

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

MÁSTER UNIVERSITARIO EN EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO
AMBIENTAL DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

Estudio morfodinámico de una playa lineal. Aplicación al caso de Gandía.

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Autor/a:
Sabela Martínez Ramos

Tutor/a:
Víctor José Sanchez Morcillo

GANDIA, 2013

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
Capítulo 1. Características morfodinámicas de las playas.....	3
1.1 Características de la zona litoral.....	3
1.2 El perfil de las playas.....	6
1.2.1 Definiciones	6
1.2.2 Variación del perfil	8
1.3 Forma en planta de las playas.....	8
1.3.1 Clasificación formas en planta.	8
1.3.2 Definiciones de estructuras sedimentarias en el litoral	8
1.4 Hidrodinámica	9
1.4.1 Definiciones más importantes	9
1.4.2 Rotura del oleaje	11
1.4.3 Tipos de rotura.....	12
1.5 Clasificación de los diferentes tipos de playas	14
1.6 Antecedentes de diferentes estudios morfodinámicos en playas	15
Capítulo 2. Sistema de Modelado Costero.....	17
2.1 Introducción al SMC.....	17
2.2. Módulos del SMC.....	18
2.2.1 Módulo Tutor de Ingeniería de costas (TIC)	18
2.2.2 Módulo de “Pre-proceso”	19
2.2.3 Módulo de “Análisis a corto plazo de playas” (Acordes).....	20
2.2.4 Módulo de análisis a largo plazo de playas (Arpa).....	22
Capítulo 3. Área de estudio	23
3.1 Localización.....	23
3.2 Condiciones hidrodinámicas en la costa de Gandía	23
Capítulo 4. Discusión de los resultados.....	25
4.1 Módulos preproceso.....	25
4.2 TIC.....	27
4.3 Módulo MOPLA	29
4.4 MODULO PETRA	38
Capítulo 5. Conclusiones.....	43
Bibliografía	44

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi tutor, Víctor Sánchez Morcillo, todo el entusiasmo puesto en la realización de este trabajo.

A mis amigas del Máster: Paula V, Sara L. y Maria S, por estar ahí durante todo el año.

A mi familia.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es caracterizar la evolución espacio-temporal de una playa lineal, empleando para ello el software de simulación denominado Sistema de Modelado Costero (SMC) desarrollado por la Universidad de Cantabria (UC) y el Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria).

Como ejemplo de este tipo de playa se considerará el caso de la playa Norte de Gandía. Se pretende determinar, dentro de las limitaciones impuestas por los parámetros conocidos, la evolución previsible de la línea de costa, la influencia del oleaje, y las corrientes costeras, así como los tipos de estructuras sedimentarias que se forman.

Este trabajo pretende caracterizar el tipo de playa que se está analizando (si es reflectiva o disipativa) así como determinar las estructuras sedimentarias que se generan en la playa y establecer su relación con las condiciones existentes del clima marítimo. Para ello se estudiará la reacción de la playa a diferentes eventos meteorológicos, desde condiciones de calma a casos excepcionales de temporal, y comparar para ver como la dinámica marina influye en la morfología costera.

PALABRAS CLAVE: perfil morfodinámico, Sistema de Modelado Costero, parámetro de Dean.

ABSTRACT

The purpose of this project is to characterize the spatiotemporal evolution of a linear beach by employing simulation software called Coastal Modelling System (CMS), developed by the University of Cantabria and the Institute of Environmental Hydraulics of Cantabria.

As an example of this type of beach the case of the beach Norte de Gandía is considered. The goal is to predict—within the constraints imposed by the known parameters—the evolution of the coastline, the influence of the surf, the coastal currents, and the types of sedimentary structures that form as a result.

This work aims to characterize the type of beach that is being analyzed (if it is reflective or dissipative) and to determine the sedimentary structures that are generated on the beach and establish how they relate to the existing conditions of the maritime climate. In order to do this, we will study the reaction of the beach to different meteorological events from calm to extreme weather conditions and compare to gain insight about how maritime dynamics influence coastal morphology.

KEYWORDS: Profile morphodynamic Coastal Modelling System, Dean Parameter.

Capítulo 1. Características morfodinámicas de las playas

Este capítulo se centra en realiza una breve introducción de lo que se considera zona litoral, las diferentes clasificaciones para describir los subambientes de una playa, forma de perfil y planta de una playa con descripción de las morfologías más habituales, y descripción de los parámetros hidrodinámicos más relevantes que se van a utilizar a lo largo del trabajo.

1.1 Características de la zona litoral

Las zonas costeras son, a día de hoy, de gran importancia, ya que albergan a gran cantidad población, y de ellas depende un gran porcentaje de sus actividades económicas. En el caso de la costa mediterránea española, destaca el turismo de playa como el sector más importante.

De ahí la importancia del estudio y gestión de las zonas litorales, en especial las playas por ser un espacio de gran interés turístico y que sufre fuerte antropización que provoca en algunos casos la pérdida de la calidad de estos ambientes costeros.

Definimos la zona litoral como transición del continente al medio marino y según la clasificación de Maldonado y Zamarreño [1], se diferencian tres subambientes (figura 1):

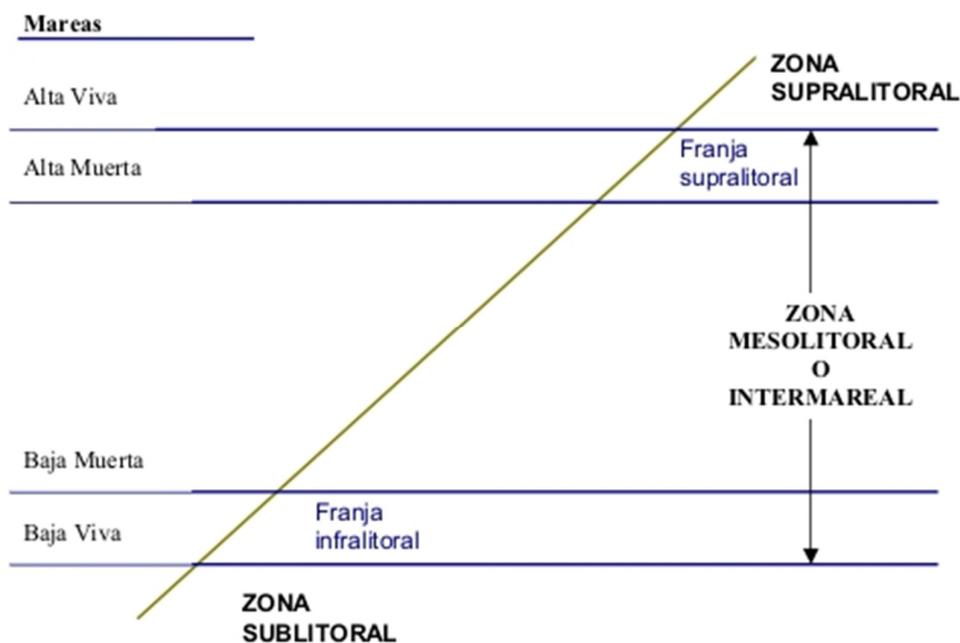


Figura 1 Subambientes de la zona litoral. [2]

- Zona supralitoral: se encuentra afectada por la influencia marina en caso de grandes temporales. El límite superior está caracterizado por un cambio brusco de pendiente o variación en la composición o disposición del material. Sus estructuras sedimentarias más características son dunas y bermas.
- Zona interlitoral: corresponde con los límites superiores e inferiores del oleaje en condiciones de bonanza. En este caso puede presentar escalón, topografías rítmicas o barras de arena según el tipo de playa.
- Zona infralitoral: abarca desde el límite inferior de la zona interlitoral hasta el límite inferior de acción del oleaje durante los temporales. La estructura sedimentaria más relevante es la barra de arena.

Existen más clasificaciones de las zonas litorales, otra clasificación importante (figura 2) está basada en las características del oleaje incidente [1]:

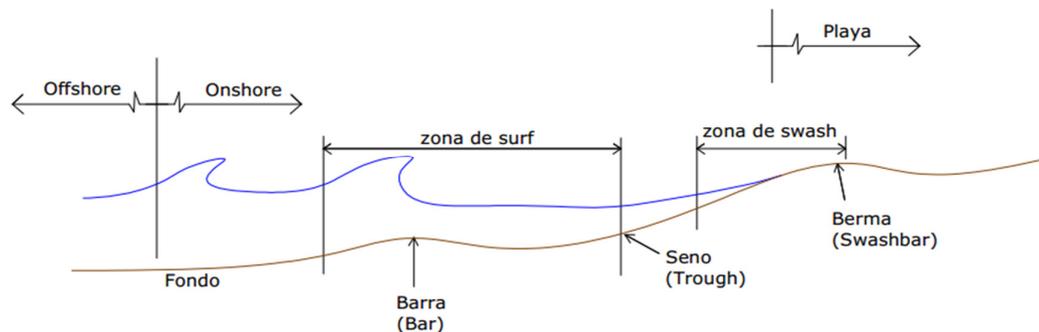


Figura 2 Descripción zona litoral. [3]

- Zona de plataforma: donde el oleaje no está afectado por la batimetría.
- Zona de somerización y refracción: el fondo marino afecta al oleaje incidente, lo que ocasiona un aumento de la altura de ola y un cambio de orientación debido a la refracción en función de la batimetría en la zona.
- Zona de rotura: es la zona donde la ola alcanza su altura máxima lo que provoca su rotura, debido a la refracción que sufre.
- Zona de Surf: La ola rota avanza hacia la costa formando un resalte ("bore") situado en el frente de ola.
- Zona de swash: La ola rota llega a la línea de costa ascendiendo por la superficie de la zona interlitoral (run-up) y posteriormente desciende por efecto de la gravedad (run-down).

