Comprendiendo el litoral: Dinámica y procesos

Daniel Ibarra Marinas, Francisco Belmonte Serrato

edit.um
EDICIONES DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

Comprendiendo el litoral:
Dinámica y procesos

Daniel Ibarra Marinas, Francisco Belmonte Serrato

Universidad de Murcia

2017

Título:
Comprendiendo el litoral: Dinámica y procesos.

Autores:
A. Daniel Ibarra Marinas, Francisco Belmonte Serrato

Universidad de Murcia.
Servicio de Publicaciones, 2017.

Editum

ISBN: 978-84-697-6263-9

1ª Edición, 2017
Reservados todos los derechos. De acuerdo con la legislación vigente, y bajo las sanciones en ella previstas, queda totalmente prohibida la reproducción y/o transmisión parcial o total de este libro, por procedimientos mecánicos o electrónicos, incluyendo fotocopia, grabación magnética, óptica o cualesquiera otros procedimientos que la técnica permita o pueda permitir en el futuro, sin la expresa autorización por escrito de los propietarios del copyright.

© Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones, 2017

ISBN: 978-84-697-6263-9

Campus de Espinardo, 30100-MURCIA

ÍNDICE

Página

Introducción 3

1. Clasificación de las costas……...……. 5

2. Escalas espacio-temporales……..….. 5

2.1 Cambios a corto plazo…….…….. 6

2.2 Cambios a medio plazo…….…….…..…… 7

2.4 Cambios a largo plazo…….…..……. 7

2.3 Cambios episódicos…… 7

3. Zonificación del litoral……..……..……... **8**

3.1 Perfil de playa……....…… 8

3.2 Células de sedimentos litorales……...…… 10

3.3 Distribución de los sedimentos en las playas……..…....…. 10

3.4 Clasificación de las playas según su estado morfodinámico 11

3.4.1 Playas disipativas…….……..…..…… 11

3.4.2 Playas reflectantes…….....……... 12

3.4.3 Playas intermedias ……...…..……. 12

3.5 Tipos de rompientes de olas asociados……..…..…….. 13

4. Transporte de sedimentos en las playas……. 16

4.1 Fuente de alimentación de sedimentos…….…... 16

4.2 Zona litoral activa…….…. 16

4.2.1 Subsistema marino…….. 16

4.2.1 Subsistema eólico……... 17

5. Erosión costera…….. 19

5.1 Componentes espacio-temporales de la erosión costera..…... 22

5.2. Agentes de la erosión costera……. 23

5.2.1 Oleaje…… 23

5.2.2 Mareas…….. 25

5.2.3 Surge Storms……... 48

6. Cambios de origen antrópico en el litoral y erosión costera…. 26

6.1 Obras marítimas…….. 29

6.2 Degradación de los sistemas dunares…….…….. 31

6.3 Degradación de la *Posidonia oceánica*…….…... 32

6.4 Cambios en las cuencas litorales…….…….…….. 33

6.5 Cambio climático……..….. 36

7. Mitigación de los procesos erosivos en la costa……..... 37

7.1 Actuaciones flexibles…….… 37

7.2 Actuaciones rígidas…….…….. 37

8. Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC)….……. 38

Referencias bibliográficas 43

Índice de figuras 61

INTRODUCCIÓN

El litoral constituye uno de los ambientes más frágiles de La Tierra, donde se producen importantes interacciones entre la atmósfera, el mar y la tierra (Merlotto y Bértola, 2008). El presente libro pretende, mediante 7 apartados, abordar algunos de los procesos que intervienen en el medio más dinámico de la superficie terrestre.

En el primer apartado hace referencia, de forma sencilla, a la clasificación de las costas según su morfología.

El segundo apartado presenta las escalas espacio-temporales a partir de las cuales es posible abordar el estudio de las costas.

El tercer apartado identifica los elementos de las playas que permiten zonificar el litoral. En el se realiza una introducción a las células litorales y a la dinámica que influye en los sedimentos y los estados modales de las playas.

Las fuentes de alimentación sedimentarias y los sistemas que intervienen es su distribución son abordados en el cuarto apartado.

En el quinto apartado se analiza uno de los principales problemas de las playas a nivel mundial: la erosión costera, en la que intervienen agentes en diferentes escalas.

Además de los cambios naturales que sufre el litoral, las costas están afectadas por las actividades antrópicas, que son abordadas en el sexto apartado.

Para la mitigación de los efectos erosivos de las playas existen diferentes tipos de actuaciones concretas y, a mayor escala espacial, la ordenación del territorio mediante la Gestión Integrada de Zonas Costeras, que son el tema principal del séptimo apartado.

1. CLASIFICACIÓN DE LAS COSTAS

La primera y más sencilla clasificación divide las costas entre rocosas y arenosas. Los cambios en las costas rocosas son muy lentos a escala temporal humana (Pérez-Alberti *et al*., 2013), mientras que las costas arenosas (playas) cambian con gran facilidad. Las playas son acumulaciones de sedimentos no consolidados en zonas costeras sujetas a la acumulación y a la erosión por el efecto de de olas y las corrientes (Hattersley y Foster, 1968; Masselinkk y Hugues, 2003; Boak y Turner, 2005).

Otra sencilla forma de clasificación está relacionada con los cambios en los niveles anteriores del nivel del mar. De esta manera, una costa emergente es una costa que ha experimentado un descenso del nivel por efectos relacionados con el cambio de nivel del mar global o elevaciones locales y un litoral sumergido es aquel en el que el nivel del mar ha aumentado, por causa de cambios globales del nivel del mar, subsidencia local o equilibrios isostáticos.

Según la estructura geológica, una costa es concordante cuando las bandas de diferentes tipos de rocas se disponen de forma paralela y la tendencia de la erosión es la formación de Cabos y bahías, según el grado de resistencia. En cambio, en las costas discordantes la disposición es perpendicular. Rías y fiordos son algunas de las formas de relieve propios de este tipo de costas.

2 ESCALAS ESPACIO-TEMPORALES

El estudio de los procesos costeros, requiere explicar los diferentes tipos de formas y comprender sus factores y mecanismos (Bird, 2002), que se estudian a diferentes escalas temporales (Figura 1). La determinación del tamaño de la escala temporal y espacial depende de los intereses que se persigan y de los procesos que intervengan, ya que un mismo fenómeno puede actuar de diferente forma en un proceso en función de la escala a la que se mida. Los agentes cuya escala de acción es pequeña respecto a la escala de estudio, se consideran como ruido y tendrán un efecto residual en el proceso (Sanchez-Arcilla, 1994). Cuando la escala de los agentes y los procesos es similar y están relacionados con la escala de estudio, se producirá la interacción dinámica, y los agentes se verán incluidos, actuándo como componentes de los procesos. Por último, cuando la escala de estudio es menor que la del proceso este actuará como una condición de contorno (Jiménez y Sánchez-Arcilla, 1993).

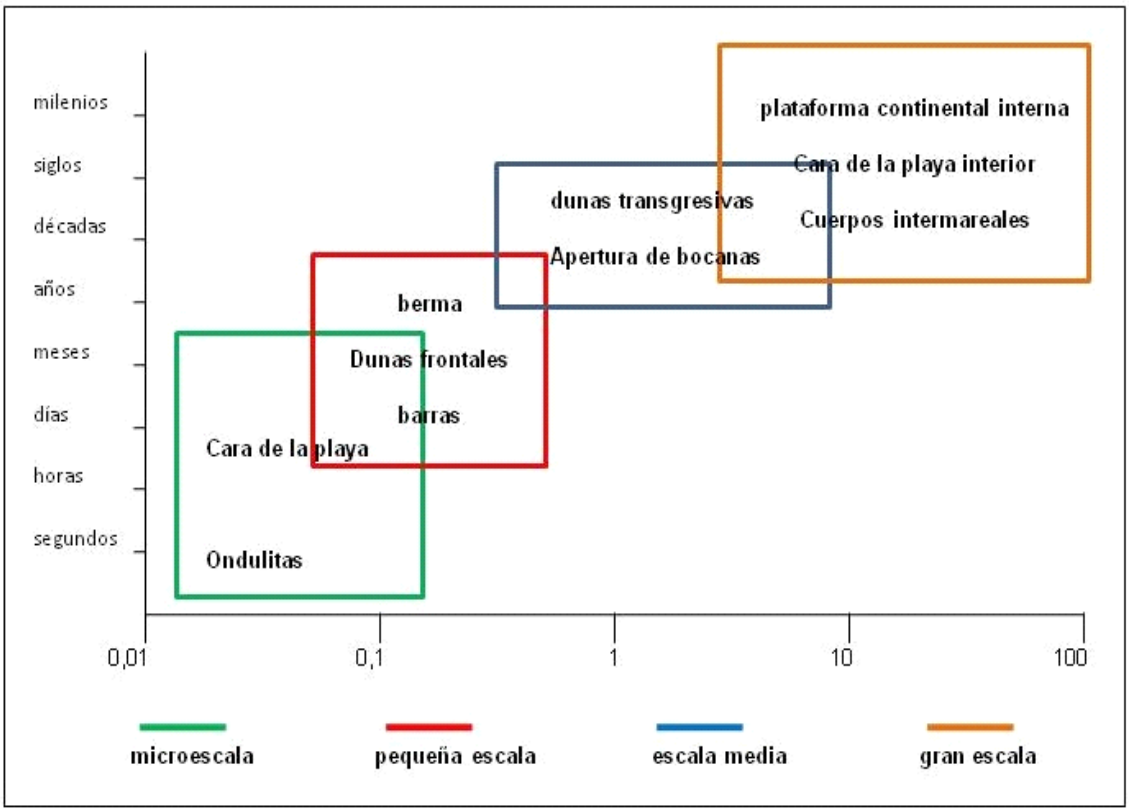

Figura 1 Caracterización espacio-temporal de las escalas de cambio en la geomorfología costera. Fuente: elaboración propia a partir de Cowell y Thorn (1994).

Conocer la escala de los cambios que ocurren en la costa es cada vez más importante para manejar los recursos costeros de una manera sostenible (Woodroffe, 2002). Para ello, existen distintos dominios espacio-temporales *(micro, meso y macro)* que hacen referencia a la prevalencia de determinados grupos de procesos de interacción en cada escala, siendo los principales responsables de los cambios que en ellas se producen (Wright y Thom, 1977; Wright *et al*., 1985).

2.1 Cambios a corto plazo

El dominio *micro* se refiere a los procesos cuya duración oscila entre unas pocas horas (Lippmann y Holman, 1990) y algunos meses actuando sobre ámbitos espaciales muy determinados (una playa –o parte de ella—, unas dunas, un acantilado, etc.). Los cambios se experimentan en las zonas más activas, siendo el viento y el oleaje los agentes dominantes. Los ciclos de verano e invierno y las tormentas son factores naturales que producen cambios en la línea de costa a corto plazo (Guisado y Malvárez, 2015). Se han observado ciclos estaciónales tanto en los balances sedimentarios como en la morfología de las playas, y ciclos menores originados por tormentas episódicas que se superponen a los anteriores (Isla 1990).

2.2 Cambios a medio plazo

Los cambios afectan a tramos costeros con una escala espacial que puede medirse en kilómetros y una escala temporal de varios años. Los agentes principales son el oleaje y el aporte sedimentario de los cauces (ríos, ramblas y barrancos). El dominio *meso* se establece para periodos temporales que oscilan entre algunos meses y algún siglo y espacialmente queda referido a áreas bastante amplias. Dentro de ellas se establecen ya flujos de energía y de materia. Este dominio puede quedar definido por las células sedimentarias litorales.

2.3 Cambios a largo plazo

Por lo que respecta a su escala espacial, el dominio macro no solo abarcará a las distintas unidades sedimentariamente conectadas por los procesos

costeros, sino que se abrirá a ámbitos regionales mucho más amplios y, en algunos casos, tenderá a fenómenos de escala global. Dentro de este dominio se incluirían todos los trabajos referidos a la evolución cuaternaria de la costa (Pardo y Santjaume, 2001). Los agentes que producen los procesos varían desde el aporte de sedimentos por parte de ríos, hasta las variaciones del nivel del mar (Bruun, 1962).

2.4 Cambios episódicos

Jiménez *et al*. (1993), establece un dominio más de jerarquización, los cambios episódicos, originados durante la acción de agentes altamente energéticos, con un periodo de retorno largo y que provocan alguna transformación. Por la naturaleza aleatoria de los agentes que intervienen, estos cambios no tienen una escala temporal definida.

Los cambios en la línea de costa están afectados por multitud de procesos complejos de operación en diversas escalas de espacio y tiempo (Miller y Dean, 2004). Los cambios estacionales pueden estudirase en escalas de años, mientras que un enfoque de décadas será útil para estudios de erosión costera.

3 ZONIFICACIÓN DEL LITORAL

3.1 Perfil de playa

La zonificación permite la diferenciación espacial de áreas geográficas. Se basa en la definición de criterios desde distintas perspectivas, una herramienta útil para la planificación de espacios. En el litoral ha sido utilizada desde distintas perspectivas, como en la Gestión Integral de Zonas Costeras o la capacidad de carga turística, así como en las propuestas de áreas marinas protegidas. (Varghesea *et al*, 2008).

El perfil de playa (Figura 2) se puede clasificar de la siguiente forma (Komar, 1998):

- *Backshore*: se trata de la zona de perfil de la playa ubicada entre la pendiente del *foreshore* hasta el punto en donde se asienta la vegetación o existe un cambio fisiográfico como la presencia de dunas o un acantilado. En condiciones normales es seco, aunque se puede exponer al oleaje en casos extremos.
- *Beachface*: se desarrolla a lo largo del perfil de la pendiente bajo la primera berma.
- *Foreshore*: parte de la playa que se encuentra entre los límites de las mareas bajas y las altas. Puede coincidir con el *beachface* o bien contener algo de la porción plana del perfil de playa.
- *Berm* (Berma): depósito de sedimento situado en la playa que presenta una sección triangular que comienza en la pendiente del *beach face* que a partir de la zona superior, desciende suavemente hacia tierra o queda coronada por una forma plana conocida como *berm top* .
- *Inshore*: la zona de perfil de playa situada entre el foreshore y la zona de rompiente.
- *Offshore*: zona del perfil que se extiende mar adentro desde la zona de rompiente, al límite de la plataforma continental.
- *Scarp* (Escarpe): corte casi vertical en el perfil, producido por la erosión. Su altura tiene generalmente más de un metro. El escarpe puede ser el tope del

beachface. Escarpes mas antiguos se pueden encontrar en la berma, correspondientes a otras fechas.

