oleaje.
- Transporte transversal debido al oleaje.
- Transporte debido a la acción de corrientes de marea y viento.
- Transporte eólico.
- Transporte por el hombre.

Para la realización del balance sedimentario, en lo correspondiente a la aportación desde el lado del mar, los modelos recomendados son los de una o varias líneas, los cuales están preparados para incorporar en ellos todo tipo de aportaciones y pérdidas al sistema (incluidas la eólicas) así como las variaciones causadas por el transporte longitudinal y transversal debido al oleaje y a las corrientes.

RANGOS DE APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE PLAYAS

Los modelos utilizados en el diseño de playas pueden dividirse en Modelos de evolución y en Modelos de equilibrio.

El campo de aplicación de estos modelos y una breve descripción de los mismos se realiza en la tabla No.3

MODELOS DE EVOLUCIÓN DE PLAYAS

Los modelos de evolución tratan de determinar las modificaciones que la dinámica marina producirá en la playa. Estos cambios dependerán tanto de las condiciones del clima marítimo (oleaje, mareas, viento, precipitación, etc.) como de las características de las arenas de la playa (tamaño, distribución granulométrica y espacial del sedimento, densidad y composición de los granos, etc.).

A la hora de seleccionar un modelo de evolución, es importante tener en cuenta que, en la actualidad, no existe ningún modelo capaz de describir la morfodinámica de una playa en todo el rango de escalas espacio - temporales. Por ello, es muy importante conocer la escala espacio – temporal del campo de aplicación de cada uno de los modelos.

MODELOS DE EQUILIBRIO DE PLAYAS

Los modelos de equilibrio de playas tratan de predecir la forma media o de equilibrio de una playa sometida a un determinado clima marítimo. Los modelos empíricos de evolución del perfil y los de morfodinámica pueden considerarse como una extensión de estos modelos a condiciones medias variables a lo largo del año. En general, son modelos semiempíricos sencillos, de gran uso en ingeniería, que simplifican la forma de la playa en una línea de costa y en un perfil equilibrio. Todos estos modelos son de macroescala y largo plazo (superior a meses).

Modelos de evolución de playas.		
MODELO	TIPO	DESCRIPCIÓN
ANALÍTICO-NUMÉRICOS DE EVOLUCIÓN	Evolución ola-corriente 3D	Describen la morfodinámica en escalas de tiempo desde el orden de segundos hasta el orden de las horas. En general, son modelos que acoplan un modelo hidrodinámico tridimensional con un modelo de transporte. Su resolución espacial se encuentra en el orden de los metros, por lo que no simulan las formas de microescala como ripples, dunas o antidunas. En la actualidad, y dada su complejidad numérica, se emplean para la determinación de la evolución de fondos en zonas singulares, como es el caso de la socavación en las proximidades de estructuras costeras.
	Evolución ola-corriente Cuasi-3D	Se diferencian de los 3D en que utilizan un modelo de corrientes integrado en vertical y en el oleaje al que añaden un determinado perfil vertical de velocidades.
	Evolución ola-corriente 2DH	Acoplan un modelo hidrodinámico integrado vertical (2DH) con un modelo de transporte de sedimento. Tienen un campo de aplicación similar a los 3D y cuasi-3D. En general, el modelo hidrodinámico de corrientes está basado en las ecuaciones de Navier – Stokes integradas en el período del oleaje y en profundidad, por lo que su resolución temporal es superior al período del oleaje. La propagación del oleaje debe resolverse mediante un modelo acoplado externo basado en la ecuación de la pendiente suave que no resuelve las interacciones no lineales entre ondas que dan lugar a componentes del surf - beat. Recientemente, los modelos basados en las ecuaciones de Boussinesq permiten resolver la escala del oleaje y los movimientos medios mediante las mismas ecuaciones, por lo que la escala de tiempos puede incluir las oscilaciones del oleaje y las interacciones onda larga – onda corta en la playa son descritas correctamente.
	Evolución del perfil 2DV	Estos modelos acoplan un modelo hidrodinámico 2DV con un modelo de transporte. Como en el caso anterior, el modelo hidrodinámico puede estar formado por un modelo externo de oleaje (en este caso sólo incluirá asomeramiento) y un modelo de corrientes promediado en el período del oleaje, por lo que, en este caso, su resolución temporal será superior al período del oleaje. En el caso de que el modelo de propagación sea de Boussinesq, la hidrodinámica resolverá simultáneamente el oleaje y los movimientos medios, así como las interacciones no lineales entre ondas. Como en el caso de los modelos anteriores, estos modelos no resuelven las formas de microescala como ripples, dunas y antidunas.
	Evolución del perfil	Surgen como extensión de los modelos empíricos de perfil de equilibrio. El perfil se define mediante una o varias condiciones de equilibrio basadas en la dinámica del oleaje y mareas. Los parámetros del perfil se determinan mediante su relación con las condiciones de oleaje, marea y características de los sedimentos. Asumiendo que las condiciones de oleaje permiten al perfil alcanzar un equilibrio, una vez conocido el clima marítimo se puede definir una estadística de evolución del perfil de una determinada playa. Estos modelos son de macroescala, no pudiendo definir formas menores en el perfil como son barras, escalones, escarpes, barras crecientes, etc. La escala de