La playa por tanto se puede definir como la acumulación de sedimento no consolidado (arena, grava o canto rodado) que se sitúa entre la línea de máximo alcance del oleaje en temporal y pleamar viva y una profundidad que corresponde a la zona donde deja de producirse un movimiento activo de sedimentos debido a la acción del oleaje.

El estudio de la dinámica de la zona de rompientes de las playas se encuentra actualmente en desarrollo. La modelización del flujo y del transporte de sedimentos en la zona de rompientes, sólo se puede realizar imponiendo numerosas simplificaciones. Como resultado, aún en el supuesto de que las acciones sean conocidas, actualmente no existe ningún modelo de evolución tridimensional de playas que sea capaz de predecir las variaciones a corto y medio plazo en el tiempo y de pequeña y media escala en el espacio. Actualmente, los modelos numéricos de evolución de playa, modelos de una línea, de varias líneas o modelos bidimensionales integrados en vertical, son aplicables a análisis a largo plazo y gran escala, y sólo fiables en el caso de que se alcance algún tipo de equilibrio en el que los caudales de transporte de sedimento sean pequeños.

Por otro lado, es necesario resolver la naturaleza aleatoria de las acciones que existen en la franja litoral. Cualquier modelo de evolución de playas tiene que tener en cuenta esta aleatoriedad, mediante el adecuado tratamiento estadístico de las variables de entrada y de los resultados.

Para el estudio de los análisis morfodinámicos de las playas se asume siempre que se pueda, por simplicidad, que las playas se pueden definir mediante una línea en planta y varios perfiles tipo, aplicables a secciones. [4]

En una playa rectilínea, no afectada por contornos terrestres, islas o bajos rocosos, las irregularidades a media escala, del orden de centenares de metros, y de pequeña escala, del orden de decenas de metros, están asociadas a las migraciones de las barras en los distintos estados de la playa, en continuo equilibrio entre las fuerzas constructoras y erosivas del oleaje.

Las barras emigran hacia tierra o hacia el mar dependiendo de las condiciones de oleaje (figura 3). Estas barras migratorias actúan, no sólo como una reserva temporal de arena para las playas sino como una barrera flexible contra las olas y las corrientes por ellas inducidas. La interacción entre las barras y el campo de oleaje/ corrientes da lugar a cambios característicos en la topografía de la playa y de las propias barras [5].

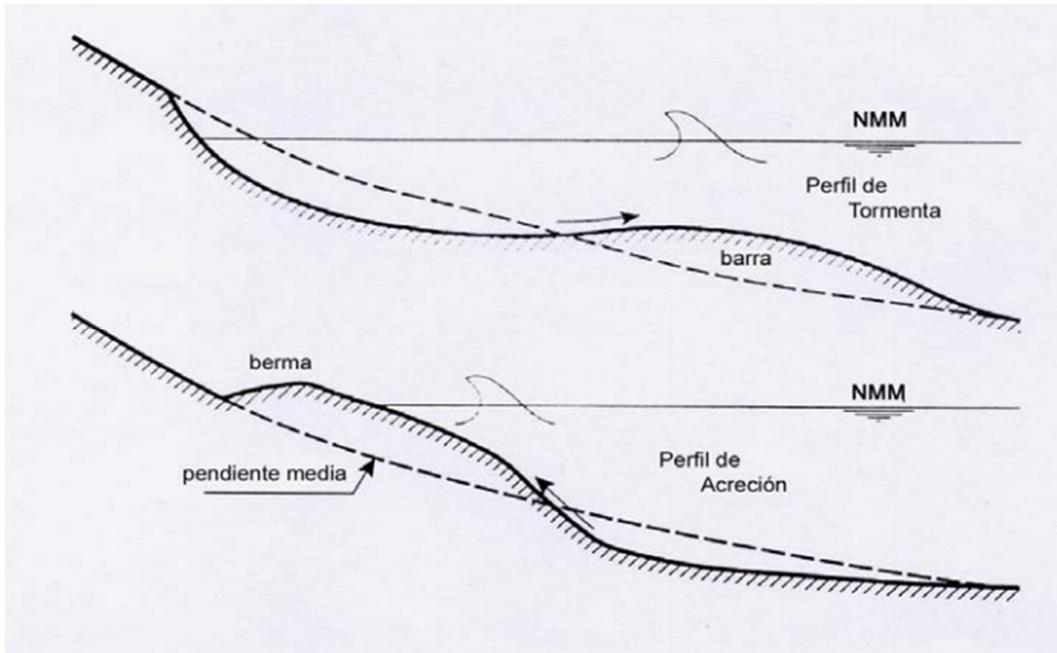


Figura 3. Perfil de tormenta y perfil de acreción. [5]

1.2 El perfil de las playas

1.2.1 Definiciones

El perfil de la playa es la variación de la profundidad del agua, h , con la distancia a la línea de costa, x , en dirección normal a la misma. Se asume que localmente la playa presenta batimetría recta y paralela por lo que la línea de costa puede ser representada por una curva de nivel cualquiera de la playa. Es habitual tomar el nivel medio del mar para la definición de la línea de costa [4].

En la figura 4 se representa las diferentes zonas en las que se puede dividir el perfil de playa, siendo sus definiciones las siguientes:

Playa seca: zona comprendida entre el límite de tierra y el inicio del frente de playa.

Berma: zona cuasi-horizontal de la playa seca formada por la deposición de sedimentos debida a la acción del oleaje. Presenta un cambio brusco de pendiente hacia el mar, denominado **Borde de la berma**. Si hay diferencias entre el oleaje en invierno y verano, se pueden producir dos tipos de bermas, **berma de Verano** y **berma de Invierno**, estando la berma de Verano en un nivel horizontal inferior debido a que el ascenso del oleaje es inferior en época de bonanza. Marcando las dos bermas se puede encontrar una zona con mayor pendiente que corresponde a frentes de playa en invierno.

Escarpe de playa: escalón vertical en la playa seca formado por la erosión de la berma producido por un temporal.

Zona Intermareal: abarca desde la parte exterior de la berma y el límite de descenso del oleaje en bajamar.

Frente de playa: zona expuesta a la acción del flujo ascendente y descendente del oleaje.

Escalón de playa: zona de mayor pendiente que aparece en ocasiones en el límite inferior del frente de playa. Suele contener sedimentos más gruesos que en el resto del perfil.

Terraza de bajamar: parte de la zona Intermareal situada entre el límite inferior del frente de playa y el límite de descenso del oleaje en bajamar.

Canaleta de Bajamar: depresión de la terraza de bajamar que puede aparecer inmediatamente por debajo del frente de playa. Puede estar asociado al seno de una barra creciente muy próxima al frente de playa.

Barra longitudinal: acumulación de arena cuasi paralela a la línea de costa. En una playa se pueden encontrar varias barras en el perfil, y hay casos que en bajamar la barra inferior pueda quedar expuesta.

Cresta de la barra: zona de mayor elevación de la barra longitudinal.

Seno de la barra: depresión en el perfil de playa asociado con la barra. Se produce inmediatamente hacia el interior de la barra.

Playa sumergida: área comprendida entre el límite de descenso del oleaje en bajamar y el límite exterior del perfil.

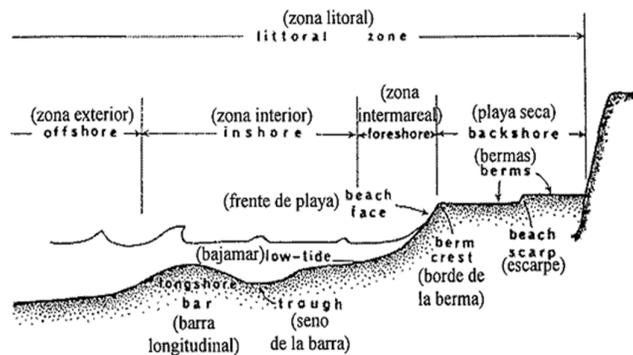


Figura 4. Zonación y elementos del perfil de playa [4]

1.2.2 Variación del perfil.

El perfil de la playa varía según se modifique el transporte transversal de sedimentos como resultado de la dinámica marina especialmente debido al oleaje. Los cambios morfológicos más notables son los asociados a los desplazamientos de las barras y al avance o retroceso de la berma. Ello genera toda una tipología de formas de playa las cuales se explicarán más adelante.

1.3 Forma en planta de las playas

1.3.1 Clasificación formas en planta.

La descripción de la forma en planta puede realizarse en función de las escalas longitudinales y temporales estableciéndose tres grandes grupos [4]:

Formas de pequeña escala: producidas por la dinámica en escalas de tiempo de orden de segundos o minutos y escalas de espacio en el orden de decímetros a metros, recibiendo el nombre genérico de **formas de lecho**. Dentro de las formas de lecho se encuentran los ripples que se producen por el movimiento oscilatorio del oleaje o corrientes de la zona litoral con escala de longitud de dm y tiempo de segundos.

Formas de media escala: presentan longitud de decenas o centenas de metros, con un tiempo de evolución que puede variar entre horas y 1 año. Las formas en planta de media escala son las que aparecen en los estados de playa intermedias entre el disipativo y el reflejante. Son el resultado de la interacción de la hidrodinámica y el sedimento a media escala. Entre las formas en planta de media escala se pueden nombrar los beach cups, barra rítmica o canales de retorno entre otros.