• Shoreline: la orilla, es la intersección entre el agua y la tierra.

• *Nearshore* es la zona ocupada por los sistemas de barras y surcos. Cuando no hay barras presentes, el nivel de base del oleaje se convierte en el límite inferior. Se pueden distinguir tres perfiles: *Breakerzone* (Zona de ruptura): La sección en la que el oleaje llega desde el offshore y con la proximidad del fondo, comienza a perder estabilidad y romper; *Surf Zone* (Zona de surf): área en la que el oleaje avanzan hacia la playa formando un resalte (*bore*) en el frente de ola; *Swash Zone* (Zona de derrame): La zona del nearshore donde, tras la rotura de la ola, el agua asciende por el *beachface (run-up)* y posteriormente retrocede hacia el mar por el efecto de la gravedad (*backwash*).

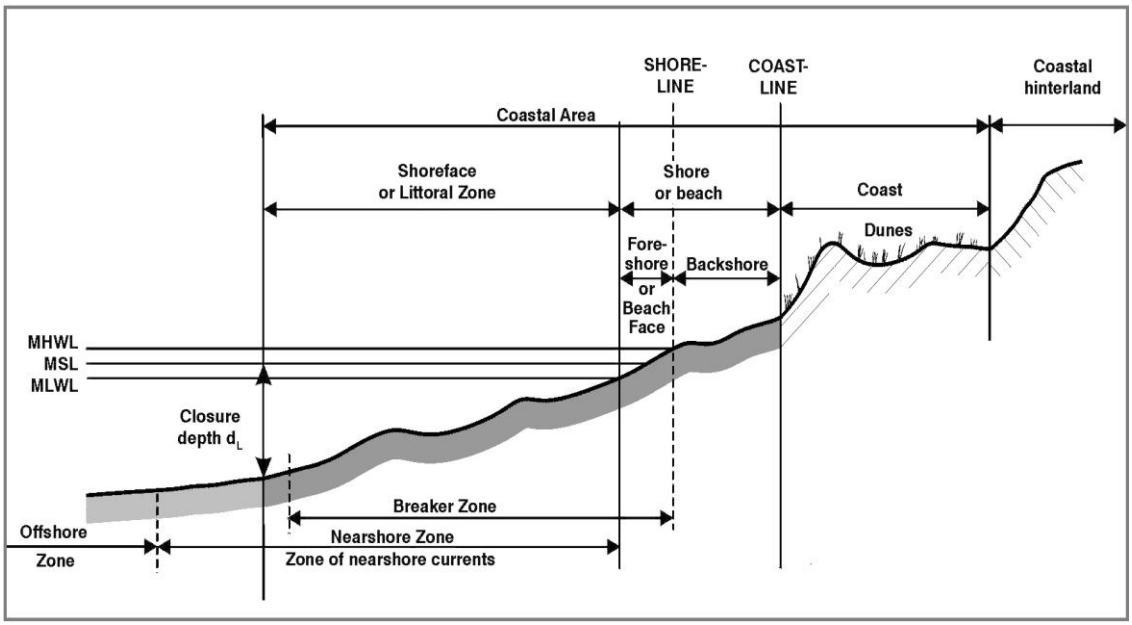

Figura 2 Zonificación del litoral. Fuente: Coastal Engineering Research Center (1994).

3.2 Células de sedimentos litorales

Son unidades espaciales donde los procesos físicos son relativamente independientes de los de las zonas adyacentes. Cada célula contiene unas fuentes sedimentarias determinadas, que pueden ser áreas donde los sedimentos se mueven mediante los procesos litorales o reservas de sedimentos (playas y estuarios). La independencia de estas unidades entre sí,

permite solucionar los problemas de la erosión, aunque se hace necesario contar con otros factores para la predicción y evaluación de la futura evolución del litoral.

Existen tres tipos de corrientes que transportan los sedimentos en las células litorales y que se dan a lo largo de casi toda la longitud de la playa. (del Moral y Berenguer, 1980). Las corrientes *inshore, longshore* y *longshore.* Las corrientes *inshore* o protocorrientes de aproximación (Martínez Martínez, 1996) desplazan el agua, desde la zona de rompientes a la orilla. Las corrientes *offshore* (resaca) se corresponden con el flujo de retorno del agua hacia la zona de rompientes desde la costa, debido a la evacuación de la masa de agua sobrante, tras su empuje contra la costa, por lo que este movimiento desaparece en la zona de rompientes. Las corrientes tipo *longshore* (corrientes de deriva) son aquellas que desplazan volúmenes de agua entre la zona de rompientes y la orilla. Si no intervienen singularidades dinámicas, las causas de estas corrientes están en la integración de corrientes inshore y offshore.

3.3 Distribución de los sedimentos en las playas

Las playas se pueden clasificar según los sedimentos que las componen. En este sentido, el tamaño de grano es la forma mas sencilla para hacerlo (Bluck, 1967). Sin embargo, en una misma playa se pueden encontrar diferentes tamaños de sedimento, dependiendo del flujo líquido del fondo. Los tamaños gruesos suelen encontrarse cerca de la zona de rotura, debido al fuerte movimiento de las masas de agua que se dan en esta zona. Los materiales más finos se encuentran en las mayores profundidades.

3.4 Clasificación de las playas según su estado morfodinámico

Wright and Short (1984) definieron un modelo de estados morfodinámicos o estados modales de playa, en el que presentan el concepto de “firma dinámica del proceso” correspondiente a cada estado de playa, según la dinámica de la zona de rompientes. Los estados modales implican las formas que presentan los sedimentos y su interacción con la hidrodinámica (Benavente *et al*., 2002).

En este sentido Wright y Short clasificaron los diferentes tipos de movimientos del agua sobre el fondo en cuatro categorías principales:

1. Flujos oscilatorios debidos al oleaje incidente, con periodos entre 1 y 25 segundos y que incluye las oscilaciones capaces de poner sedimento en suspensión en la banda de frecuencias del oleaje incidente en aguas profundas.

2. Flujos oscilatorios o casi-oscilatorios subarmónicos, debidos a ondas estacionarias y ondas de borde, con una frecuencia del orden de la mitad de la del oleaje incidente.

3. Corriente neta debida disipación de energía del oleaje. Corrientes longitudinales producidas por el oleaje, corrientes de retorno y corrientes *feeder,* de alimentación.

4. Corrientes de origen independiente del oleaje: corrientes de marea y corrientes generadas por viento local.

3.4.1 Playas disipativas

Tiene una morfología prácticamente bidimensional, con un perfil muy tendido, análogo al perfil “de temporal o de invierno” que se describe en las playas con variación estacional. Aparecen en el perfil una o varias barras longitudinales, paralelas a la línea de costa y separadas por senos poco marcados (Vidal *et al*., 1995). El oleaje en estas playas presenta roturas en descrestamientos (Vidal *et al*., 1995) y la energía se disipa a lo largo del perfil.

3.4.2 Playas reflectantes

Sistemas reflectantes se caracterizan por, pendientes pronunciadas, bermas bien desarrolladas y cúspides (Wright *et al*., 1979), Frecuentemente aparecen formas arenadas altamente rítmicas en el talud. Debido a la pendiente de las playas reflectantes, Este estado modal se encuentra en el extremo opuesto al de las playas disipativas. La rotura del oleaje se producen en voluta, colapso o en oscilación, las olas rompen cerca de la costa, sobre el frente de playa, cuya

pendiente es más pronunciada. El frente de playa suele contener, aunque no siempre (Vidal *et al*., 1995), tamaños de grano más gruesos que la playa sumergida. Debajo del talud de playa, existe la posibilidad de que se desarrolle un escalón pronunciado, compuesto de material grueso, debajo del talud de la playa que incrementa con el tamaño de la ola.

3.4.3 Playas intermedias

Existen cuatro estados modales intermedios entre los sistemas disipativos y los reflectantes. Las playas intermedias son más complejas y presentan una gran variabilidad en función del oleaje.

a) Playa con barra longitudinal

El estado de playa con barra longitudinal (*Longshore Bar-trough o LBT).* Es el estado modal intermedio más cercano al disipativo, pero posee un *run-up* mucho más importante. Este estado tiene al menos una barra longitudinal de perfil asimétrico, con mayor pendiente, donde se produce la rotura del oleaje. El oleaje se recompone al pasar la barra, debido al incremento de la profundidad en el seno, para después romper de nuevo sobre el frente de playa De este modo, aparecen dos zonas de rompientes paralelas y estrechas. El frente de playa tiene mayor pendiente y al hacerse algo más reflejante, provoca un cambio en el tipo de rotura del oleaje, pasando este a ser de tipo *surging* o colapso. En el frente de playa es frecuente la presencia de cusps. Este tipo de playas poseen baja variabilidad longitudinal.

b) Barra y playa rítmica

Este estado presenta ondulaciones más o menos periódicas espacialmente, las barras que también poseen estas ondulaciones, separadas por salientes hacia el frente de playa son denominadas *crescentic bars*. Aunque de pequeño volumen, en este estado comienzan a ser evidentes los *rip currents*¸ dando lugar a la aparición de sistemas circulatorios rítmicos a lo largo de la playa y

entre esta y la barra. La barra y el frente de playa suele estar separados por una distancia menor que en el caso del estado anterior.

Cuando el oleaje incide de forma oblicua, las celdas circulatorias pierden su carácter simétrico y se genera una corriente longitudinal a lo largo de la playa, con lo que las barras pueden tomar cierto desarrollo transversal.

c) Estado de playa con barras transversales y rips

En este estado el desarrollo transversal de las barras y el frente de playa, hace que los salientes opuestos llegen a unirse, formando una especie de puente entre el frente de playa y la barra, lo que hace que este estado sea el de mayor desarrollo tridimensional. Estas “barras transversales” de perfil disipativo, alternan con perfiles más reflejantes, que canalizan los *rip currents*, ya más intensos, convirtiéndolos en el elemento característico de este. Por su parte, el extremo exterior de la barra se encuentra más cerca del frente de playa que en los estados anteriores.

d) Estado de playa con terraza de bajamar

La barra y el frente de playa se acercan en este estado modal, apareciendo en muchos tramos unidos. Estos tramos quedan separados por depresiones alargadas, donde pueden aparecer *rip currentes* de baja intensidad.

2.3.5 Tipos de rompientes de olas asociados

Generalmente se acepta que existen tres tipos de rompientes de oleaje: *spilling, plunging* y *surging.*

- Rotura de tipo *spilling* (Figura 3): se da en situaciones de oleaje peraltado, en las que las olas se propagan sobre playas de escasa pendiente, de manera que las crestas de las olas se van haciendo gradualmente más agudas debido a que la onda es más pronunciada, hasta que, debido a la inestabilidad, se derraman por la pendiente frontal de la ola.

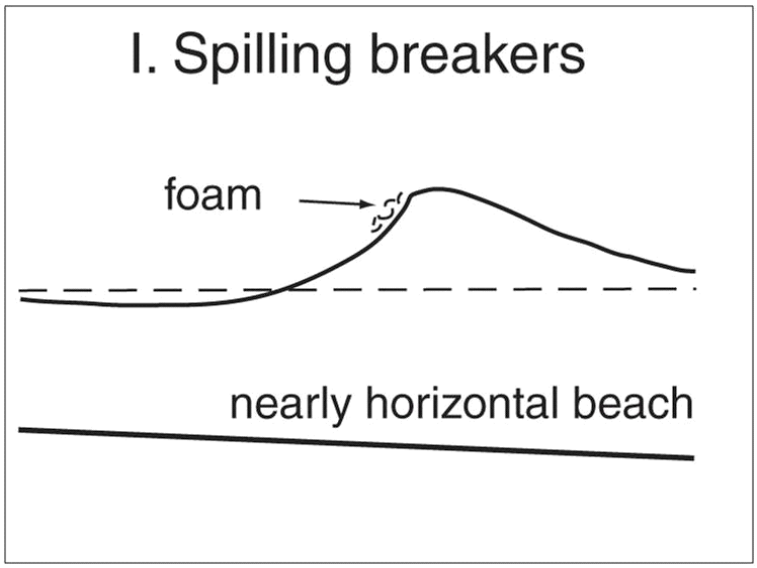

Figura 3 Rotura de tipo *spillling,* sobre playas de escasa pendiente. La espuma (*foam) desciende* por el frente de ola. Fuente: Komar (1998).

- Rotura de tipo *plunging* (Figura 4): se produce cuando el fondo del océano es escarpado o existen cambios acusados en la batimetría. La cresta de la ola se vuelve mucho más erguida que en las olas de tipo *spilling*. Tras tomar cierta verticalidad la cresta se riza sobre si misma y cae rápidamente sobre el frente de la onda, liberando gran parte de la energía en el impacto y produciendo una gran turbulencia y entrada de aire que, al comprimirse, produce el característico sonido de las olas. Si una ola de tipo *plunging* no es paralela a la playa, la sección de la onda que alcanza aguas poco profundas romperá antes, y la sección de rotura se moverá lateralmente a través de la cara de la ola de manera continua, formando el "*tubo*" buscado por los surfistas. Si la ola es paralela a la playa la rotura se efectuará a lo largo de su longitud a la vez.

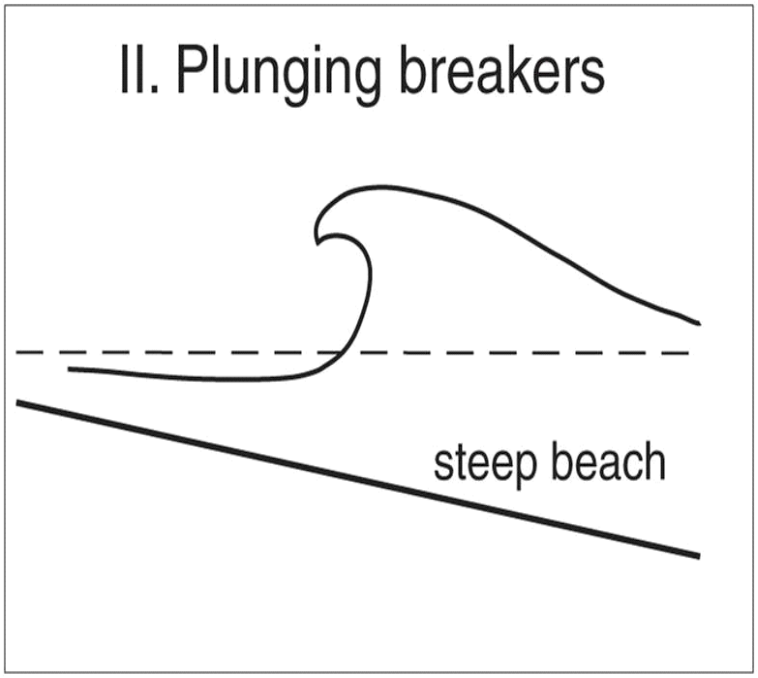

Figura 4 Rotura de tipo *plunging* en playa con pendiente pronunciada. Fuente: Komar (1998).