		tiempos es de largo plazo i.e. semanas o meses.
EVOLUCIÓN EMPÍRICOS	Evolución de la línea de costa, modelos de una o varias líneas	Estos modelos no tratan de resolver la compleja hidrodinámica del oleaje y corrientes en la zona de rompientes. Son modelos de macroescala, que no resuelven las formas de lecho como ripples o antidunas o las formas de media escala o macroescala como beach cusps o megacusps (salvo que estos sean el resultado de una variación rítmica del oleaje incidente). Asimismo, la escala de tiempos comienza en estados de mar, es decir, desde las horas y pueden extenderse durante toda la vida útil de la playa si es preciso, por lo que convergen con los modelos de equilibrio. Los módulos que componen estos modelos suelen ser un módulo de propagación de oleaje más o menos complejo, un módulo de transporte longitudinal muy sencillo y un módulo de cambio de la línea de costa también muy básico, basado en la ecuación de conservación del sedimento. Son modelos muy utilizados en la ingeniería de playas. Entre estos modelos son de destacar los modelos de una o varias líneas.
	Evolución morfodinámica	Son modelos empíricos para la predicción de la evolución de la forma de las playas en función de las condiciones del oleaje, marea y tipo de sedimentos. La forma de las playas se simplifica mediante la definición de una serie de “estados de playa” y las condiciones hidrodinámicas y de sedimentos se implementan mediante parámetros adimensionales. Debido a su sencillez, muy utilizados en la ingeniería, pues permiten determinar, de forma estadística, la calidad de la playa y la formación de formas rítmicas de media y gran escala, que no pueden ser predichas con los modelos anteriores. Al constituir los estados de playa una especie de situaciones de equilibrio de la playa con la dinámica, estos modelos son de media escala espacial y de largo plazo i.e. semanas o meses, por lo que la información que proveen es de tipo estadístico.
	Perfil de equilibrio	Estos modelos son de carácter empírico o semiempírico, se basan en alguna condición teórica de equilibrio entre la hidrodinámica y el transporte a través del perfil. El modelo de perfil de equilibrio más conocido es el de Dean, donde la forma del perfil de equilibrio es independiente de la dinámica marina. En los últimos años, se ha logrado definir el perfil de equilibrio en función de las condiciones medias de la dinámica, con lo que estos modelos pueden ser utilizados como modelos de evolución de largo plazo.
	Forma en planta de equilibrio	Al igual que en el caso de los modelos de perfil de equilibrio, éstos definen la forma de la línea de costa de una playa en función de las características medias del oleaje. Son modelos empíricos, que con muy poca información sobre la dinámica marina permiten predecir la línea de costa media o de equilibrio, por lo que son de gran utilidad en el diseño de playas.

Tabla No. 3: Modelos de evolución de playas

TOMADO Y ADAPTADO DEL MANUAL DE DUNAS COSTERAS DEL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE ESPAÑA.