Formas de gran escala: su escala es de centenares de metros a km, y escala de tiempo de orden de estaciones o años, resultado de la interacción del oleaje con las condiciones de contorno, como la batimetría, arrecifes, cabos, canales de puertos u obras artificiales. Dentro de este grupo se encuentran los deltas, tómbolos o hemitómbolos entre otros.

1.3.2 Definiciones de estructuras sedimentarias en el litoral

Para las formas en planta, las estructuras más usuales que se pueden encontrar en las playas son las siguientes [4]:

Barras crecientes: Barra asimétrica, con el talud del lado de tierra mucho más pendiente que el lado del mar, lo que indica un desplazamiento de la barra hacia tierra. Estas barras suelen estar cortadas longitudinalmente por canales de retorno.
Formas de media escala.

Canales de retorno: Zonas profundas que cortan transversalmente las barras longitudinales y crecientes. Formas de media escala.

Barras transversales: Barra que se extiende en dirección perpendicular a la línea de costa, normalmente su lado a tierra queda unido al frente de playa. Entre las barras transversales existen siempre canales de retorno, importante para caracterizarlo. Forma de media escala.

Beach Cups: Formas rítmicas de entrantes y salientes que se forman en el frente de playa, con longitud de onda de decena de metros. Forma de media escala.

Megacusps: Formas rítmicas de entrantes y salientes que se forman en el frente de playa, están asociadas a secuencias longitudinales rítmicas de barras crecientes o transversales. Los entrantes en el frente de playa suelen estar enfrentados con los canales de retorno, mientras que los salientes coinciden con la zona de avance hacia tierra de la berma. La longitud de onda es de centenas de metros. Forma de media escala.

Ripples: Formas rítmicas del fondo de las playas de dimensiones de decímetros. Forma de pequeña escala.

Dunas y antidunas: Formas de lecho de las playas que aparecen en ocasiones en la zona de rompientes con escala horizontal de orden de metros y vertical de decímetros. Forma de pequeña escala

Tómbolo: Saliente de arena producido por la presencia de un obstáculo como puede ser una isla o un arrecife que provoca un cambio en la dinámica del oleaje. El saliente de arena se une a la estructura formando un espigón natural de arena entre la costa y la estructura o isla. Forma de gran escala.

Isla barrera: Cuando un cordón litoral queda separada por dos salidas al mar de la marisma interior. Forma a gran escala.

1.4 Hidrodinámica

1.4.1 Definiciones más importantes

- **Oleaje tipo SEA**, o mar de viento, es el oleaje que se forma y desarrolla bajo la acción directa y continua del viento, generándose ondas elementales de altura, periodo, fase y dirección de propagación aleatorias e independientes, cuya interferencia da lugar a un aspecto caótico de la superficie líquida. El oleaje tipo sea presenta generalmente ondas muy peraltadas con periodos y longitudes de onda pequeños, aunque con una amplia gama de frecuencias, por lo que se trata de un oleaje muy irregular.

- **Oleaje tipo swell** o mar de fondo, que es el oleaje que ya ha abandonado el área de generación y se propaga a través de superficies marítimas sin estar sometido a la acción significativa del viento, y por tanto se atenúa progresivamente. El oleaje tipo swell presenta olas menos peraltadas que el oleaje tipo sea, con periodos y longitudes grandes en una gama estrecha de frecuencias, dando lugar en general a un aspecto ordenado y regular de la superficie líquida.

Las olas se caracterizan por su longitud de onda, **L**, altura de onda, **H**, y el periodo, **T** (figura 5). La longitud de onda es la distancia entre dos picos consecutivos; la altura de onda es la diferencia en altura entre un pico y un valle; y el periodo es el tiempo en segundos que tarda un valle o un pico de la ola en recorrer su longitud de onda. La frecuencia f de la ola se define como el número de oscilaciones pico a pico (o valle a valle) de la superficie y es la inversa de T [6].

Altura significativa (H_s): es uno de los parámetros más representativos del oleaje. La altura significativa representa la altura de las olas que un observador experimentado apreciaría a simple vista en el punto de medida (no desde la costa), que equivale aproximadamente la altura media del tercio de olas más altas.

Periodo medio (T_m): con este nombre se conoce el periodo medio de todas las ondas que constituyen el oleaje y se suele denotar con las siglas T_m .

Periodo de pico (T_p): el periodo del grupo de ondas con más energía se denomina periodo de pico y se denota T_p . Cuanto más regular es el oleaje más se parece T_p a T_m , aunque normalmente T_p es mayor que T_m .

Dirección del pico (D_{imp}): representa la dirección de las olas de mayor energía

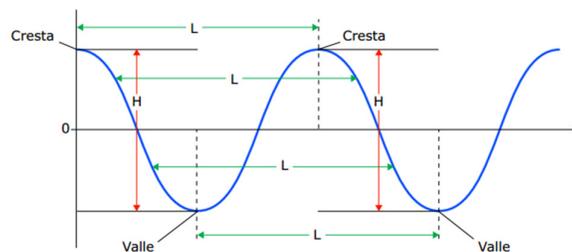


Figura 5. Características de una onda senoidal pura. [7],

Según las olas se van aproximando a la playa, su velocidad de avance y su longitud de onda disminuyen, y su altura aumenta hasta que la velocidad de las partículas del fluido excede la velocidad de avance de la ola (velocidad de fase), y la ola se hace inestable y rompe (figura 6). Esta situación se produce cuando la relación entre la altura de onda H y la profundidad del agua h es aproximadamente igual a 0,78.

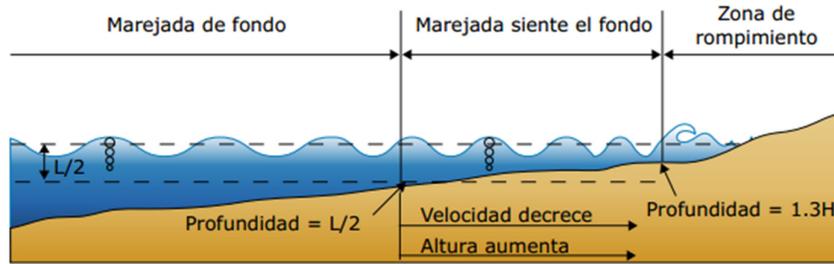


Figura 6. Esquema conceptual del rompimiento de las olas en la costa [7]

La llegada de los diferentes grupos de olas a la costa origina diferentes procesos hidrodinámicos, se definen los más importantes [2]:

Set-up: ascenso del nivel medio que se produce en la zona de rompientes, con un máximo en la intersección del nivel medio en movimiento con el perfil de playa.

Set-down: descenso del nivel medio que se produce por los procesos del asomeramiento simple antes de la rotura de las olas, con un mínimo en la zona de rotura.

Corriente longitudinal: Corriente que se produce principalmente en la zona interior, paralela a la línea de costa, generalmente generada por el proceso de rotura del oleaje.

Corriente de retorno: corriente fuerte que fluye hacia el mar desde la costa, a través de la zona interior.

Corriente de resaca: Corriente en dirección al mar que se produce en la zona de rompientes, en las proximidades del fondo. Es una corriente gravitatoria de compensación por el efecto de bombeo hacia tierra y sobreelevación (set-up) que provoca la ola rota.

1.4.2 Rotura del oleaje

El oleaje al acercarse a la costa se ve afectado por el fondo, lo que provoca un aumento del peralte y la disminución de la celeridad de la onda. Cuando el peralte sobrepasa un determinado valor, la onda se hace inestable, y deja de mantener la forma. El frente de onda presenta mayor pendiente que la trasera de la onda y las velocidades en la parte superior de la cresta se aproximan a la celeridad de la onda. Cuando la velocidad de las partículas en la parte superior de la cresta supera la celeridad de la onda, las partículas escapan de la cresta, lanzándose hacia delante, produciéndose la rotura de la onda.

Este chorro de agua lanzado penetra de nuevo en la base de la onda, atrapando aire en el túnel y provocando una gran turbulencia. Al cabo de una determinada distancia, denominada zona de rotura, el proceso de rotura se normaliza y la onda toma la forma de un resalto hidráulico móvil o bore, con un frente cuasi-vertical turbulento, rodillo o roller, y una parte trasera cuasi horizontal dominada por la turbulencia dejada por el paso del rodillo. Esta zona de rotura normalizada se denomina zona de rompientes. Si la profundidad continúa disminuyendo hacia la costa, esta zona de rotura normalizada se mantiene hasta la costa. En este caso, la altura de ola disminuye gradualmente con la profundidad. Si la rotura se ha producido sobre una barra y posteriormente la profundidad aumenta de nuevo, el proceso de rotura puede detenerse, recomponiéndose el movimiento oscilatorio. En ese caso se producirá una segunda rotura al disminuir de nuevo la profundidad en la propagación hacia la costa.

Finalmente, no hay que olvidar que el oleaje real está compuesto por ondas de diferentes alturas y períodos. El punto de rotura en este caso oscilará transversalmente, dependiendo de las características de las diferentes olas. Las olas pequeñas pueden, eventualmente, cruzar las barras sin romper, mientras que las olas mayores romperán sobre las barras exteriores.