- Rotura de tipo *surging* (Figura 5): son comunes en playas reflectantes con pendientes pronunciadas. Se caracterizan por la desaparición de la cresta de la ola. La cara frontal se mantiene relativamente lisa, con poca espuma o burbujas, debido al rápido movimiento de la base de la ola por la pendiente. Parte de la energía de estas olas es reflejada al mar.

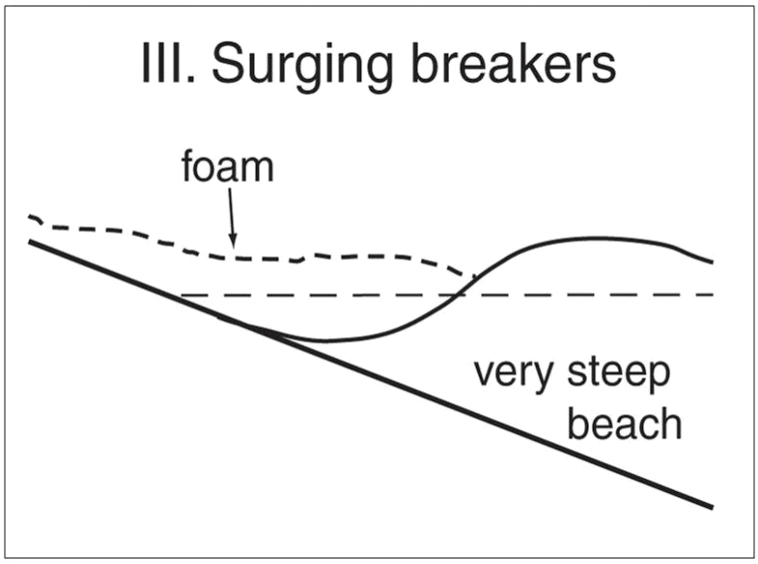

Figura 5 Rotura de tipo *surging* en playa de pendiente muy pronunciada. Fuente: Komar (1998).

4. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LAS PLAYAS

2.4.1 Fuente de alimentación de sedimentos

Los cauces, debido a la importante remoción del suelo que registran en sus cuencas y a la gran cantidad de sedimentos que transportan, constituyen uno de los factores más importantes en la regulación del litoral (Ibarra *et al*., 2016). En ambientes semiáridos del Mediterráneo, el papel de alimentación corresponde, en muchos casos, a las ramblas, que aportan sedimentos exclusivamente en periodos de avenida (López Bermúdez y Gomariz Castillo, 2006).

4.2 Zona litoral activa

Las playas, están constituidas por dos subsistemas: uno marino, modelado por la acción de las olas y otro terrestre regido principalmente por la acción del viento. Los dos componentes interactúan en una única unidad geomórfica llamada "*zona litoral activa*". Esta zona constituye una interfase entre el océano y el continente. En él existe un transporte continuo de sedimentos, que puede determinar su equilibrio (McGwynne y MacLachlan, 1992), por lo que la zona litoral activa (el litoral costero) se puede considerar como la interfase física entre la tierra y el agua (Dolan *et al*., 1980; Boak y Turner, 2005).

4.2.1 Subsistema marino

Los cambios morfológicos de las playas son el resultado de la circulación de los fluidos y los patrones de interacción y retroalimentación entre la topografía y batimetría de la zona por medio del transporte sedimentario (Wright y Thom, 1977; Cowell y Thom, 1994; Wright, 1995; Short, 1999b). La interacción del oleaje permite la existencia de dos perfiles separados por el punto de rotura del oleaje donde se inicia el efecto del oleaje sobre el fondo (Iribarren, 1954).

El movimiento de la arena a lo largo de la costa es debido a la acción de las olas de las corrientes y de la disponibilidad de sedimentos (Saravanan y Chandrasekar, 2010). El transporte litoral longitudinal depende de la dirección y la intensidad del oleaje. Para que una playa sea estable la cantidad de

material entrante debe ser igual a la que sale de ella. Si no existe equilibrio, la diferencia se acumula en la playa, o bien se erosiona. Además existe un desplazamiento perpendicular a la orilla. Los sedimentos pueden emigrar desde el límite superior de la playa seca hasta el límite inferior de la playa sumergida, conociéndose a este con el nombre de profundidad de cierre (Hallermeier, 1981), afectando a zonas más profundas y elevadas del perfil cuanto mayor sea la intensidad del oleaje incidente. Al movimiento de sedimentos a lo largo del perfil de playa se le conoce con el nombre de transporte litoral transversal.

Existen dos estados extremos de playa: bonanza y temporal. Ambos perfiles se dan cíclicamente. Las playas se erosionan durante las tormentas y vuelven a regenerarse durante las aguas mansas o swells. Durante una tormenta se establece un mar confuso dentro de la zona de rompientes y las olas se dirigen a la playa con intervalos regulares desde diferentes direcciones (Silvester, 1959). La pendiente de la playa se satura rápidamente, disminuye la percolación del agua que llega desde el mar y se intensifica el flujo de retorno. En oleajes con cierta intensidad, los sedimentos emigran a zonas más profundas del perfil, pudiendo formar barras que aumentan la distancia entre la rotura del oleaje y la costa, protegiendo a esta de las olas y las corrientes (Vidal *et al*., 1995). En este tipo de perfil, la anchura de playa seca es menor. Tras el periodo de temporales, el oleaje va devolviendo la arena depositada en los fondos de la playa sumergida a la playa seca para conformar una playa de periodo de bonanza.

Los cambios de perfiles de temporal a bonanza permiten un equilibrio y una defensa muy eficaz de la costa, pero es muy sensible a las interferencias que pueda sufrir el movimiento del material. La invasión o alteración de la franja litoral obstaculiza la dinámica natural de oscilación del perfil transversal de las playas, rompiendo, por tanto, su equilibrio.

4.2.2 Subsistema eólico

Las dunas litorales son formas eólicas que se desarrollan en costas donde existe suficiente sedimento suelto, disponible para ser transportado tierra

adentro por los vientos (Figura 6). Estas acumulaciones constituyen una reserva de sedimento para la playa (Mir-Gual y Pons, 2011; Roig-Munar *et al*., 2012).

Figura 6 Dunas en la Península de Hel (Polonia).

En playas disipativas, el viento sufre menos perturbaciones que en las playas con perfiles reflectivos, una pendiente menor genera flujos de viento mas efectivos para el transporte de arenas. Las dunas evolucionan por pulsos (Cooper, 1958) en los que los períodos de actividad y avance dunar se intercalan con fases de estabilización. Estos están determinados por las variaciones eustáticas, climáticas y el levantamiento cortical (levantamiento epirogénico tectónico). La edad de las dunas se puede determinar por medio de sus características morfológicas y sedimentológicas (Figura 7).

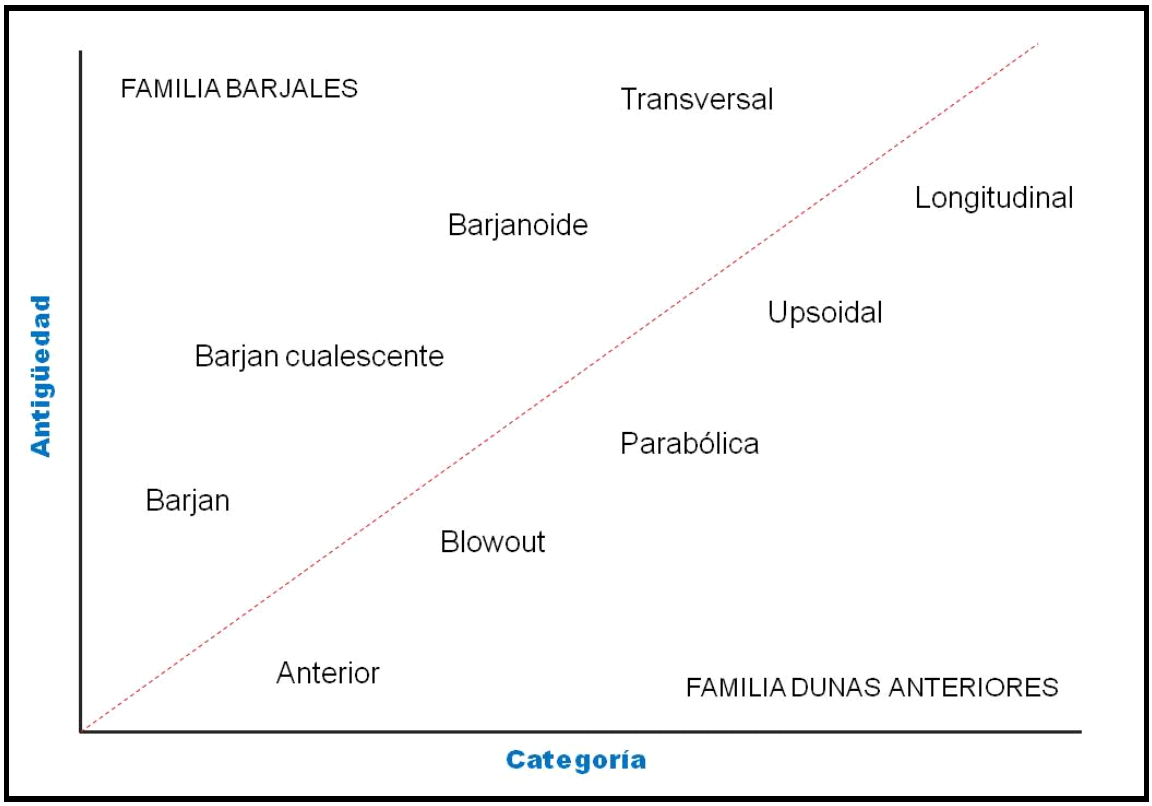

Figura 7 Evolución del *continuum* dunar. Fuente: Araya Vergara (1987)

5 EROSIÓN COSTERA

La erosión costera es uno de los mayores problemas del litoral. Alrededor del 20% de las costas del mundo son arenosas y están respaldadas por crestas de playa, dunas, arena u otro terreno sedimentario. Más del 70% de las playas ha sufrido erosión neta desde las últimas décadas del S. XX (Viles y Spencer, 1995).

La erosión costera es la modificación de la línea de costa (retroceso) preexistente que implica pérdida de sedimentos (Pardo, 1991; Viciana, 1998; Ojeda, 2000) situación en la que se encuentra el 70 % de las playas de la Tierra (Hegde, 2010) Las playas no son elementos aislados, forman parte de sistemas litorales, unidades fisiográficas bien definidas en las que el transporte transversal de sedimentos es independiente. Los límites de un sistema litoral quedan bien definidos longitudinalmente: (i) por accidentes topográficos con entidad suficiente para interrumpir la dinámica de transporte litoral hacia el mar, (ii) por la profundidad en la que el oleaje mantiene su capacidad de movimiento de sedimentos (profundidad de cierre máxima) y (iii) hacia tierra se extiende a aquellas zonas que, sin estar dentro de la acción dinámica de los agentes marinos, actúa directamente aportando sedimentos al sistema, como son las cuencas de los ríos y ramblas (Belmonte Serrato *et al*., 2009). Para determinar si un sistema litoral está afectado por un proceso erosivo o sedimentario es necesario conocer si su balance sedimentario se encuentra en equilibrio o desequilibrio (Belmonte Serrato *et al*., 2011) este equilibrio se basa en el mantenimiento de entradas y salidas de sedimentos procedentes de aportes de cauces, erosión de acantilados e intercambios dunares por acción eólica, aportes procedentes de la deriva litoral.

No se deben confundir la erosión costera con los estados cíclicos de la playa, en periodos de tormentas la playa posee un perfil de invierno (Figura 8), en el que la zona seca es menor debido a una ligera subida del nivel del mar, unida a una mayor energía por parte del oleaje que favorece la erosión de la parte más alta de la playa, depositando sedimentos en una zona sublitoral.

Figura 8 Perfil de invierno de la Playa de Cabezo de la Pelea.

Estos procesos están ligados a fenómenos extremos de baja frecuencia (Ojeda Zújar, 2000) y gran parte de los sedimentos vuelven al sistema litoral cuando pasa el evento y cambian las condiciones hidrodinámicas modelando el perfil de verano que muestra una menor superficie de playa sumergida.

Existe la posibilidad de encontrar zonas de un sistema litoral afectado por la erosión donde no se dé retranqueo de la línea de costa hacia el interior. Esto puede estar provocado por lo que se conoce como “onda erosiva” situación en la que los sedimentos de un tramo de litoral se acumulan en otros tramos evitando que estos muestren signos de erosión.

La erosión generalizada se produce cuando el tramo de costa en proceso de erosión ocupa prácticamente todo el sistema litoral, pero cuando la erosión parcial solo afecta a una zona de la playa, esta puede ser una señal de desequilibrio del sistema o el inicio de una erosión generalizada.

La Comisión Europea (2005) alerta de que el 20% del litoral comunitario se ve gravemente afectado por la erosión reciente de las costas. La regresión de la línea de costa alcanza valores de entre 0.5 y 2 metros al año y entre las causas más destacadas se encuentran las actividades humanas inapropiadas. En España la degradación afecta al 11.5% del litoral. Según el informe de 2005, Andalucía, Cataluña, Comunidad Valenciana, Islas Baleares y Cantabria, poseen un grado elevado de erosión, mientras que en Galicia, Asturias, País Vasco y Murcia el grado es moderado.

La región costera mediterránea alberga una población de 154 millones de personas (un tercio de toda la población de los países ribereños del Mediterráneo), a lo largo de aproximadamente 46.000 kilometros de costas. De ellas, el 54% son costas rocosas y el 46% restante sedimentarias (Sanó *et al*., 2011). En estas últimas se incluyen ecosistemas frágiles, como playas, dunas, lagunas y deltas (UNEP / MAP / Plan Azul, 2009).