Durante el proceso de asomeramiento, rotura y evolución de la ola rota en la zona de rompientes, la conservación de la cantidad de movimiento induce variaciones del nivel medio del mar. Antes de la rotura, los procesos de asomeramiento provocan una depresión creciente del nivel medio set-down, que tiene un mínimo en el punto de rotura. En la zona de rompientes es al contrario, ahora asciende el nivel medio set-up que alcanza un máximo en la línea de costa. [2]

En el caso de que el oleaje incida oblicuamente a la batimetría, las fuerzas del flujo oscilatorio que actúan sobre el fluido en la zona de rompientes, pueden descomponerse en una componente transversal, que provocará un set-up y en una componente longitudinal que generará una corriente paralela a la costa. Hay que tener en cuenta que no sólo la incidencia oblicua del oleaje en rotura crea corrientes longitudinales, se ven afectadas también por las condiciones de contorno.

1.4.3 Tipos de rotura.

El número de Iribarren I_r (1) o parámetro de rompientes está universalmente aceptado como controlador del tipo de rotura. El nº de Iribarren viene dado por:

$$I_r = \frac{\tan \beta}{\sqrt{\frac{Hb}{L_0}}} \quad (1)$$

Siendo $\tan \beta$ la pendiente de la playa, Hb la altura de ola en la zona de rotura y L_0 la longitud de onda en profundidades donde la ola no se ve afectada por el fondo. Según el valor del número de Iribarren se establecen cuatro tipos de rotura de olas. Figura 7.

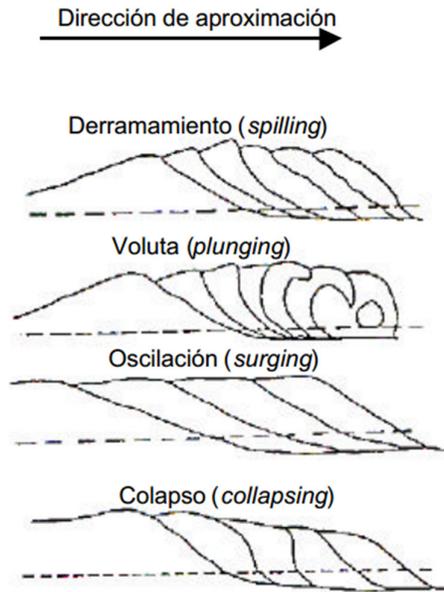


Figura 7. Tipos de rotura de olas [8].

- **Oscilación (Surging):** para números de Iribarren superiores a 3, (el período de las olas es grande y la pendiente de la playa elevada), no se produce rotura. Las olas ascienden y descienden por el talud, con un mínimo de aire atrapado, asociado al avance de la lámina de agua y al límite del descenso, donde se suele formar un resalto. El período de ascenso - descenso es menor que el período del oleaje y la reflexión es muy elevada.
- **Colapso (Collapsing):** a medida que el nº de Iribarren disminuye, el frente de la onda se aproxima a la vertical. Cuando I_r se aproxima a 3, la ola comienza a desmoronarse por su base, colapsando. El período de ascenso - descenso coincide con el período del oleaje y el flujo sobre el talud alcanza valores máximos. Como el máximo descenso coincide con la llegada de la siguiente onda, el resalto turbulento que se produce en la base de la siguiente ola provoca su desmoronamiento, con una gran turbulencia en la base. La reflexión disminuye algo con respecto a la oscilación, debido a la pérdida de energía por turbulencia.
- **Voluta (Plunging):** este tipo de rotura, muy frecuente en playas, se produce en un rango de números de Iribarren, comprendido entre 2.5 y 0.4. La ola que rompe lanza su cresta hacia delante, rompiendo claramente en la base de la ola y encerrando una considerable cantidad de aire. El chorro que alcanza el agua penetra violentamente la superficie, levantando otra onda por delante de la original e inyectando turbulencia hasta el fondo. El rodillo generado por el volteo introduce una fuerte rotación en el flujo y el aire atrapado escapa a la superficie de forma explosiva. El conjunto de estos fenómenos disipa una considerable cantidad de energía en los primeros momentos de la rotura. Posteriormente, la ola continua rota formando un bore, hasta el ascenso - descenso por el talud de playa, que es mucho menor que en los caso de colapso u oscilación. El nº de ondas en la zona de rompientes oscila desde 1 en las cercanías del

colapso hasta 3 o 4 en las cercanías del descrestamiento. El coeficiente de reflexión es menor que en el caso de colapso.

- **Descrestamiento (Spilling):** Si I_r continua disminuyendo por debajo de 0.4, el chorro de la voluta se hace progresivamente más débil, por lo que comienza a afectar sólo a la parte superior de la onda, permaneciendo el resto prácticamente inalterado. La disipación de energía es muy gradual, pero dado la gran longitud del área de rompientes (más de 4 ondas simultáneamente en la zona de rompientes), este tipo de rotura transforma eficientemente la energía del movimiento oscilatorio en movimientos medios (ascenso del nivel medio, corrientes y ondas largas). El ascenso - descenso por el talud de playa es mínimo, pero las variaciones transversales del nivel medio son máximas, pues una buena parte de la cantidad de movimiento asociada al movimiento oscilatorio se emplea en modificar el nivel medio (y en el caso de incidencia oblicua, a crear las corrientes longitudinales). El coeficiente de reflexión es mínimo [2].

1.5 Clasificación de los diferentes tipos de playas

Las playas del Mediterráneo (carrera de marea viva media inferior a 2 m), son playas micromareales. Wright and Short (1984) definieron una secuencia de 6 estados morfodinámicos de playa, dependientes de las condiciones de oleaje y del tipo de sedimento. Para ello utilizan del parámetro de Dean (2) que viene definido como la altura de ola (H) entre la velocidad de decantación de sedimento (w) y el periodo de la ola (T).

$$\Omega = \frac{H}{w.T} \quad (2)$$

Los estados de la secuencia, enumerados en el sentido de la energía del oleaje decreciente, son los siguientes:

- 1- Disipativo. (D).
- 2- Barra Longitudinal y Seno.
- 3- Barra y Playa Rítmicas.
- 4- Barra transversal y corriente de retorno.
- 5- Barra - Canaleta o Terraza de Bajamar.
- 6- Reflejante (R).

Según esta clasificación, las principales características de los tipos de playa serían los reflejados en la tabla 1. [8]

Tipo de playa	Características
Playas disipativas $\Omega > 6$	<ul style="list-style-type: none"> - Arena fina - Gran altura de ola - Poca pendiente - Baja tasa de cambio - Barras
Playas intermedias $1 < \Omega < 6$	<ul style="list-style-type: none"> - Arena fina o media - Altura de ola media - Barras más acentuadas/ Barras anexadas a la playa
Playas reflejantes $1 > \Omega$	<ul style="list-style-type: none"> - Arena media o gruesa - Altura de ola pequeña - Mucha pendiente - Baja tasa de cambio - Bermas, cúspides, escalón

Tabla 1. Tipos de playas y sus características principales.

1.6 Antecedentes de diferentes estudios morfodinámicos en playas

En las últimas décadas, el aumento de la presión urbanística en las zonas costeras del litoral español ha provocado la ocupación del dominio natural de esta franja, sin tener en cuenta la vulnerabilidad de estas zonas, especialmente en casos de fenómenos adversos como tormentas.

De ahí la importancia del estudio de la variación morfodinámica que sufre las playas a lo largo del año con el uso de las predicciones numéricas. Por tanto, conocer con antelación cuál será la respuesta de un tramo de costa frente a unas determinadas condiciones hidrodinámicas es muy importante para escoger de antemano la mejor estrategia de defensa para minimizar los impactos.

Existen estudios basados en el uso de programas de modelado costero como el XBEACH que es un modelo bidimensional para la propagación de ondas, ondas de largo y media de flujo, transporte de sedimentos y cambios morfológicos, desarrollado específicamente para playas abiertas, playas con dunas y playas barrera en condiciones de alta energía. Cabe destacar en gestión costera los siguientes proyectos:

- El proyecto MICORE [9] pretende ofrecer predicciones “on line” (www.micore.eu) de los peligros físicos relacionados con las tormentas (hidrodinámica y morfodinámica). El proyecto se centró específicamente en el desarrollo de sistemas de alerta e información para apoyar la respuesta de emergencia a corto plazo en caso de un evento tormentoso. Se realiza a nivel europeo.

- El proyecto iCoast (integrated COastal Alert System) [10] es la utilización del sistema de predicción morfodinámico PRE-MOS (Pre-Morphodynamic Operational System) desarrollado por el CIIRC. Se plantea como una herramienta que incluye los factores de la morfología litoral (parámetros del sistema, agentes climáticos y antrópicos, acciones sobre el sistema), y simula la evolución temporal del mismo en función de las posibles variaciones de dichos factores. Se realiza a nivel autonómico.

Capítulo 2. Sistema de Modelado Costero.

En este capítulo se describirá los diferentes módulos del software utilizado para la realización de las diferentes simulaciones numéricas del proyecto.

2.1 Introducción al SMC.

El Sistema de Modelado Costero (SMC) es una interfaz gráfica, la cual proporciona una herramienta numérica en el campo de la ingeniería de costas. El SMC agrupa una serie de modelos numéricos.

El SMC se ha estructurado en cinco módulos fundamentales (figura 8): “Pre-proceso”, “Corto plazo”, “Medio y largo plazo”, “Modelado del terreno” y “Tutor”. El módulo de “Pre-proceso” fundamentalmente permite caracterizar y procesar información de entrada para los diferentes modelos numéricos. El módulo de “Análisis a corto plazo de playa” (Acordes) recoge las herramientas numéricas que permiten analizar la morfodinámica de un sistema costero, en una escala espacio/temporal de corto plazo. El módulo de “Análisis a largo plazo de playas” (Arpa) aparecen las herramientas morfodinámicas que permiten modelar el sistema en una escala temporal espacial de medio y largo plazo. El módulo de “Modelado del terreno”, permite modificar los contornos del fondo (batimetría) y laterales (acantilados, diques naturales y artificiales, etc.), lo cual es fundamental para estudiar diferente escenarios dentro de un proyecto. Finalmente, se encuentra el “Tutor de ingeniería de costas” (Tic), el cual se ejecuta dentro del SMC como apoyo teórico, conceptual y de información básica para los diferentes modelos numéricos del sistema [11].

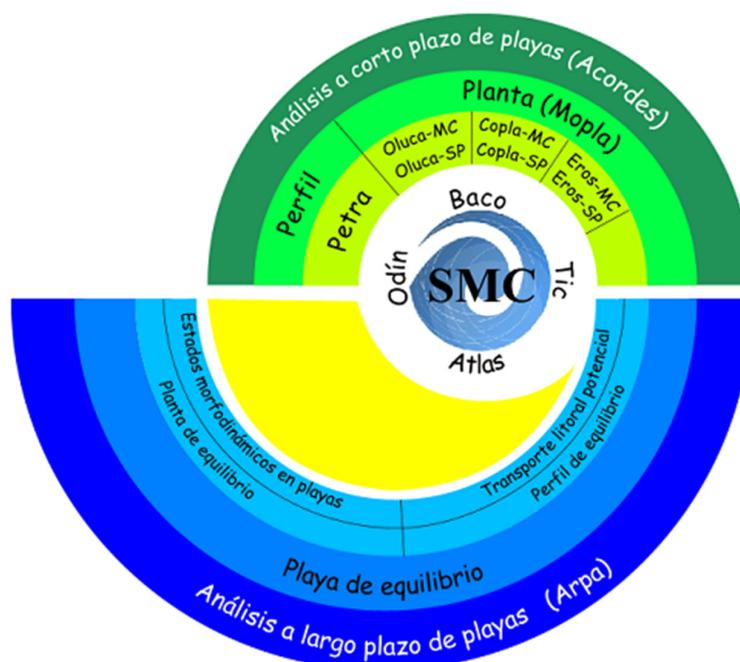


Figura 8. Representación esquemática del SMC [11].

2.2. Módulos del SMC

2.2.1 Módulo Tutor de Ingeniería de costas (TIC)

El objetivo básico del Tic es reunir aquellas fórmulas y procedimientos de cálculo simples relativos a la ingeniería de costas que más utilidad tienen dentro de la actividad profesional. Se persigue que la organización sistemática y uso intuitivo que proporciona el programa aumente o afiance el nivel teórico de los técnicos. De esta manera se verá asimismo incrementada la fiabilidad de sus decisiones, la precisión de los cálculos y los costes derivados de su posterior puesta en práctica. Se pretende proporcionar una herramienta útil de tanteo y prediseño donde estén contenidas las formulaciones más comunes para evaluar cada uno de los aspectos que intervienen en las actuaciones sobre el litoral. [12]

El programa está compuesto por una serie de unidades básicas, independientes en su contenido, denominadas módulos. Cada módulo presenta información en una pantalla completa y resuelve un determinado problema, una vez introducidos los datos necesarios. Los módulos están agrupados en capítulos, que a su vez se estructuran en cuatro bloques temáticos, la estructura es la siguiente:

- Dinámicas
 - Ondas
 - Oleaje
 - Propagación y rotura
 - Nivel del mar

- Procesos litorales
 - Análisis granulométrico
 - Transporte de sedimentos
 - Forma en planta
 - Transporte longitudinal
 - Estados morfodinámicos
 - Procesos litorales en estuarios

- Obras marítimas
 - Flujo en diques de escollera
 - Estabilidad de diques de escollera
 - Cálculo de diques verticales y mixtos

- Impacto ambiental

2.2.2 Módulo de “Pre-proceso”

Este módulo permite procesar gran parte de la información que se necesita como entrada a los diferentes programas del SMC, se divide en dos secciones:

- Información relacionada con los contornos (batimetría)
- Información dinámica (oleaje y cotas de inundación).

- **BACO** (Programa de Batimetrías y cartas náuticas de la Costa):

El objetivo fundamental del programa “Baco” es suministrar información batimétrica a partir de las cartas náuticas del litoral español. Se compone de una base de datos, la cual contiene la siguiente información:

- Cartas náuticas del litoral español, provenientes del Instituto Hidrográfico de la Marina – Cádiz, escaneadas en archivos con formato tipo imagen (*.Png).
- Archivos con las batimetrías digitalizadas a partir de las cartas náuticas. Las cuales se encuentran en un formato tipo ASCII (x y z), en coordenadas geográficas.[13]

Acciones que permite el programa:

- Seleccionar para una zona de estudio a lo largo del litoral español, las cartas náuticas y datos batimétricos digitalizados de dicho área.
- Generar, con esta información, un “Proyecto” de trabajo tipo SMC.

- **ODIN** (Programa de Caracterización de Oleajes y Dinámicas marinas):

El objetivo de este módulo es caracterizar todos los oleajes que el usuario necesita dentro del SMC. La caracterización del oleaje se lleva a cabo a partir de una base de datos de oleaje visual de barcos en ruta, y los oleajes de la ROM 0.3-91-oleaje (Atlas de Clima Marítimo en el Litoral Español), información suministrada a través del programa de Clima Marítimo de Puertos del Estado.

El programa Odín permite obtener para cualquier área de la costa española, la siguiente información [14]:

- Los regímenes medios direccionales del oleaje visual (alturas de ola y períodos) en profundidades indefinidas y una profundidad objeto.
- Tablas de encuentro entre alturas de ola y períodos del oleaje.

- Las características del oleaje asociadas al flujo medio de energía, información utilizada para definir la forma en planta y perfil de una playa en equilibrio a largo plazo.
- Los oleajes que caracterizan las condiciones medias y extremas anuales, información de entrada al programa de propagación de ondas Oluca-MC y el modelo espectral de propagación Oluca-SP.
- Oleajes medios y extremos para el modelo de evolución de perfil transversal a corto plazo, modelo Petra.
- Oleajes de condiciones extremas (a partir de la ROM 0.3-91, Programa de Clima Marítimo).
- También permite obtener como una primera aproximación, una estima de la carga de sedimento medio mensual y total anual, asociado al transporte litoral (potencial) del oleaje.
- Definir para unas características de playa, dado el histograma de la distribución de sus estados morfodinámicos y los estados modales medios mensuales.

- **ATLAS** (*Programa de Cota de Inundación*):

Para definir una cota de inundación hasta donde se permite actuar la dinámica marina. De manera similar, algunos modelos de corto plazo como el "Oluca-MC", el "Oluca-SP" y el "Petra" necesitan definir un nivel de marea.

El programa "Atlas" permite obtener para cualquier punto del litoral español [15]:

- La cota de berma asociada a los perfiles de playa.
- La cota asociada al nivel de marea.
- Definir cotas de francobordo para el diseño de obras costeras (diques, paseos marítimos, muros, etc.).
- Consultar el Atlas de Inundación.

2.2.3 Módulo de "Análisis a corto plazo de playas" (Acordes)

Contiene los programas que permiten analizar sistemas costeros a una escala espacial y temporal de corto plazo, se compone de modelos de evolución morfodinámica en perfil 2DV (2 dimensiones en vertical), y modelos de evolución morfodinámica en planta 2DH (2 dimensiones en horizontal).

- **Petra** (Programa de evolución del perfil transversal en playas).

Este programa modela la evolución en el tiempo de un perfil de playa. El modelo simula los distintos procesos involucrados (propagación de oleaje monocromático y espectral, incluyendo rotura y posrotura, sobre-elevación e inundación en la zona de playa seca, cálculo del sistema inducido de corrientes, transporte de sedimentos por fondo y suspensión, etc.), permitiendo

obtener la evolución del perfil después de la acción dinámica de un oleaje sobre un nivel de marea variable en el tiempo. [16]

- Mopla (Programa de morfodinámica de playas)

Este programa modela la evolución morfodinámica de playas a corto plazo. Se compone de seis modelos numéricos, los cuales simulan la propagación del oleaje, el sistema de corrientes inducido por la rotura del oleaje, cálculo del transporte de sedimentos y la evolución de la batimetría. Los modelos se han organizado en dos grupos, por un lado aquellos que modelan los procesos asociados a la propagación de un tren de ondas monocromáticas, y por otro, los que modelan la propagación de un estado de mar, representado mediante un espectro de energía del oleaje[17].

Los primeros modelos se aplican, fundamentalmente, para caracterizar la morfodinámica media en un tramo de costa. Se compone de los siguientes programas:

- Oluca-MC: Modelo parabólico de propagación de oleaje **monocromático**.
- Copla-MC: Modelo de **corrientes** en **playas** inducidas por la rotura de ondas.
- Eros-MC: Modelo de **Erosión** – **sedimentación** y evolución de la batimetría en playas.

En cuanto a los segundos (oleaje espectral), se aplican fundamentalmente en el modelado de eventos extraordinarios o en casos donde se desea una mayor precisión en el cálculo de alturas de ola (diseños de diques u obras en general). Este grupo se compone de los siguientes modelos:

- Oluca-SP: Modelo parabólico de propagación de oleaje **espectral**.
- Copla-SP: Modelo de **Corrientes** en **playas** inducidas por la rotura del oleaje espectral.
- Eros-SP: Modelo de **Erosión** – **sedimentación** y evolución de la batimetría en playas. (debido al oleaje espectral).