Prácticamente todas las costas de la ribera mediterránea, al menos las de España, Francia, Italia y Grecia, se encuentran en erosión (EUROSION, 2005) Hasta hace unos años, la única solución utilizada para solventar el problema planteado fue la alimentación artificial de playas mediante árido tomado de zonas de préstamo (Hamm *et al*., 2002).

5.1 Componentes espacio-temporales de la erosión costera

Para analizar si existe o no erosión costera (Peña Olivas, 2008), se puede tener en cuenta el siguiente esquema espacio-temporal:

1.- En el tiempo

a.- Cíclica

b.- Onda erosiva

c.- Continua o constante

2.- En el espacio

a.- Generalizada (sistema litoral)

- Falta de sedimento
- Alteraciones del medio
- Cambio en los agentes

b.- Parcial

1.- Desequilibrio del sistema litoral

- Cambio en la morfología

a.- Barreras transporte longitudinal

b.- Barreras transporte transversal

- Cambio de los agentes
- Incidentes climáticos

2.- Inicio de erosión generalizada

- Falta de sedimento
- Alteraciones del medio
- Cambio en los agentes

5.2 Agentes de la erosión costera

5.2.1 Oleaje

El oleaje es el agente climático marino con mayor capacidad de acción sobre la costa y se define como la alteración producida en la superficie del mar por la actuación continuada del viento sobre un área marítima, durante un cierto

periodo de tiempo en la que se generan ondas con periodos entre 1 y 30 segundos (Figura 9).

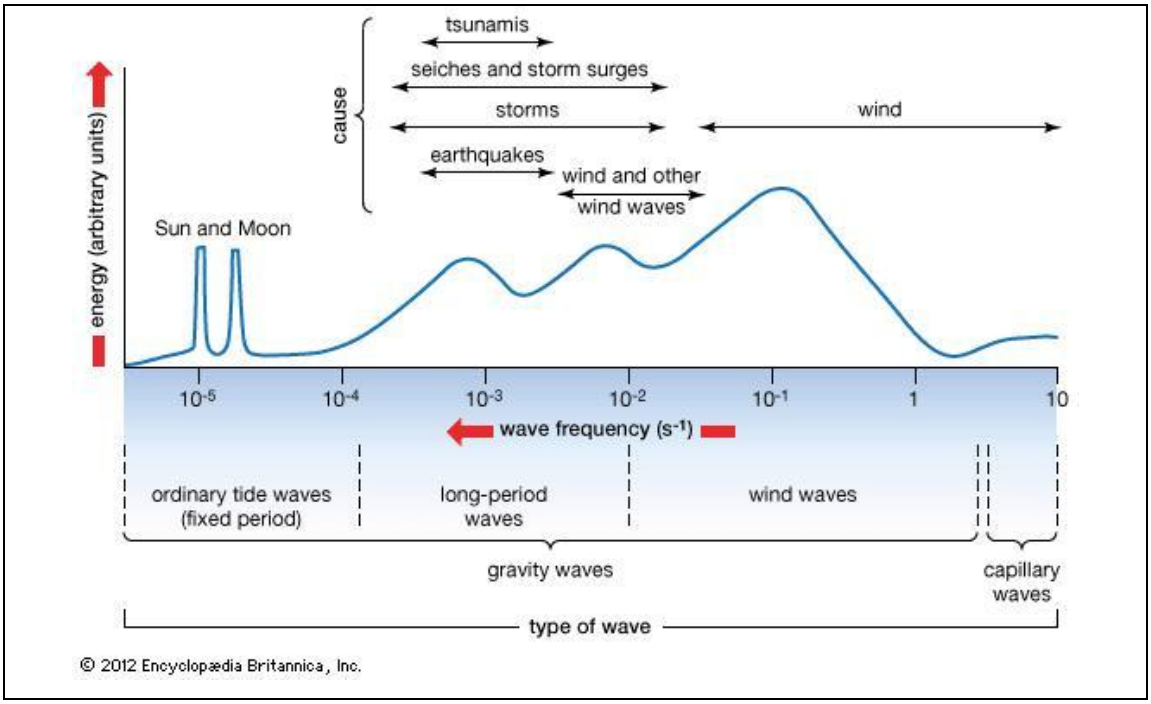

Figura 9 Tipos de olas y niveles de energía. Fuente: Encyclopædia Británica.

Como agente de la erosión costera su acción es muy importante ya que genera corrientes longitudinales a lo largo de la costa y transversales que hacen emigrar a los sedimentos desde el límite superior de la playa seca hasta el límite inferior de la playa sumergida, (profundidad de cierre).

El oleaje está condicionado por el fetch, la velocidad del viento y su duración (Bourassa *et al*., 2001; Huang, 1999). El fetch se determina por el parámetro "longitud del fetch" que se define, de forma simplificada, como la longitud del área de generación, en la dirección media del viento generador (Martínez Martínez, 1996).

Tipos de oleaje de vientos

Los oleajes se pueden clasificar fácilmente por su periodo, dentro de las olas de gravedad y atendiendo a la zona de generación del viento que lo forma, el oleaje se puede clasificar como *sea*, o mar de viento, que es el que se produce en la zona de generación. Se trata de un oleaje muy desordenado con

pequeños frentes en distintas direcciones, entre las que predomina la del viento. En cambio el *swell*, o mar de fondo se da fuera de la zona de generación, con olas de diferentes periodos, que viajan en la misma dirección, aunque se suelen abrir lateralmente unos 15º.

Tsunamis

Los tsunamis son series de olas con una gran longitud de onda, causadas por el desplazamiento de un gran volumen de agua. Los terremotos, las erupciones volcánicas y otras explosiones submarinas. Aunque el mas conocido de la Península es el que tuvo lugar en 1755, asociado al terremoto de Lisboa, según los registros del National Geophysical Data Center / World Data Service (2015), los tsunamis pueden afectar preferentemente las costas del levante español y las islas Baleares, debido a dos áreas de terremotos, la zona más cercana a la costa de Túnez y el mar de Alborán, donde se produjo el Big-95 hace 11.500 años (Figura. 2.10), provocado por un deslizamiento de tierra de 26 km^3 cerca de las Islas Columbretes (Bernet *et al*., 1999; Canals *et al*., 2004); el tsunami de Almería en el año 1522 (Reicherter y Becker-Heidmann, 2009), o mas recientemente el ocurrido el 14 de febrero de 2004 que provocó olas con una altura de 14 m a 100 km de la costa de Menorca (Didenkulova *et al.*, 2006). A pesar de su magnitud, el carácter imprevisto de estos eventos hace que sean difíciles de registrar (Lechuga, 2006).

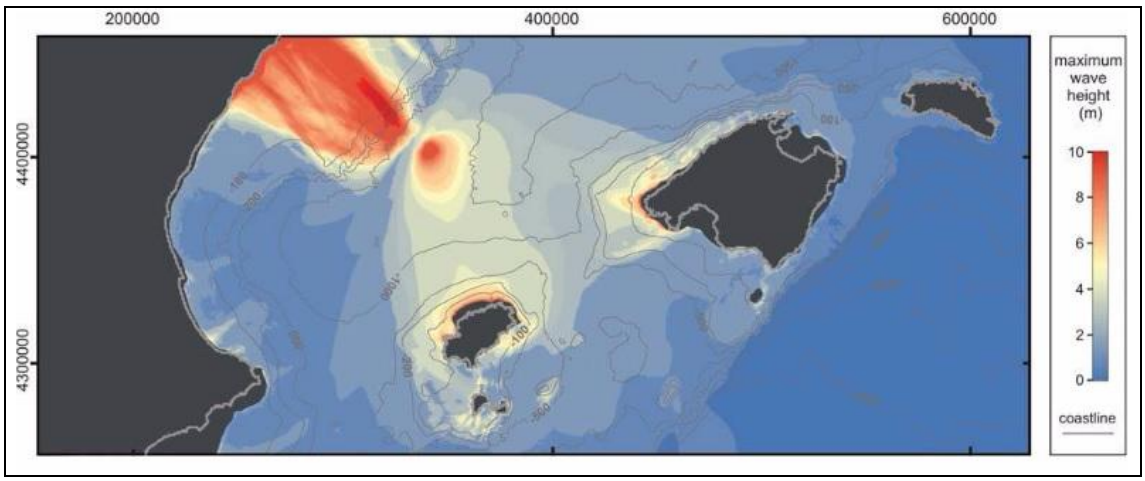

Figura 10 Altura de ola máxima durante el BIG-95 Fuente: Iglesias et al. (2012).

5.2.2 Mareas

Las mareas son el paso de una onda de gran tamaño por las cuencas oceánicas. Se caracterizan por una elevación y caída rítmicas del nivel del mar durante un período de varias horas y son las olas oceánicas de mayor longitud. Las mareas se forman por la atracción de la tierra y su hidrósfera por cuerpos celestes. En las costas controlan la posición y amplitud de la zona de acción del oleaje y la circulación de masas de agua.

La diferencia entre el mayor *(pleamar)* y el menor nivel de las aguas *(bajamar)* en medio día se denomina rango semidiurno. Este rango varía en un ciclo de dos semanas. Las mareas se pueden clasificar según la diferencia entre la pleamar y la bajamar, lo que se denomina carrera de marea (Figura 11). El rango micromareal se da cuando la carrera de marea es menor de 2 metros, en el rango mesomareal la carrera de marea se encuentra entre los 2 metros y los 4 metros y en las costas de rango macromareal es mayor de 4 metros.

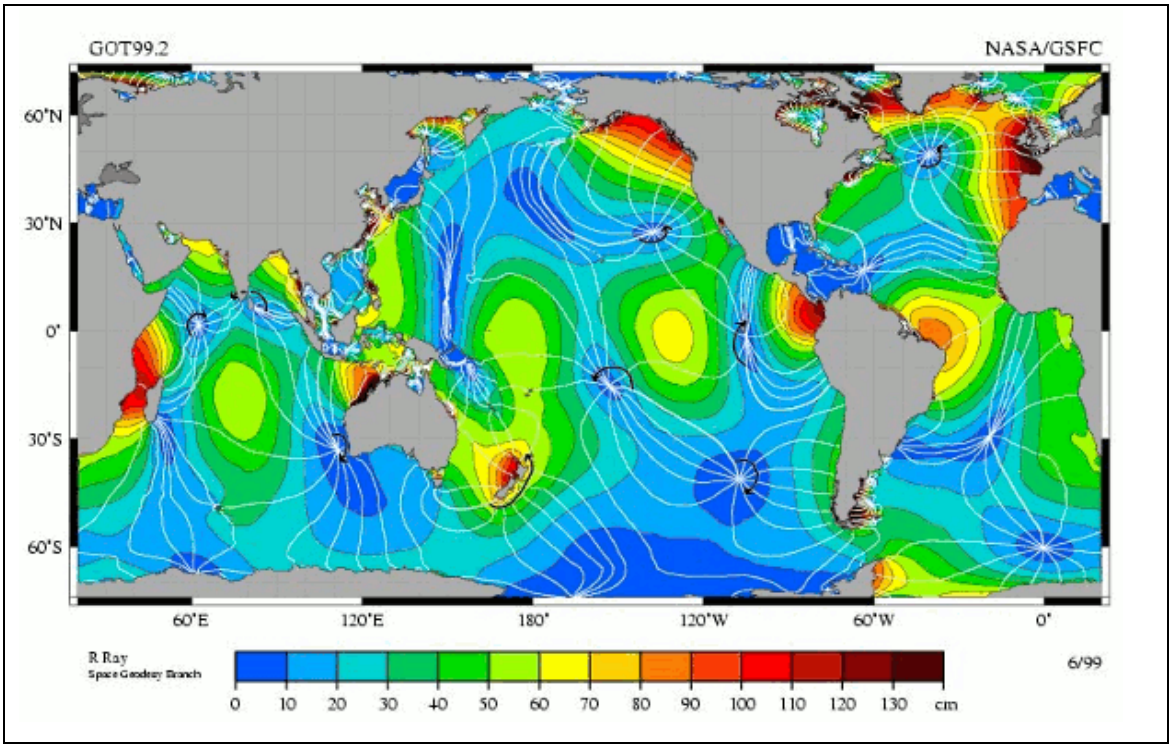

Figura 11 Distribución de las carreras de marea lunares. Fuente: NASA TOPEX/Posidon.

5.2.3. Surge storms

Las tormentas asociadas a un aumento del nivel del mar (*surge storms*), producen importantes pérdidas de arena en la playa, trasladando el sedimento

a zonas profundas. Cuando las condiciones mejoran las olas suelen transportar el sedimento hacia la playa, reconstruyéndose el perfil inicial.

6 CAMBIOS DE ORIGEN ANTRÓPICO EN EL LITORAL Y EROSIÓN COSTERA

La evolución de una zona costera varía temporalmente, de forma natural, como resultado de factores que pueden ser divididos en grupos interdependientes (Codignotto, 1997) factores geológicos, factores propios del océano (olas, corrientes y mareas), factores ligados a las oscilaciones del nivel del mar de orden global (cambio climático) y de orden local (tectónica y vulcanismo) y factores propios del sector de costa, como la acción eólica, la hidrología y la acción antrópica. En efecto, el crecimiento demográfico ejerce una fuerte presión sobre la costa (Hinrichsen, 1998). Las actividades humanas pueden cambiar el litoral de manera rápida y a veces irreversible.

Las obras costeras deben tener en cuenta las células litorales, de manera que afecten lo menos posible a los procesos naturales, que mantienen la cantidad de sedimento dentro del sistema (Proyecto Eurosion, 2004). También hay que tener en cuenta que las obras del litoral reciben los efectos del oleaje durante los temporales (Huang, 1999; Massel, 1996) por lo que también pueden servir de protección.

La aplicación de revestimientos en zonas con retroceso costero rompe el equilibrio natural verano/invierno, lo que además de impedir el crecimiento de la playa en verano, al impermeabilizar la zona de swash, no permite la erosión de la parte alta de la playa en invierno, evitándo la formación de la barra de sedimento que actúa de despensa en la zona de transición al shoreface, o zona de transición entre el interlitoral y la planta continental. En este caso, la estima del transporte longitudinal y transversal presenta incertidumbres para el clima actual (Sánchez-Arcilla *et al*. 2001), que se acrecentaran para futuros escenarios climáticos.