Este módulo ofrece la siguiente información:

Respecto a la propagación de oleajes:

- Propagar oleajes monocromáticos o espectrales desde profundidades donde la ola no está afectada por el fondo, hasta zonas de playa en la costa. Incluyendo deformaciones debido a la refracción, asomeramiento, difracción, disipación por rotura y pos-rotura.
- Caracterización de los oleajes de una zona litoral.
- Cálculo de los regímenes medios direccionales del oleaje en zonas costeras.
- Propagación de eventos de oleaje extraordinarios, los cuales permiten definir las alturas de olas de diseño para obras en el litoral.

Para el estudio de corrientes en playas:

- Determinación de las magnitudes de corrientes en playas, condicionada a una calibración previa con información medida en campo.
- Caracterización del sistema circulatorio de corrientes en playas.
- Determinación del campo de corrientes para el cálculo de transporte de sedimentos.

Análisis de la evolución morfológica de playas:

- El cálculo inicial de transporte de sedimentos debido al oleaje y a las corrientes.
- Determinación de zonas de erosión/sedimentación en playas.
- Evolución bidimensional y horizontal de una playa frente a un evento temporal.

2.2.4 Módulo de análisis a largo plazo de playas (Arpa)

Recoge una serie de programas que permiten analizar un tramo de costa en escalas espaciales y temporales de largo plazo. Se compone de los siguientes programas:

Playa en equilibrio: Dentro de un estudio de regeneración de un tramo de costa, en el cual encontramos playas de arena, es importante poder definir en un tiempo a largo plazo, cuál será la forma final de dicha playa. Dada la imposibilidad de los modelos numéricos a corto plazo de predecir dichas formas finales en períodos largos de tiempo, se han utilizado formulaciones de forma en planta y perfil de equilibrio.

Estados morfodinámicos y modales de una playa: está incluido dentro del Programa de Pre-proceso de oleaje (Odín), permite determinar los estados morfodinámicos de evolución de una playa antes y después de una determinada actuación, en el medio y largo plazo. Para ello, utiliza la información de la base de datos de oleaje visual.

El programa permite obtener para una playa, la siguiente información adicional, el histograma de la distribución de estados morfodinámicos y su estado modal y los estados modales medio mensuales [18].

Capítulo 3. Área de estudio

El siguiente capítulo describe la ubicación de la playa seleccionada para realizar las simulaciones numéricas propuestas. También la información más importante a tener en cuenta respecto a las condiciones hidrodinámicas presentes.

3.1 Localización

La playa Norte de Gandía, está localizada en Gandía en la comarca de la Safor (figura 9) en la provincia de Valencia. Posee una longitud de 3.000 m (según fuente de la Dirección General de Costas), y una anchura promedio de 80 m. La playa contiene una composición de arena dorada. Las condiciones de baño son tranquilas, con escaso oleaje, y presenta una fuerte presión urbanística a ser destino turístico nacional.

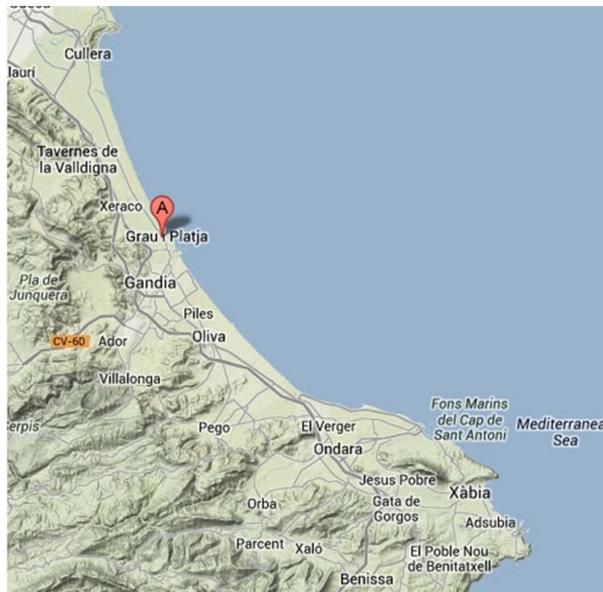


Figura 9. Localización playa Gandía[19]

Los límites del sistema sedimentario litoral son difíciles de establecer. Esta delimitación se efectúa en función del oleaje. El borde externo se encuentra en aquel punto, mar adentro, donde el sedimento ya no se ve afectado por los movimientos provocados por las olas. Esa profundidad máxima se podría establecer en 8-10 m. En tierra, el límite se situará allá donde el material costero queda retenido definitivamente, en función del tamaño del sedimento.

3.2 Condiciones hidrodinámicas en la costa de Gandía

Los datos hidrodinámicos de la zona de estudio se pueden obtener a través de la página web www.puertos.es, los datos se obtienen a partir de boyas oceanográficas que recogen información de régimen de vientos, oleaje, temperatura, corrientes, salinidad y variaciones en el nivel del mar. Para el área de estudio se ha consultado el punto WANA, que está formado

por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numérico. Son, por tanto, datos simulados y no proceden de medidas directas de la naturaleza.

En la figura 10, se presenta la rosa de oleaje donde se puede observar que la altura de ola significativa no suele pasar los 0,2-1 m siendo la media durante el año de 0,5m, aunque hay datos registrados de la altura de ola en la esta zona de Hs: 8,9 m el 28 de diciembre de 1980. El oleaje predominante proviene del NE en la playa de Gandía y es de ahí donde pueden proceder las olas de mayor altura.

La playa de Gandía es una playa micromareal siendo el rango de marea medio de 20 cm.

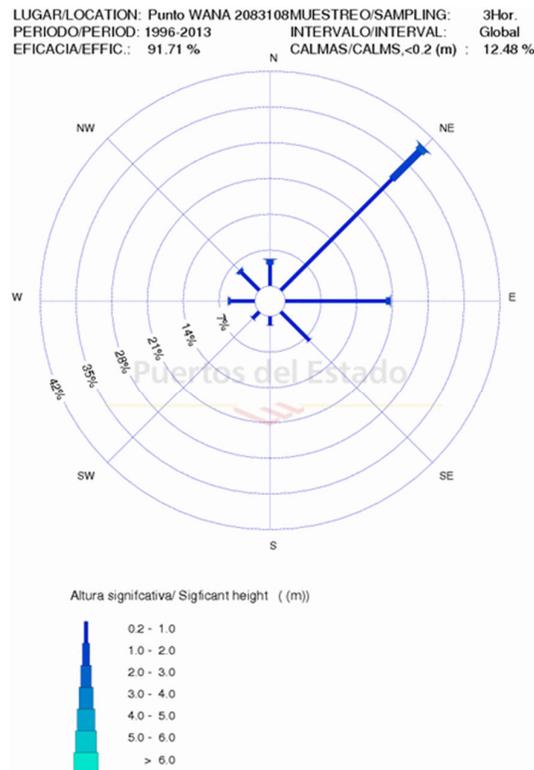


Figura 10. Rosa de oleaje Punto WANA 2083108. Periodo 1996-2013 [20]

La deriva litoral en la playa de Gandía sigue una trayectoria N-S, es una corriente paralela a la costa que transporta los sedimentos a lo largo de ella y a profundidades muy reducidas. Esta corriente se produce cuando las olas llegan oblicuas a una costa rectilínea generalmente en ángulo inferior a 10°, esta corriente es inducida por el oleaje y su velocidad depende de la altura de la rompiente, el período y ángulo de incidencia de las olas, la pendiente y rugosidad de la playa.

Capítulo 4. Discusión de los resultados

El capítulo 4 describe cómo se ha realizado el estudio morfodinámico utilizando las diferentes herramientas del Sistema de Modelado Costero, para estudiar como varía la corriente y el transporte sedimentario en diferentes condiciones hidrodinámicas de la playa Norte de Gandía.

El programa SMC ofrece múltiples funciones para estudiar los fenómenos costeros y aplicarlo a la ingeniería civil, así como un método de predicción de comportamiento de una playa según las condiciones hidrodinámicas. Su uso para la aplicación de regeneración de playas es también muy importante, porque ayuda a visualizar el resultado final y en el caso de obras duras de regeneración, como se ve afectado una playa al incluir un espigón en su entorno.

Debido a que sólo se posee información de la batimetría de la playa pero no del perfil de toda la playa, cualquier simulación es una aproximación y los resultados sólo tendrán valor orientativo, para obtener mejores resultados sería necesario tener datos topográficos en invierno y verano, y análisis y composición del sedimento presente en cada parte de la playa. Por tanto, se ha realizado una simplificación de los datos cuando han sido necesarios, teniendo D_{50} (mm): 0,1 Tamaño medio de grano, pendiente media (dx/dz): 0,02, densidad agua mar: 1032 Kg/m^3

4.1 Módulos preproceso

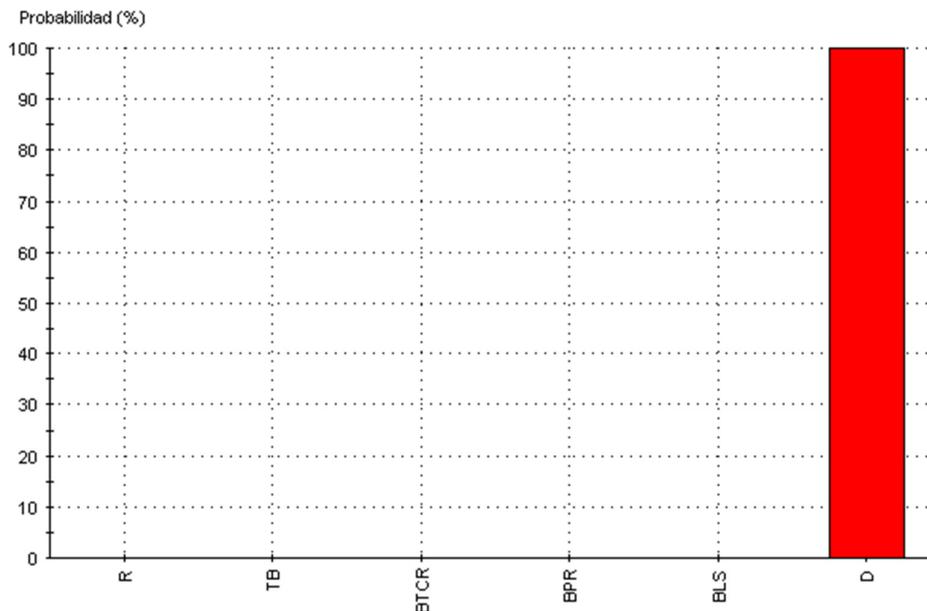
El **modulo Odín** presenta una base de datos de oleaje desde 1970 hasta el 1994, por tanto para cada zona de estudio se pueden conocer las características del régimen medio de oleaje. En el caso de estudio no se van a tener en cuenta ya que se van a utilizar datos de oleaje procedente de Puertos del Estado, ya que su base de datos recoge más información.

Es interesante del módulo Odín, que presenta una aproximación del estado morfodinámico de una playa a través de la relación entre el tamaño de grano y el oleaje incidente. Que viene representado como (3) que es el parámetro de Dean.

$$EM = \frac{H}{w.T} \quad (3)$$

Por tanto, para cada oleaje de la base de datos de Odín el punto de rotura aporta un valor diferente de EM, el programa traduce cada valor de la siguiente manera:

$EM \leq 2.0$	Reflejante
$2.0 < EM \leq 2.75$	Terraza de bajamar
$2.75 < EM \leq 3.3$	Barra transversal y corriente de retorno
$3.3 < EM \leq 4.1$	Barra y playa rítmica
$4.1 < EM \leq 5.0$	Barra longitudinal y seno
$5.0 < EM$	Disipativa



R : Reflej. - TB : Terraza bajamar - BTR : Barra transv. y corriente de retorno - BPR : Barra y playa rítmicas - BLS : Barra long. y seno - D :

Figura 11. Probabilidad media anual de cada estado morfodinámico para la playa de Gandía

Para el caso de la playa Norte de Gandía como se observa en la figura 11, el programa indica que es una playa disipativa al 100%. Hay que tener en cuenta las aproximaciones y los datos ya que no tiene en cuenta las actuaciones realizadas en la franja costera adyacente a la playa que se ha realizado en los últimos años. Por tanto es necesario un estudio más completo para determinar que la playa de Gandía es de tipo disipativo.

El módulo BACO: aporta imágenes y datos batimétricos a partir de una base de datos de cartas náuticas y archivos de batimetría. En este trabajo no se va a utilizar ya que sólo se va a centrar en el estudio de la playa de Gandía de la batimetría en detalle.

El módulo Atlas: El objetivo es aportar a los modelos de cálculo de largo plazo (playas en equilibrio, diseño de obras,...) la cota de inundación máxima de la dinámica marina. Como no se va a realizar ninguna regeneración de la playa, en este proyecto no será necesario su utilización.

4.2 TIC

Se aplican los datos simplificados de la playa de Gandía al módulo Tutor de Ingeniería de Costas a aquellos apartados que aporten más información para determinar el estado morfodinámico de la playa.

Lo primero es comprobar el estado morfodinámico para una altura de ola media de 1 metro en aguas indefinidas, es decir en la zona donde la ola no se ve afectada por el fondo marino, y periodo de 4s.

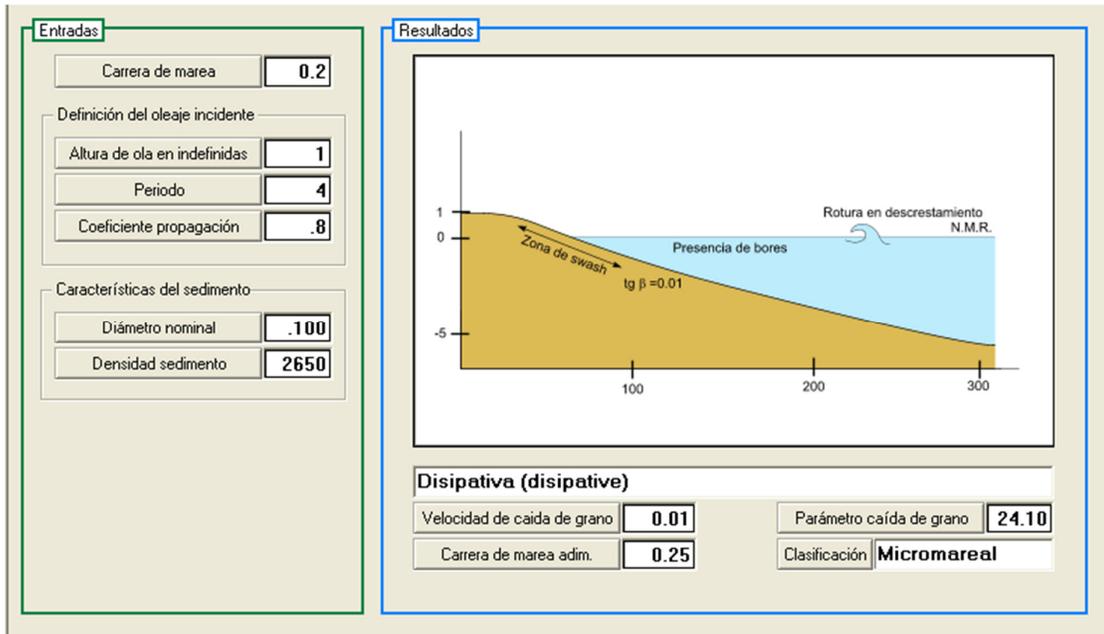


Figura 12. Estado morfodinámico

En la figura 12 según los datos de entrada utilizados, indican que la playa es de tipo disipativa y se representa su perfil teórico.

Entradas		Resultados	
Tipo de batimetría <input checked="" type="radio"/> Pendiente constante Pendiente media: <input type="text" value="0.02"/>		H rotura: <input type="text" value="0.97"/>	
<input type="radio"/> Fichero de batimetría Fichero: <input type="text"/>		Profundidad de rotura: <input type="text" value="2.15"/>	
Teoría de asomeramiento <input type="radio"/> Teoría lineal <input checked="" type="radio"/> Teoría de Shuto		Áng. incidencia rotura: <input type="text" value="6.74"/>	
Altura de ola inicial: <input type="text" value="1"/>		Longitud onda rotura: <input type="text" value="16.64"/>	
Periodo de onda: <input type="text" value="4"/>		H en prof. indefinidas: <input type="text" value="1.02"/>	
Distancia costa inicial: <input type="text" value="500"/>		Resultados a la profundidad objetivo	
Áng. incidencia inicial: <input type="text" value="10"/>		Altura de ola: <input type="text" value="1.00"/>	
Profundidad objetivo: <input type="text" value="10"/>		Longitud de onda: <input type="text" value="24.63"/>	
		Ángulo de incidencia: <input type="text" value="10.00"/>	
		Distancia a la costa: <input type="text" value="500.00"/>	
		N° Iribarren en rotura: <input type="text" value="0.10"/>	
		Tipo de rotura: <input type="text" value="Descrestamiento"/>	
		<input type="button" value="Gráfica de evolución"/>	

Figura 13. Propagación de ondas.

En la figura 13, si se supone que la playa Norte de Gandía presenta pendiente constante, y que la altura de ola inicial es de 1 metro, el tipo de rotura sería descrestamiento, ya que presenta número de Iribarren en rotura de 0.1. Estos datos aunque son orientativos, son de gran utilidad para tener en cuenta cómo abordar el estudio de una playa.

El tipo de rotura es fundamental para conocer cómo se va a trasladar la energía de la onda al medio, y por tanto importante para estudiar las corrientes y el transporte sedimentario que se origina en el momento que la ola se rompe.

4.3 Módulo MOPLA

El módulo MOPLA facilita información del oleaje, corrientes y transporte a lo largo de la costa. Ello es esencial para caracterizar el estado morfodinámico de una playa. La batimetría de estudio de la zona es la que aparece en la figura 14.