La degradación de las praderas de *Posidonia oceánica* o la retirada de los ribazones por cuestiones estéticas desprotege a la playa de la acción del oleaje incluso hace que se pierda una importante cantidad de sedimento incluido y mezclado con la propia planta, debido a la forma en que se produce el

transporte (Brown y McLachlan, 2006). Por otro lado, la maquinaria pesada con la que esta acción se lleva a cabo puede dañar el *foredune* (Roig i Munar, 2001). También la presencia de fanerógamas como la *Posidonia Oceánica* o la *Cymodocea Nodosa*, situadas en profundidades que van desde 0,5 m hasta los 30 m en condiciones de aguas limpias en el Mediterráneo (Duarte *et al*., 1998), hacen que disminuya la energía de los temporales que actúan sobre el litoral y mejora la estabilidad de los fondos marinos (Aragonés Pomares, 2015).

Los cambios en la Hidrología y en los usos del suelo de las cuencas litorales está fuertemente relacionada con la erosión costera, debido a que existe una fuerte conexión entre los procesos de erosión de la cuenca y el aporte sedimentario de los ambientes marinos y costeros (Stallery y Phillips 2011) Una de las mayores causas que provocan la erosión de las playas es la disminución en el suministro de sedimentos a una costa, debido a la regulación de los ríos que suministran el material. Las obras de regulación del río pueden ser la construcción de presas para el riego y la producción de energía, o la profundización de los canales de navegación y la extracción de arena. Un ejemplo muy claro es la erosión que provocó la captura de los sedimentos del río Nilo por la construcción de la gran presa de Asuán, en la década de 1960. La reducción del caudal y la construcción de una primera presa dio lugar a una tasa de erosión de 42 m/año que aumentó hasta los 129 m/año en 1971, tras la construcción de la Gran Presa de Asuan (Smith y Abdel-Hader, 1988).

Las perspectivas de futuro, con un previsible incremento de la población afectada por la erosión, requieren medidas relacionadas con la ordenación del uso del suelo (del Río et al., 2015).

Los usos costeros son las actividades que tienen lugar en la zona costera en las que se utilizan y explotan los recursos en dichas zonas. En este punto conviene hacer una distinción con los “usos en la costa”, los cuales se referirían a actividades que se realizan en la zona costera pero que su desarrollo no requiere de las características de ésta (Valdemoro García *et al*., 2005). Las costas son especailmente sensibles a las actividades humanas, cuyos impactos generan graves consecuencias, es por ello que el estudio de los usos del suelo resulta necesario como métodos de análisis.

Existe una estrecha relación entre la erodebilidad y el impacto antrópico, debido a las alteraciones topográficas que provocan tanto en movimientos en masa de laderas, como pérdidas de suelo (Pelacani *et al.,* 2006a y 2006b). Uno de los impactos más fuertes de las actividades humanas en las cuencas litorales mediterráneas es el provocado por la agricultura. Sólo la preparación del terreno para la agricultura en pendiente ya implica alteraciones fuertes, no sólo en la cobertura vegetal (Slattery y Phillips, 2011), sino también en la topografía, la estabilidad del sustrato y la pérdida de suelo.

Los territorios más vulnerables a los cambios de uso de suelo son aquellos en los que el clima se caracteriza por la escasez de precipitaciones o en los que estas se dan de forma irregular de manera esporádica e intensa (Rodolfi 2006), por lo que aceleran considerablemente la erosión del suelo. Algunos estudios de cambios de cobertura en las cuencas litorales han llegado a la conclusión de que la implicación de estas transformaciones afectan a las playas, a las dunas (Soto Bäuerle *et al*., 2011), incluso al equilibrio ambiental de las praderas submarinas y los corales (Restrepo *et al*., 2006).

En el ámbito mediterráneo se han dado procesos de cambio de usos del suelo a gran escala (Ruiz Sinoga y Martínez Murillo, 2012; Martínez Hernández y Canovas García, 2016). Algunas de las características de estos cambios son la perdida de cultivos tradicionales a costa de usos agrícolas intensivos (Belmonte Serrato *et al*., 2011) y la rápida expansión de las zonas urbanas en las áreas turísticas mediterráneas que se ha realizado, ya a partir de los años 80 (Ferré Bueno y Ruiz Sinoga, 1986), a costa de los cultivos tradicionales principalmente. Las áreas urbanas tambien presentan diferentes problemas ambientales cuando su crecimiento es descontrolado (OCDE, 1993).

En la Región de Murcia se dan dos factores que favorecen la erosión del suelo la precipitación la alta erosividad y la energía de los episodios de tormenta (Ruiz Sinoga y Romero Díaz, 2015), en las áreas litorales el desarrollo de usos urbanos e invernaderos hace que el primero de estos factores sea nulo, por lo que durante las precipitaciones, no se produce erosión debido al sellado del suelo y por tanto los aportes de las ramblas a las playas disminuyen.

6.1 Obras marítimas

Los principales factores antrópicos que intervienen en la evolución de la línea de costa son las obras de ingeniería realizadas en la costa, como los puertos, que suponen una barrera al paso de sedimentos y la división de las playas continuas mediante presas, espigones, diques y canales artificiales (Di Stefano, *et al* 2013),

Las obras marítimas son estructuras que interrumpen o modifican el transporte litoral, por lo que son elementos con gran capacidad para alterar la dinámica litoral. La construcción de obras marítimas de protección, a pesar de seguir siendo una medida correctora válida, tienen un impacto cuanto menos paisajístico. Por otro lado, estas infraestructuras requieren cálculos complejos sensibles a variaciones, por lo que su respuesta puede no ser adecuada en el futuro debido al efecto climático que afecta a la subida del nivel del mar. Las obras de defensa costera se pueden clasificar según su situación relativa a la línea de costa en:

a) Obras de protección del litoral

La misión de este subgrupo de obras marítimas exteriores es mantener o modificar la línea de costa. La clasificación de las obras de defensa puede estar sujeta a diferentes criterios, el efecto de la estructura en el oleaje (clasificación energético-funcional), la deformabilidad de la estructura de protección, la posición de la estructura respecto a la línea de costa y la metodología del cálculo. Estas estructuras incluyen diques, revestimientos, mamparos y escolleras.

- Obras que facilitan la discontinuidad de la línea de costa.

Se trata de estructuras situadas perpendicularmente a la costa. Los espigones son utilizados frecuentemente en las desembocaduras como soporte en la diferencia batimétrica entre el perfil de la playa y el canal, lo que puede ocasionar cambios en las comunidades bentónicas (Hernández-Vega *et al*., 2003).

- Diques exentos

Los diques exentos son obras marítimas cuya principal misión es proteger un tramo de costa del oleaje. La acción sobre la dinámica litoral de arrecifes, barras o islas próximas a la orilla son la inspiración de estas estructuras artificiales (Bricio Garberí *et al*, 2010). La principal diferencia con los espigones es que no es necesaria su conexión física con la playa. Este tipo de obras tratan de evitar las pérdidas de sedimento mediante alteraciones en dinámica, por lo que la respuesta de la costa tras la construcción de un dique exento es muy sensible a las variaciones temporales de los agentes actuantes (Wamsley *et al*., 2003). Los diques tienen la capacidad de disminuir, suprimir o acumular el material sedimentario, cambiando la tendencia erosiva de una playa. Si la cantidad de material depositado es suficiente, tendrá lugar la formación de una punta de arena, saliente o hemitómbolo, que puede llegar a desarrollarse hasta alcanzar la estructura y formar un tómbolo.

- Puertos

Los puertos son las grandes estructuras de protección del litoral y, por tanto, las más complejas. Su misión es la de proteger la navegación y las embarcaciones. Una de las interferencias que provocan los puertos es el bloqueo de transporte de sedimentos de la deriva litoral, lo que provoca el déficit y por tanto, la erosión a sotavento a lo largo de la costa adyacente.

- Regeneración de playas

El objetivo de la regeneración de playas es recuperar la superficie de la playa primitiva (Viciana Martínez-Lage, 1994). Dado que es clave para el turismo la regeneración de playas es una de las actuaciones más comunes en el litoral mediterráneo (Obiol Menero, 2003). El material utilizado para la remodelación y construcción de playas artificiales puede ser de procedencia terrestre obtenido de yacimientos naturales o de canteras, o de procedencia marítima derivada de préstamos marinos disponibles al efecto o de la extracción de dársenas de áreas próximas. Al contener menor cantidad de material fino, mejor graduación, color, aspecto y forma de los granos, este material resulta más adecuado que el de procedencia terrestre (París Solas, Wibbelink, y Basabe Criado, 1995). La regeneración de playas es una buena solución para el uso sostenible del recurso litoral, pero, la complejidad de este medio aconseja que estos

proyectos prevean los posibles efectos adversos (Canteras *et al*., 1995) En 2015, el Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente recibió una dotación de 21,5 millones de euros (B.O.E., 2015), para obras de reparación por temporales.

6.2 Degradación de los sistemas Dunares

Los sistemas dunares sufren numerosos impactos antrópicos, la mayoría están relacionados con la construcción de áreas urbanas (Nordstrom *et al*., 2011). Que en el caso Mediterráneo español, está relacionada con el *boom* inmobiliario de residencias turísticas. En muchos casos los impactos negativos tienen su origen en una mala gestión de las prácticas de conservación de las playas (Roig i Munar *et al*., 2012), que destruyen las especies vegetales que dan estabilidad a los sedimentos o que emplean maquinaria pesada para la limpieza.

6.3 Degradación de la posidonia Oceánica

En el Mediterráneo el deterioro de las praderas de posidonia es otro factor antrópico importante. La Posidonia oceánica es una de las escasas especies fanerógamas que se han adaptado a la vida en el mar. Esta especie, endémica del Mar Mediterráneo, habita preferentemente sobre sustrato blando y no suele encontrarse en profundidades superiores a los 30-40 m debido a las necesidades de luz solar. La Posidonia oceánica constituye estructuras vegetales de crecimiento lento y se caracteriza por tener raíces, rizomas y hojas de unas dimensiones entre 0.8 y 1.5 cm de ancho por 80 y 120 cm de largo, crecen en haces de hojas y cada individuo puede llegar a tener hasta varios centenares de hojas por m^2 (Roig y Munar, 2001). Su desarrollo horizontal sobre el sustrato es tal, que da lugar a praderas que pueden ocupar decenas de Km^2. La Posidonia oceánica se distribuye por todo el litoral mediterráneo, siendo más frecuente en playas arenosas. En España ocupa una superficie de 2.800 Km^2 (Duarte y Kirkman, 2001). Las praderas de Posidonia oceánica conforman el tipo de hábitat prioritario, según la Directiva de Habitats, 1120* *Posidonion Oceanicae*.

Al margen del cobijo y de la fuente de alimentación que ofrecen las praderas a la fauna marina, y de la gran capacidad para capturar el CO2 atmosférico (Marbá *et al*., 2015). Las praderas submarinas tienen un papel muy activo en la dinámica litoral, tanto por la protección que ofrecen a la costa, como por el aporte de sedimentos. Mar adentro, las hojas hacen precipitar los sedimentos, a continuación los rizomas y raíces retienen estos sedimentos y los incorporan al sustrato, de tal manera que el fondo se va elevando progresivamente. Estas acumulaciones amortiguan el efecto del oleaje, ya que al disminuir la profundidad el oleaje rompe en una zona más alejada de la línea de costa. Por otro lado, Las praderas dispuestas de forma paralela a la línea de costa permiten retener la arena de los bancos sumergidos, impidiendo que esta se desplace perpendicularmente hacia zonas más profundas lo que favorece el mantenimiento del litoral arenoso (Scoffin, 1970; Hemminga *et al.* 1990; Roig i Munar, 2001). La pérdida de hojas de la posidonia oceánica sucede en otoño, estación que coincide con la época de temporales, alrededor del 70% de las pérdidas (Medina *et al.,* 2001) quedan depositadas entre la zona de praderas sumergida y el límite de la zona de swash (Rodríguez-Perea *et al.,* 2002) una vez allí, y dependiendo del transporte por la acción del oleaje, entre el 10-25% de las hojas se acumulan en la playa. Debido a la naturaleza micromareal de las playas mediterráneas (Vidal *et al.,* 1995) la acumulación de hojas muertas en la playa forma una berma vegetal (Roig i Munar y Martín Prieto, 2005). Estas acumulaciones contribuyen al mantenimiento de la línea de costa reduciendo la fuerza de oleaje (Fonnseca y Fisher, 1986) y favoreciendo los procesos de sedimentación frente a los erosivos (Hemminga y Nieuwenhuize, 1991). Las praderas mejoran la estabilidad de sedimentos (Gacia y Duarte, 2001). Además, la hojarasca acumulada aporta arena a partir de los esqueletos de sílice y carbonato de los epífitos muertos que crecían sobre ellas, aportando arena de gran calidad a las playas. Por otro lado, las hojas transportadas playa adentro pueden actuar como cebadores (Rodríguez Perea, 2000) para la formación de dunas. Todo esto hace que las praderas de Posidonia oceánica favorezcan la formación y mantenimiento del litoral arenoso, y por tanto de las playas, convirtiéndose en una fuente importante de sedimentos para la playa, en muchos casos el principal (Jaume y Fornos, 1992).

6.4 Cambios en las cuencas litorales

Existen otros factores menos visibles, asociados a las fuentes de suministro de las playas. La costa representa el elemento de conexión entre los medios terrestre y marinos, de forma que cualquier cambio que ocurra en alguno de ellos repercutirá de forma necesaria en la franja costera (Anders y Byrnes 1991), en este sentido, la regulación de ríos o los cambios en los usos del suelos de las cuencas de drenaje, que afectan al volumen de sedimentos que llegan a la costa, constituyendo una de las causas principales de la erosión de las playas.

La alimentación fluvial constituye el 95% del sedimento que entra en el océano (Walling, 2006), aunque hay que tener en cuenta que los sedimentos que más influye en el sector litoral, es la fracción arena o superior, transportada como carga de fondo que es muy difícil de cuantificar (Jiménez y Sánchez-Arcilla, 1997) y que las relaciones entre escorrentía y sedimentos no son lineales.

Además de los cambios efectuados sobre los cauces, los cambios de usos del suelo de las cuencas asociadas a la costa pueden disminuir significativamente el aporte de sedimentos. Entre las acciones humanas que han influenciado el proceso erosivo se ha considerado a la urbanización y excesiva fijación de médanos frontales (Bertoncello 1992, Juárez e Isla 1999; Merlotto y Bértola, 2009) y los cambios de usos agrícolas.

En las zonas áridas y semiáridas los sistemas de drenaje están constituidos en su mayor parte por cauces temporales que fluyen intermitentemente (Boulton y Suter, 1986) El término "rambla" hace referencia geomorfológicamente a cauces anchos y de sustrato pedregoso, e hidrológicamente, a cursos efímeros que sólo vehiculan agua como resultado de intensas precipitaciones en su cuenca de drenaje (Mateu, 1989). El término rambla puede hacer referencia a varios tipos de cauces (Gómez *et al*, 2002), pudiendo encontrar:

1. Cauces anchos y de sustrato pedregoso, que solo transportan agua durante unos pocos días al año como resultado de intensas precipitaciones.

2. Cauces que transportan agua permanentemente, pero sometidas a acusadas fluctuaciones de nivel, espaciales o temporales.

3. Cauces que transportan agua de forma temporal, quedándose secos durante los meses de estiaje.

4. Cauces que transportan agua de forma especialmente intermitente, con tramos que pueden ser permanentes y tramos temporales. (Suárez y Vidal-Abarca, 1993)

En las costas del sureste de España las ramblas tienen una especial importancia en la aportación de sedimentos a las playas, la remoción del suelo que registran en sus cuencas y, en consecuencia, la gran cantidad de sedimentos que aportan en periodos de avenida, hacen que las ramblas sean uno de los factores más importantes en la regulación del litoral en el Mediterráneo (López Bermúdez y Gomariz Castillo, 2006). Las lluvias copiosas e intensas, suelen originar avenidas de tipo flash-flood (Suárez *et al*., 2010) y, al contrario que los ríos, las ramblas no transportan sedimentos de forma continua. Las ramblas de los terrenos semiáridos del Sureste peninsular funcionan de forma intermitente a través de sucesos hidrológicos discretos en el tiempo. Largos periodos de cauce seco son interrumpidos por avenidas, en ocasiones extraordinarias (López Bermúdez *et al*., 2000).

El Mediterráneo cada vez dispone de menos arena para aportar a la costa y mantener las playas; las pérdidas de arena causadas por los temporales no se pueden ya recuperar naturalmente y las playas retroceden y aumentan su pendiente. Además, un temporal con menos materia en suspensión y playas de más pendiente supone un oleaje con más energía que rompe más cerca de la costa y, por tanto, con mayor capacidad de destrucción (Burriel de Orueta, 2001)

Los principales problemas de la erosión costera están provocados por la ocupación y transformación de las cuencas próximas al litoral. La causa principal del retroceso general a que están sometidas las playas en España, se debe a que el volumen de sedimento que aportan los ríos es cada vez más

escaso. Esta situación se explica, sobre todo, por la extraordinaria regulación de los ríos, mediante embalses que actúan como barrera al transporte de sedimento hacia la línea de costa (Sanchez-Arcilla *et al*., 1997), aunque también intervienen otras causas relacionadas con la protección de los suelos y lucha contra la erosión, como las repoblaciones forestales, que disminuyen tanto la cantidad de sedimentos transportados por los ríos, como el caudal de los mismos. Podría decirse que las medidas de lucha contra la erosión en el interior contribuyen a la erosión del litoral.

6.5 Cambio climático

El cambio climático acelera la erosión costera debido al aumento del nivel del mar y el aumento de las tormentas a nivel mundial. Desde los años 90 el aumento del nivel del mar para la zona sur del Mediterráneo, es de unos 2.5 mm/año (Vargas-Yáñez *et al*., 2010), lo que provoca, en algunas playas, un retroceso significativo de la línea de costa (Fraile Jurado y Ojeda Zujar, 2011). La cobertura vegetal y los usos de los suelos son aspectos condicionados por el cambio climático (Cendrero *et al*., 2005) modificando los aportes de sedimentos que llegan al litoral.

A pesar de que los últimos 11.000 años (Holoceno) corresponden a un periodo cálido se han sucedido eventos fríos denominados Eventos Bond (Bond *et al*., 1999) de corta duración (en torno a 100-200 años) con una periodicidad de mil a dos mil años.

Los cambios en el nivel del mar pueden ser cíclicos, debidos a parámetros orbitales de 900 años de periodo de ciclo (Loutre *et al*. 1992), oscilaciones del sistema formado por el océano y la atmósfera con ciclos en torno a los 1.500 años (Bond *et al*. 1999), cambios en la actividad con periodos de 2.500 años (Stuiver y Reimer 1993) y fluctuaciones en la circulación termohalina en el Atlántico Norte que pueden provocar ciclos variables de entre 550 y 1.000 años (Chapman y Shackleton 2000). Esta variabilidad parece tener un carácter global y con toda seguridad afecta al clima del Atlántico Norte (Arz *et al*. 2001).

Dentro de los escenarios climáticos futuros, la región mediterránea (Giorgi y Lionello, 2008) y especialmente el sur de España se configuran como una de las áreas de mayor incertidumbre (Ruiz Sinoga *et al*., 2015).

Además de la erosión de la línea costera la subida del nivel del mar provoca graves efectos como la intrusión de agua salada que se traduce en una mayor pérdida de tierra habitable y cultivable provocando daños en los ecosistemas (Fatorić y Chelleri, 2012).

Los escenarios de cambio climático en el sur de la Península Ibérica prevén el incremento de las temperaturas máximas y mínimas, así como la reducción de la pluviometría (Brunet *et al*., 2008), que implicaría la reducción de aportes, aunque, por otro lado, a pesar del incremento del número de días sin precipitación, aumenta la probabilidad de precipitaciones extremas superiores a 30 mm día. (Ruiz-Sinoga et al., 2015).

Desde la ingeniería se puede afrontar estos cambios desde tres perspectivas diferentes (Peña Olivas, 2008).

- Reducción de aportes de sedimentos a las playas
- Cambio del clima marítimo
- Cambio del nivel medio del nivel del mar

7 MITIGACIÓN DE LOS PROCESOS EROSIVOS EN LA COSTA

7.1 Actuaciones flexibles

Existen dos tipos de actuaciones flexibles. En las primeras, las medidas se realizan sin intervenir las edificaciones situadas más allá del *backshore.* De esta manera la alimentación de playas por medio de áridos, permite ganar superficie al mar, pero, además de requerir grandes volúmenes de arena, exige estructuras de apoyo que pueden desestabilizar el sistema. El segundo tipo de actuaciones flexibles no considera el cambio de la línea de costa, por lo que obliga a encajar el perfil hacia el interior de manera que requiere generalmente la intervención sobre edificaciones situadas en la zona de servidumbre de protección.

El objetivo de la regeneración de playas es recuperar la superficie de la playa primitiva (Viciana Martínez-Lage, 1994). Dado que es clave para el turismo, la regeneración de playas es una de las actuaciones más comunes en el litoral mediterráneo (Obiol Menero, 2003). La regeneración de playas es una buena solución hacia el uso sostenible del recurso litoral, pero la complejidad de este medio, aconseja que estos proyectos prevean los posibles efectos adversos (Canteras et al., 1995)

7.2 Actuaciones rígidas

Las actuaciones rígidas son las relacionadas con la construcción de diques, muros de escollera, modificando el sistema de la playa. Uno de los problemas que presentan este tipo de medidas es la baja cota de cimentación de las infraestructuras y que esta se realiza sobre materiales sueltos, por lo que exigen un mantenimiento continuo.

8 Gestión Integrada de Zonas Costeras

El concepto de Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC) puede definirse como la herramienta para la conservación y el desarrollo del litoral, que optimiza el uso de los recursos tratando de satisfacer los intereses de todos los

agentes implicados, dentro de un marco jurídico y normativo preciso. La GIZC, permite la inclusión de las cuencas dentro de la ordenación territorial.

Antecedentes en Europa

En Francia se creó en un establecimiento público administrativo del Estado *Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres*, que comenzó a funcionar a partir de 1975. A pesar de sus limitadas competencias, (se centra en adquirir terrenos frágiles o fijar su "vocación de uso") se trata de un éxito de gestión (Tros-de-Ilarduya Fernández, 2008).

El Protocolo sobre GIZC del Mediterráneo (2008) fue ratificado por la UE en 2010, por las Partes Firmantes del Convenio de Barcelona. Este protocolo decisivo en la historia del Plan de Acción del Mediterráneo (UNEP, 2015), es un proyecto elaborado dentro del Marco de la Política Pesquera Común en 2002, para la conservación y la explotación sostenible de la pesca en el Mar Mediterráneo. Su publicación establece un área geográfica denominada zona costera, variable en sus límites interiores, que establece cada parte y el mar territorial hacia el exterior. Dentro de este protocolo, los objetivos de la GIZC son:

- La planificación de las actividades, garantizando el mantenimiento del medio ambiente
- La preservación de las zonas costeras
- El uso sostenible de los recursos naturales
- La preservación de la integridad del ecosistema, su paisaje y su geomorfología
- La reducción y la prevención de los riesgos naturales y el cambio climático
- Garantizar la coherencia de la toma de decisiones públicas y privadas que puedan afectar a la zona.

Integración en la GIZC

La integración en la GIZC se produce entre los niveles que la componen con 5 tipos de integración (Cicin-Sain, 1993): (i) con los sectores que operan dentro de las actividades humanas; (ii) con los componentes que conforman el entorno físico (tierra y agua); (iii) con los niveles de gobierno a nivel local, regional y nacional; (iv) con los propios estados a nivel supranacional; y (v) entre todas las disciplinas, es decir todos los medios de conocimientos científicos, culturales, tradicionales, políticos y locales.

Debido a la diversidad de la naturaleza y características de los ambientes costeros en el mundo, no es posible crear un marco común para todas las áreas costeras (Thia-Eng, 1993), aunque es posible establecer una metodología (Figura 12), que se convierte en un proceso de adaptación continuo.

La definición de las escalas de actuación de las variables en la gestión, depende de las disciplinas desde las que se aborda.

La GIZC se define en el Protocolo relativo a la Gestión Integrada de las Zonas Costeras del Mediterráneo como un proceso dinámico de gestión y uso sostenible, que tiene en cuenta simultáneamente la fragilidad de los ecosistemas y los paisajes costeros, la diversidad de las actividades y los usos, sus interacciones, la orientación marítima de determinados usos y determinadas actividades, así como sus repercusiones a la vez sobre la parte marina que terrestre (Giordano, *et al*., 2015).

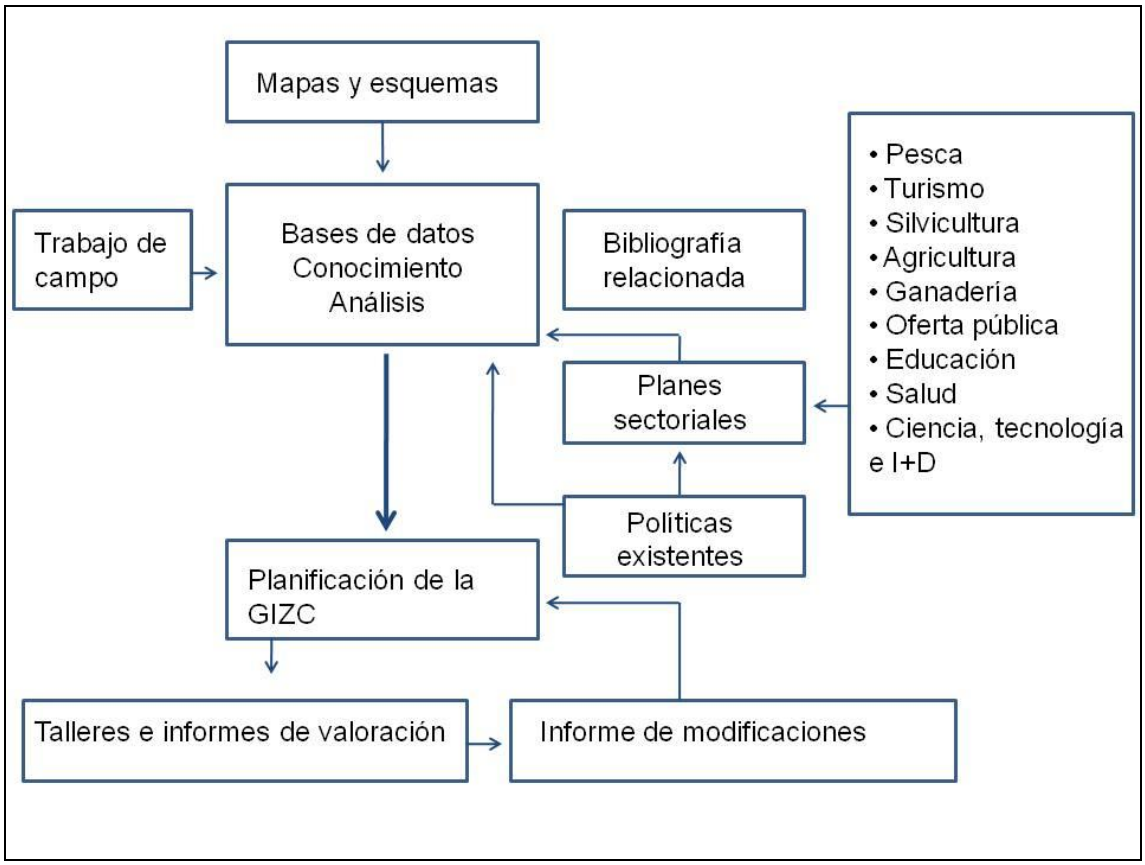

Figura 12 Ejemplo de metodología para la planificación de la GIZC. Fuente: elaboración propia a partir de Ramesh y Vel (2011).

El principal reto de la GIZC es armonizar los usos y recursos con la conservación de los valores naturales de la costa (Cortés Macías *et al*., 2010), para lo que el conocimiento del espacio y sus relaciones es imprescindible. GIZC debe contar con la posibilidad de gestionar y representar la información existente a través de datos espaciales de forma común, con el fin de entender las interacciones entre las actividades humanas y los ecosistemas uniendo el conocimiento científico y la gestión del territorio (Malvárez *et al*., 2015), lo que presenta un interesante campo de trabajo para los Geografos.

Los primeros enfoques de la Gestión Integral de Zonas Costeras tienen su origen en los años 60 con la Ley de Costas de los Estados Unidos. A partir de este momento, tanto gobiernos nacionales como organizaciones internacionales, han llevado a cabo importantes esfuerzos para alcanzar un desarrollo sostenible e integrado de la costa (Malvarez *et al*., 2015).

8. REFERENCIAS

Anders, F.J. y Byrnes, M.R. (1991). Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs. Shore and Beach 17-26.

Aragonés Pomares, L. (2015). *Procesos litorales de Alicante y Valencia*. (Tesis Doctoral). Escola Politècnica Superior. Universitat d´Alacant.

Arz H.W., Gerhardt S., Pätzold J. y Röhl U. (2001). Millennial-scale changes of surface– and deep-water flow in the western tropical Atlantic linked to Northern Hemisphere highlatitude climate during the Holocene. *Geology*, 29, 239-242.

Belmonte Serrato, F., Rupérez Tirado, E,, Moreno Brotóns, J. y Romero Díaz, A. (2011). Erosión de playas en el sistema litoral de Martina de Cope (Murcia), por la disminucenión de aportes derivada de la ocupación agrícola de las ramblas. En: Montoya, I., Rodríguez, I. y Sánchez, M.J. (Eds.): *Avances en Geomorfología Litoral*. Tarragona, 155-158.

Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, M. A., y Ruiz Sinoga, J.-D. (2013). Retroceso de la línea de costa en playas del sur de la Región de Murcia. *Scripta Nova: Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 17, 425-462.

Benavente, J., Del Río, L., Anfuso, G., Gracia, F.J. and Reyes, J.L. (2002). Utility of Morphodynamic Characterisation in the Prediction of Beach Damage by Storms. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 36, 56-64.

Bernet, S.; Canals, M.; Alonso, B.; Loubrieu, B.; Cochonat, P. The BIG-95 and CALMAR 97 shipboard parties, 1999. Recent slope failures and mass-movements in the NW Mediterranean Sea. En: Ollier, G.; Cochonat, P.; Mendes, L. (Eds.), *Seafloor Characterization/Mapping Including Swath Bathymetry, Side-Scan Sonar And Geophysical Surveys*. Third Eurpean

Marine Science and Technology Conference. Session Report. EU, Lisboa, 111-126.

Bertoncello R. (1992). Configuración socio–espacial de los balnearios del Partido de la Costa (Provincia de Buenos Aires). *Territorio*, 5, 18-55.

Bird, E., (2002). *Coastal Geomorphology. An Introduction*, 1st edition. John Wiley & Sons, LTD, England, 322 pp.

Bluck, B. J., (1967). Sedimentation of beach gravels - Examples from South Wales. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37(1): 128-557.

Boak, E.H. y I.L. Turner. (2005). Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 21(4): 688–703.

Boletín Oficial del Estado (2015): Real Decreto Ley /2015, de 6 de Marzo, por el que se adoptan medidas urgentes para reparar los daños causados por las inundaciones y otros efectos de los temporales de lluvia, nieve y viento acaecidos en los meses de enero, febrero y marzo de 2015 aprobado por el Real Decreto Legislativo 5/2015, de 12 de abril. Boletín Oficial del Estado, 7 de Marzo de 2015, 57, pp. 20670-20679.

Bond G., Showers W., Elliot M., Evans M., Lotti R., Hadjas I., Bonani G. y Johnson S. (1999). The North Atlantic's 1-2 kyr climate rhythm: Relation to Heinrich events Dansgaard/Oeschger Cycles and the Little Ice Age. En: Clark P.U. (ed). *Mechanisms of global climate change at millennial time scales: American Geophysical Union Monograph,* 112, 385-394.

Boulton A.J., Suter, P.J. (1986). Ecology of temporary streams. An Australian perspective. En: *Limnology In Australia* (Deckker, P. y Williams, W.D. eds .) 31, 3-327. CSIROJ Dr. Junk. Melbourne.

Bourassa, M. A., Vincent, D.G., Wood, W.L. (2001). A sea state parameterization with nonarbitrary wave age applicable to low and moderate wind speeds. *Journal of physical Oceanography,* 31, 2840-2851.

Bricio Garberí, L., Negro Valdecantos, V., Díez González, J.J., y López Gutiérrez, J.S. (2010). Diseño funcional y ambiental de diques exentos de baja cota de coronación. *Ingeniería civil*, 158, 53-61.

Brown A.C.y McLachlan, A. (2006). *The Ecology of Sandy Shores*, 2nd Edition. Academic Press. 392 pp.

Brunet, M., Casado, M., Castro, M., Galán, P., López, J., Martín, J., Pastor, A., Petisco, E., Ramos, P., Ribalaygua, J., Rodríguez, E., Sanz, I. y Torres, L. (2008). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España.* Technical report, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Bruun, P. (1954). *Coast erosion and the development of beach profiles. Beach Erosion Board,* Technical Memorandum, Nº 44.

Bruun, P. (1962). Sea-level rise as a cause of shore erosión. *Journal of Waterways and Harbours Division*, 88, WW1, 1, 17-130.

Burriel de Orueta, E. (2001) Cuando el mar saca sus escrituras. Lecciones del temporal marÍtimo. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. Vol. 1, 333.

Canteras, J. C., Pérez Urrestarazu, L., Cantera, E., Soler, M., y Carralimos, C. I. (1995). Impacto ambiental de regeneración de playas: la playa de poniente (Gijón). *Ingeniería del agua*, 2(5): 223-243.

Cendrero, A., Sánchez Arcilla, A., Zazo, C., Bardají, T., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Jiménez, C., Mösso, J., Rivas, V., Salas, J.P., Sierra, J.P., Valdemoro, H. (2005). Impactos sobre las zonas costeras. En: (Moreno, J.M. Coord.) *Evaluación Preliminar Impacto sobre el Cambio Climático en España*. Ministerio de Medio Ambiente, España.

Chapman M.R. y Shackleton N.J. (2000). Evidence of 550-year and 1000 year cyclities in North Atlantic circulat on patterns during the Holocene. *The Holocene*, 10: 287-291.

Cicin-Sain, B. (1993). Sustainable Development and Integrated Coastal Management. *Ocean and Coastal Management*, 21, 11-43.

Coastal Engineering Research Center (1984) *Shore Protection Manual (SPM)*. USACE, U.S. Army Coastal Engineering Research Center.

Codignotto, J. (1997). Geomorfología y dinámica costera*. El Mar Argentino y sus recursos pesqueros,* 1: 89-105.

Comisión Europea. (2005). *Vivir con la erosión costera en Europa: Sedimentos y espacio para la sostenibilidad. Resultados del estudio EUROSION.* Pat Doody, M. Ferreira, S. Lombardo, I. Lucius, R. Misdorp, H. Niesing, A. Salman, M. Smallegange, J. Serra Raventós, E. Roca, P. Fernández Bautista, C. Pérez (Eds.). Holanda. 41 pp.

Cooper W.S. (1958). *Coastal Sand Dunes of Oregon and Washington. Geological Society of America*. Memoir 72. New York, 169 pp

Cortés Macías, R., Navarro Jurado, E., Ruiz Sinoga, J.D., Delgado Peña, J.J. y Remond Noa, R. (2010). Manejo integrado costero en Cuba, la ensenada sibarimar. *Baética,* 32, 45-65.

Cowell, P.J., y B.G. Thom, (1994). Morphodynamics of coastal evolution, p .33-86. In: R.W.G. Carter and C.D. Woodroffe (eds). *Coastal Evolution. Late Quaternary shoreline morphodynamics,* 1st edition. Cambridge University Press, Cambridge.

Del Moral, R. y Berenguer, J. (1980). *Planificación y Explotación de Puertos. Ingeniería Oceanográfica de Costas.* Tomo I. M.O.P.U. - C.E.E.O.P. Madrid.

Del Río Rodríguez L. y Gracia Prieto F.J. (2012) Fotointerpretación aplicada al análisis dinámico de la línea de costa. En: *Jornadas Técnicas "Las nuevas técnicas de información geográfica al servicio de la gestión de zonas costeras: Análisis de la evolución de playas y dunas"* (Valencia) J.E. Pardo Pascual, L.A. Ruiz Fernández, Luis Ángel (eds.). pp. 12-17.

Del Río, L., Benavente, J., Gracia, F.J. y Chica, J.A. (2015). Riesgos de erosión en la costa de Cádiz: gestión actual y perspectivas futuras. *Geo-Temas*, 15: 149-152.

Di Stefano, A., De Pietro, R., Monaco, C., Zanini, A. (2013). Anthropogenic influence on coastal evolution: A case history from the Catania Gulf shoreline (eastern Sicily, Italy). *Ocean & Coastal Management*, 80, 133-148.

Didenkulova, I.I., Slunyaev, A.V., Pelinovsky, E.N. y Kharif, C. (2006). Freak waves in 2005. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 1007-1015.

Dolan, R., Hayden B.P., May, P. y May S.K. (1980). The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach*, 48(4): 22–29.

Dolan R, Fenster MS, Holme SJ. (1991). Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7: 723–744.

Duarte, C. y Kirkman, H. (2001). Methods for the measurament of seagrass abundante and depth distribution. *Global Seagrass Research Methods*, En: Short, F. T. and Coles, R. G. (Eds.) Elseiver Science.

Fatorić, S. y Chelleri, L. (2012). Vulnerability to the effects of climate change and adaptation: The case of the Spanish Ebro Delta. *Ocean Coastal Management*, 60, 1-10.

Fonseca, M.S. y Fisher, J. (1986). A comparison of canopi friction and sediment movement between four species of seegrass with reference to their ecology and restoration. *Marine Ecology Progress*, 29, 15-22.

Fraile Jurado, P. y Ojeda Zujar, P. (2012). The importance of the vertical accuracy of digital elevation models in gauging inundation by sea level rise along the Valdelagrana beach and marshes (Bay of Cádiz, SW Spain). *Geo-Marine Letters*, 33(2): 225-230.

Gacia E. y Duarte C.M. (2001). Sediment Retention by a Mediterranean Posidonia oceanica Meadow: The Balance between Deposition and Resuspension. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 52, 505–514.

García Cano C., (1990). Notas sobre la necrópolis ibérica de los Nietos. *Verdolay*, 2, 161–171.

Giordano, A., Navas, F. y Malvarez, G. (2015). Herramienta para medir el cambio en el medio. *Geo-Temas*, 15, 181-184.

Giorgi, F. y Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63, 90-104.

Gómez, R., Hurtado,I., Vidal-Abarca, M.R., Suárez, M.L. (2002). Las ramblas de la Región de Murcia: Valores naturales, paisajísticos y medidas para su conservación. En: III Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua.(Comunicaciones). Universidad Pablo Olavide. Sevilla. pp. 416-423.

Guisado-Pintado, E. y G. Malvárez, G. (2015). El rol de las tormentas en la evolución morfodinámica del Delta del río Vélez: Costa del Sol, Málaga. *Geo-Temas*, 15, 189-192.

Hallermeier, R.J. (1981): A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. Coastal Engineering, 4: 253-277.

Hamm, L., Capobianco, M., Dette, H.H., Lechuga, A., Spanhoff, R., Stive, M.J.F. (2002). A summary of European experience with shore nourishment. Coastal Engineering. 47, 237-264.

Hattersley, R.T., Foster D.N. (1968). Problems of beach erosion and some solutions. Australian Civil Engineering. Vol 9.

Hegde, A. V. 2010. Coastal erosion and mitigation methods – Global state of art. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. 39(4): 521-530.

Hemminga, M.A. y Nieuwenhuize J. (1991): Transport, deposition and in situ decay of seagrasses in a tropical mudflat area (Banc d'Arguin, Mauritania). *Netherlands Journal of Sea Research*, 27(2):183-190.

Hernández-Vega, S., Junoy, J., y Castellanos, C. (2003). Cambios bentónicos en la ría de Foz (Lugo) (noroeste de España) tras la construcción de un espigón. *Boletín. Instituto Español de Oceanografía*, 19, 205-218.

Hinrichsen, D. (1998). *Coastal Waters of the World. Trends, Threats, and Strategies.* Island Press, 275 p.

Huang, N. (1999) "*A view of coastal wave modeling: the physical and mathematical problems" en Huang N.et al. 1999 "Advances in coastal and ocean engineering*" Vol 4. World Scientific Publishing Ltd.

Ibarra Marinas, A.D., Belmonte Serrato, F., Rubio Iborra, J. (2016): El impacto territorial del uso agrícola y turístico del litoral: evolución de los cambios de uso del suelo en las cuencas litorales del sur de la Región de Murcia (1956-2013). *Boletín de la A.G.E.*, 72 (en prensa)

Iribarren, C.R. (1954): Proyecto de regeneración de las playas de Cartagena de Indias, Colombia.

Inman, D.L., Elwany, M. H. y Jenkins, S. A. (1993). Shorerise and bar-berm profiles on ocean beaches. *Journal of Geophysical Research*, 98(c10): 18181-18199.

Isla F.I. 1990. Tendencias litorales y transversales de transporte en playas y boca de marea: Mar Chiquita, Buenos Aires. Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, *Petrología y Sedimentología*, 21, 75–87.

Jaume, C. Y Fornós, J. (1992). Composició i textura dels sediments de platja del litoral mallorquí. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 35, 93-111.

Jiménez, J.A.; Sánchez-Arcilla, A. y Stive, M.J.F. (1993). Discussion on Prediction of storm/normal beach profiles. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 119(4): 466-468.

Jiménez J.A. y Sánchez-Arcilla A. (1997). Medium-term coastal response at the Ebro delta Spain. *Marine Geology*, 114, 105-118.

Komar, P.D. 1998. Beach Processes and Sedimentation. 2nd edn., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 544 pp.

Lechuga, A. (2006). Were freak waves involved in the sinking of the Tanker "Prestige"?. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 973–978.

López Bermúdez F. y Gomariz Castillo, F. (2006). Las ramblas, agentes reguladores del litoral mediterráneo ibérico. El ejemplo de la rambla de las Moreras. En Mateu, J.F. y Sanjaume, E. (Eds.) *Geomorfologia litoral i quaternari.* Valencia, Universidad de Valencia, pp. 245-257.

Malvárez, G., Pintado, E., Navas, F., & Giordano, A. (2015). Spatial data and its importance for the implementation of UNEP MAP ICZM Protocol for the Mediterranean. *Journal of Coastal Conservation*, 19(5): 633-641.

Martín-Algarra, A. (coord.) (2004): Zonas Internas Béticas. En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 395-437.

Martín Camino M., Roldán Bernal B., (1995). Informe de la excavación de urgencia en el Cerro de Calnegre (Cala del Pino, La Manga del Mar Menor). Año 1987. *Memorias de Arqueología (Murcia),* 3, 100–108.

Martínez Martínez, J. (1996). *Procesos y efectos geodinámicos marinos-costeros*. . Las Palmas de Gran Canaria: Shell España. 214 pp.

Marbá, N., Arias-Ortiz, A., Masqué, P., Kendrick, G.A., Mazarrasa, I., Bastyan, G.R., Garcia-Orellana, J. y Duarte, C.M. (2015): Impact of seagrass loss and subsequent revegetation on carbon sequestration and stocks. *Journal of Ecology*, 103: 296–302.

Masselink, G. y Hughes, M. G. (2003*). Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Edward Arnold, London, 354 pp.

Mateu, J.F. (1989). Ríos y ramblas mediterráneas. En: *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del Mediterráneo*, 133-150. Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante.

McGwynne, L., McLachlan, A. (1992). *Ecology and Management of Sandy Coasts. Institute for Coastal Research*, UPE, South Africa, Report, 30, 83 pp.

Medina R., Vidal, C., González, M., Bernabeu, A.M., Gallofré, J. (2001). Modelado de la morfodinámica de playas por medio de formulaciones de "Equilibrio". *Física de la Tierra,* 13, 95-117.

Merlotto, A., Bértola, G.R. (2009). Evolución de la línea de costa en el Balneario Parque Mar Chiquita, Argentina. *Ciencias Marinas*, 35(3): 271–286.

Miller, J.K. y Dean, R.G. (2004). A simple new shoreline model. Coastal Engineering 51, 531–556.

Mir-Gual M, Pons GX (2011). Coast sandy strip fragmentation of a protected zone in the N of Mallorca (Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research,* Special Issue 64(1): 1367-1371.

Nordstrom K.F., Jackson N.L., Kraus N.C., Kana T.W., Bearce R., Bocamazo L.M., Young D.R., De Butts H.A. (2011) Enhancing geomorphic and biologic functions and values on backshores and dunes of developed shores: a review of opportunities and constraints. *Environmental Conservation,* 38, 288–302.

OCDE, (1993). *Gestión de Zonas Costeras. Políticas Integradas.* Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, París. 203 p.

Ojeda Zújar, J. (2000). Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta. *Boletín de la A.G.E.,* 30,103-118.

Obiol Menero, E. M. (2003). La regeneración de playas como factor clave del avance del turismo valenciano. *Cuadernos de geografía*, 73: 121-146.

PAP/RAC (2007): *Protocolo relativo a la Gestión Integrada de las Zonas Costeras del Mediterráneo*. 22 pp.

Pardo Pascual, J.E y Santjaume, E. (2001). Análisis multiescalar de la evolución costera*. Cuadernos de Geografía* 69-70, 95-126.

Pelacani, S., Ungaro, F., Lombardi, L. y Rodolfi, G. (2006a) Applicazione di techiche geostatistiche e GIS per la caratterizzazione dei suoli e della loro erodabilita. In: Rodolfi, G. *Water erosion in mediterranean environment: direct and indirect assessment in test areas and catchments*. Genova: Ministero dell Università e Della Ricerca Progetti di Rilevante Interesse Nazionale,

Pelacani, S., Lombardi, L., Maerker, M. y Rodolfi, G. (2006b). *Caratterizzazione dei processi geomorfici di versante nel bacino del torrente orme (Toscana Centrale) sulla base delle unita di risposta erosiva* – ERU. Genova: Ministero dell Università e Della Ricerca Progetti di Rilevante Interesse Nazionale.

Peña Oliva, J.M. 2008. ¿Qué es erosión costera? *Cimbra*, 380, 6-17.

Perez-Alberti, A., Pirés A., Freitas, L., Chamine, H. (2013). Shoreline change mapping along the coast of Galicia, Spain. *Proceedings of the ICE-Maritime Engineering* 166 (3): 125-144.

Programa EUROSION. (2004) *Development of a Guideline Document on Strategical Enviroment Assesment (SEA) and Coastal Erosion*. Final report. Noviembre de 2004.

Ramesh D.A. y Vel A.S. (2011). Methodology of Integrated Coastal Zone Management Plan Preparation. Case Study of Andaman Islands, India. *Journal of Environmental Protection*, 2, 750-760.

Rapport, D.J., Böhm, G., Buckingham, D., Cairns, J., Costanza,, R., Karr, J.R., de Kruijf, H.A.M., Levins, R., McMichael, A.J., Nielsen, O. & Whitford, W.G. (1985). Ecosystem Health: The Concept, the ISEH, and the Important Tasks Ahead. *Ecosystem Health*, 5(2): 82-90.

Reicherter, K. y Becker-Heidmann, P. (2009). Tsunami deposits in the western Mediterranean: remains of the 1522 Almería earthquake? *Geological Society*, 316, 217-235.

Restrepo, J.D., Zapata, P., Díaz, J.M., Garzón-Ferreira, J. y García, C.B. (2006). Fluvial fluxes into the Caribbean Sea and their impact on coastal ecosystems: The Magdalena River, Colombia. *Global and Planetary Change,* 50, 33-49.

Riahi, K., Gruebler, A. y Nakicenovic N. (2007). Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change,* 74(7): 887-935.

Rodríguez-Perea, A.J., Servera, J., y Martín-Prieto, J.A. (2000). *Alternatives a la dependència de les platges de les Balears de la regeneració artificial continuada", Informe Metadona.* Col.lecció Pedagogia Ambiental no. 10. Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca. 108 pp.

Roig i Munar, F.X. (2000): Analisis de la capacidad de carga de los espacios litorales de la isla de Menorca. En: *Turismo y transformaciones urbanas en el siglo XXI.* Fernández Gutierrez (Eds.)

Roig i Munar, F.X. (2001). El conocimiento de la posidonia oceánica y sus funciones ecológicas como herramienta de gestión litoral. la realización de encuestas a los usuarios de playas y calas de la isla de Menorca. *Papeles de Geografía*, 34, 271-280.

Roig i Munar, F.X., Martín Prieto, J.A., Rodríguez Perez, A., Pons, G.X., Gelabert, B., Mir Gual, M. (2012). Risk assessment of beach-dune system erosion: Management impacts on the Balearic Islands. *Journal of Coastal Research,* 28(6): 1488-1499.

Romero Díaz, A., Belmonte Serrato, F. (2002). Los paisajes geomorfológicos de la Región de Murcia como recurso turístico. *Cuadernos de Turismo*, 9, 103-122.

Rosete Vergés, F.A., Pérez Damián, J.L. y Bocco, G.Bgu (2009). Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la Península de Baja California, México. *Investigación Ambiental*, 1(1): 70-82.

Sánchez-Arcilla, A. (1994). Ingenieria de playas (I): conceptos de morfología costera. *Ingeniería del Agua,* 1(2): 98-114.

Sánchez-Arcilla, A., Jiménez, J.A., Gelonch, G., Nieto Romeral, J. (1997). El problema erosivo en el Delta del Ebro. *Revista de Obras Publicas*, 3.368, 23-32.

Sánchez-Arcilla, A., Jiménez, J., Valdemoro, H., Gracia, V., and Galofré, J. (2001). Sensitivity Analysis of Longshore Sediment Transport Rate Estimations in a Highly Eroding Coast, The Montroig Beach (Tarragona, Spain). Coastal Dynamics '01, 112-121.

Sanó, M., Jiménez, J.A., Medina, R., Stanica, A., Sanchez-Arcilla, A., Trumbic, I. (2011). The role of coastal setbacks in the context of coastal erosion and climate change. *Ocean & Coastal Management*, 54, 943-950.

Schrope M. (2001). Biologists urge US to build marine reserves. *Nature*, 409, 971.

Scoffin, T.P. (1970). The trampping and binding of subdital carbonate sediments by marine vegetation in Bimini Lagoon, Bahamas. *Journal of Sedimentary Petrology*, 40, 249-273.

Serra-Raventós J. (2007). *Mar Menor (Spain).* Eurosion Case Study.

Serrano, J.M. (2007). El turismo residencial en la región de Murcia frente a los nuevos retos. *Cuadernos de Turismo*, 19, 198-216.

Shallowitz, A.L. (1964). *Shoreline and sea boundaries.* VI. Department of Commerce, Coast and Geodetic Survey, U.S. Governemnt Printing Office, Washington D.C., 420 pp.

Short, A. y Hesp, P. (1982). Wave, beach and dune interactions in Southeastern Australia. *Marine Geology*, 48, 259-284.

Short, A. D. (ed.) (1999a). *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics.* Wiley, Chichester, 379 pp.

Short, A.D., (1999b). Beach Systems: Definition and Global Perspective, p. 1-20. In: A.D. Short. (ed). *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*, 1st edition, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.

Silvester, R. (1959). Engineering aspects of Coastal Sediment Movement.. Proc. ASCE. *Jorn Waterways and Harbours Div*. 85. WW3

Slattery, M.C. y Phillips, J.D. (2011). Control on sediment delivery in coastal plain rivers. *Journal of environmental Management*, 92, 284-289.

Small, C., y Nicholls, R.J. (2003). A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of Coastal Research*, 19(3): 584-599.

Smith, S.E. y Abdel-Kader, A. (1988). Coastal Erosion along the Egyptian Delta. *Journal of Coastal Research*, 4(2): 245-255.

Soto Bäuerle M.A., Arriagada J., Castro Correa C.P, Maerker M. y Rodolfi G. (2011). Relación entre el cambio de uso del suelo en la cuenca del Aconcagua y su litoral arenoso correlativo. Chile central. *Revista de Geografía Norte Grande*, 50, 187-202

Stafford D.B. Langfelder J. (1971). Air photo survey for coastal erosion. *Photogrametric Engineering*, 6. 556-575.

Stuiver M. y Reimer P.J. (1993). Extended C-14 data base and revised Calib 3.0 age calibration program. *Radiocarbon*, 35, 215-230.

Suárez, M.L. y Vidal-Abarca, M.R. (1993). Las ramblas mediterráneas. Paisajes. En: *Regeneración de la cubierta vegetal. Actas V Aula de Ecología; Las Ramblas Mediterráneas.* Actas VI Aula de Ecología. Cueto, M; A. Pallarés (Coord.). Instituto de Estudios Almerienses. Diputación de Almería. 117-123. España.

Suárez M. L., Vidal-Abarca, M. R., Navarro I., Gómez R., López Bermúdez, F. (2010). Los arroyos de Baja California Sur (México): caracterización ambiental y aplicación de un índice de estado de alteración (IAR). *Revista Cuaternario y geomorfología*, 24(1-2): 63-77.

Suh K. y Dalrymple R.A. (1987). Offshore breakwaters in laboratory and field. *Journal of Waterways, Coastal and Ocean Engineering*, 113(2): 105-121.

Thia-Eng, C. (1993). Essential Elements of Integrated Coastal Zone Management. *Ocean and Coastal Management*, 21, 81-108.

Titus J.G. (2009). *Coastal sensitivity to sea level rise: a focus in the Mid-Atlantic Region*. Washington: US Climate Change Program. (USCCP).

Tros-de-Ilarduya Fernández , M. (2008). El reto de la gestión integrada de las zonas costeras (GIZC) en la Unión Europea. *Boletín de la A.G.E.*, 47, 143-156.

UNEP/MAP/BP/RAC. (2015). State of the Environment and Development in the Mediterranean. UNEP/MAP-Plan Bleu, Athens.

Valdemoro García, H. (2005). La influencia de la morfodinámica en los usos y recursos costeros. Tesis Doctoral. Universitat Politecnica de Catalunya.

Vargas Yáñez, M., García Martínez, M.C., Moya Ruiz, F., Tel, E., Parrilla, G., Plaza, F., Lavín, A. y Garcia M.J. (2011). *Cambio Climático en el Mediterráneo Español.* Segunda edición actualizada. Instituto Español de Oceanografía.

Varghesea, K.L., Ganeshb, S., Manic, M., Anilkumar, P.P., Murthy, R. y Subramaniam, B.R. (2008). Identifying critical variables for coastal

profiling in ICZM planning - A systems approach. *Ocean & Coastal Management*, 51, 73-94.

Vidal, C., Losada, M.A., Medina, R. y Losada, L. (1995). Modelos morfodinámicos de las playas*. Ingeniería del Agua*, 2, 55-74.

Viles, H. and Spencer, T. (1995). *Coastal problems: geomorphology, ecology and society at the coast.* London: Edward Arnold

Walling, D.E. (2006). Human impact on land ocean sediment by the world´s rivers. *Geomorphology*, 79 (3-4): 192-216.

Wamsley, T., Kraus, N.C. y Hanson, H. (2003). Shoreline response to breakwaters with time-dependent wave-transmission. In: *Proceedings of the International Conference on Coastal Sediments* 2003 (St. Petersburg, Florida, ASCE), pp. 593–605.

Woodroffe, C.D. (2002). Coasts: Form, Process and Evolution. Cambridge University Press, Cambridge, 623 pp.

Wright, L.D., y Thom, B.G. 1977. Coastal depositional landforms, a morphodynamic approach. *Progress in Physical Geography*, 1, 412-459.

Wright, L.D., J., B.G Thom, B.G., Bradshaw, M.P. y Cowell, P. (1979). Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southeastern Australia. *Marine Geology*, 32(1-2): 105-140.

Wright, L.D. and Short, A.D., (1984). Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beaches: a Synthesis. *Marine Geology*, 56, 93-118.

Wright, L.D., Short, A.D. y Green, M.O. (1985). Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: An empirical predictive model. *Marine Geology*, 62, 339-364.

Wright, L.D., (1995). *Morphodynamics of Inner Continental Shelves*, 1st. edition, CRC Press, Inc., Boca Raton, 241 pp.

Índice de figuras

		Página
2 1	Caracterización espacio-temporal de las escalas de cambio en la geomorfología costera. a partir de Cowell y Thorn (1994).	28
2 2	Zonificación del litoral. Coastal Engineering Research Center (1994).	31
2 3	Rotura de tipo *spillling,* sobre playas de escasa pendiente. La espuma (*foam)desciende* por el frente de ola (Komar, 1998).	36
2 4	Rotura de tipo *plunging* en playa con pendiente pronunciada (Komar, 1998).	37
2 5	Rotura de tipo *surging* en playa de pendiente muy pronunciada (Komar, 1998)	37
2 6	Dunas en la Península de Hel (Polonia). .	40
2 7	Evolución del *continuum* dunar. (Araya Vergara, 1987)	41
2 8	Perfil de invierno de la Playa de Cabezo de la Pelea.	42
2 9	Tipos de, olas y niveles de energía. Fuente: Encyclopædia Británica.	45
2 10	Altura de ola máxima durante el BIG-95 (Iglesias et al., 2012).	47
2 11	Distribución de las carreras de marea lunares. Fuente: NASA TOPEX/Posidon.	48
2 12	Ejemplo de metodología para la planificación de la GIZC a partir de Ramesh y Vel (2011).	62