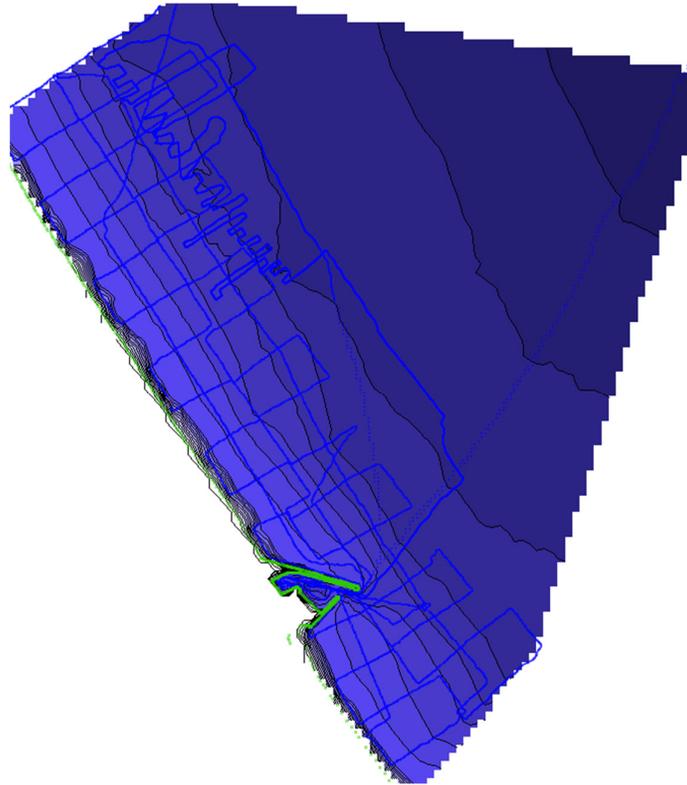


Figura 14. Batimetría playa Gandía

Para la playa de Gandía, se elige una malla cercana a la zona del puerto para ver cómo responde la playa a condiciones normales y en caso de temporales excepcionales. Para ello se realizan dos ejemplos, el primero de ellos a través de oleaje monocromático (caso 1) y el otro en caso excepcional usando para ello oleaje espectral (caso 2).

Se elige dos mallas para el estudio del oleaje, la primera malla presenta una dimensión de $x=1676.71$ m e $y=3172.34$ m, la segunda malla encadenada por $x=1022.03$ m e $y=1685.31$ m con un ángulo de $153,35^\circ$ respecto al Norte. El origen de coordenadas de la malla se ha situado en: $X_{UTM}: 746703.90$ e $Y_{UTM}: 4224779.96$.

Las dimensiones de las mallas se definen a partir de la malla de detalle hacia el exterior, por tanto existe una limitación en la creación de mallas y en este caso no es posible abarcar toda la playa por necesitar más datos batimétricos, para que la malla no salga de área de estudio.

La orientación de la malla tiene que garantizar que la dirección del oleaje que alcanza la zona de estudio esté dentro de $\pm 55^\circ$ con respecto al eje X de la malla. Y evitar grandes cambios de profundidad en la primera fila de la malla externa (condición inicial del oleaje). En la tabla 2 se indican los datos principales para la creación de los casos de estudio.

Datos	Oleaje monocromático	Oleaje espectral
Altura ola (m)	0,5	5
Dirección propagación	N45E	N45E
Periodo (s)	4	10

Tabla 2. Datos para estudio del oleaje monocromático y espectral

Caso 1: Oleaje monocromático

La media de oleaje en la playa de Gandía está dentro del rango 0,5-1 m, por tanto lo primero que se va a realizar con la batimetría en detalle de la zona será un estudio del oleaje y corrientes presentes en la mayor parte del tiempo.

En este caso, al presentar una altura de ola de 0,5 metros, en la costa no sale representado ya que apenas hay variación de la altura de ola. La dirección del oleaje es N45E.

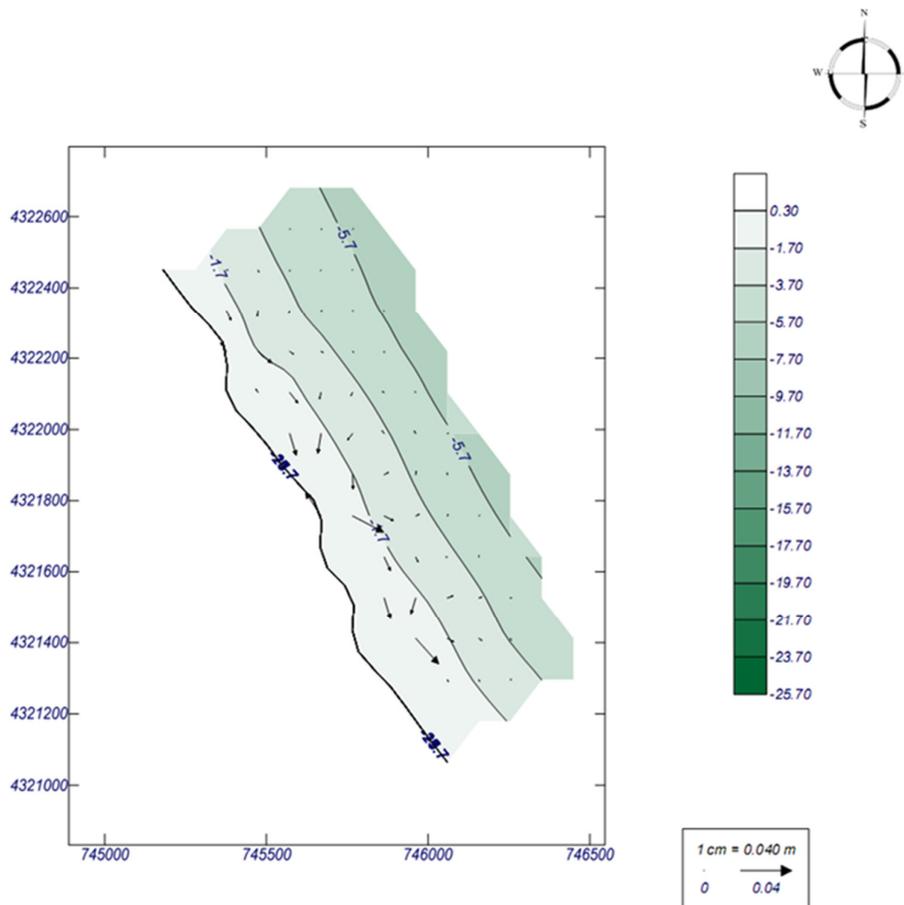


Figura 15. Representación velocidad de la corriente con la batimetría del caso 1.

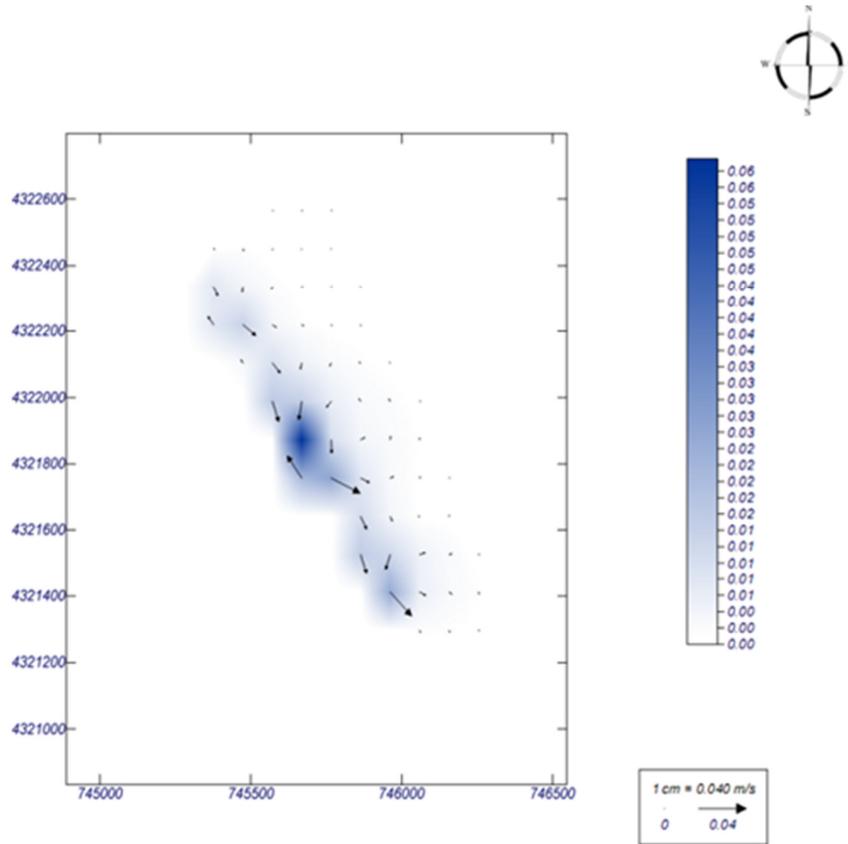


Figura 16. Magnitud de las corrientes y dirección del caso 1.

En la figura 15 se observa la batimetría en la zona más próxima a la costa, la cual presenta una formación paralela entre las isobatas. Las flechas indican dirección y velocidad de las corrientes que se producen en la zona de rompiente. En la figura 16 se especifica la magnitud de las corrientes, donde las corrientes más intensas se dan en los primeros metros desde la línea de costa, ello debido a que es la zona donde rompen las olas. También se observa que hay una zona donde la corriente justo en la orilla de la playa es en dirección contraria, al faltar datos de la topografía de la playa seca, el programa no es capaz de representar correctamente el comportamiento de la playa en caso de oleaje. Por tanto no se puede concluir que exista corriente en dirección contraria a la principal que va de Norte a Sur de la playa. Sería necesario medidas in situ para verificar los datos de la simulación.

En este caso, la corriente presenta una dirección principal hacia el sureste, ello es debido en gran parte a la dirección principal de propagación del oleaje. La velocidad máxima de la corriente en la costa es de 0,04 m/s, un valor bajo.

Como la dirección de propagación no es normal a la batimetría, el vector fuerza que presenta una componente longitudinal: $\partial S_{xy}/\partial x$, acelera el flujo, hasta que se equilibra por fricción con el fondo, estableciéndose una corriente longitudinal de Norte a Sur.

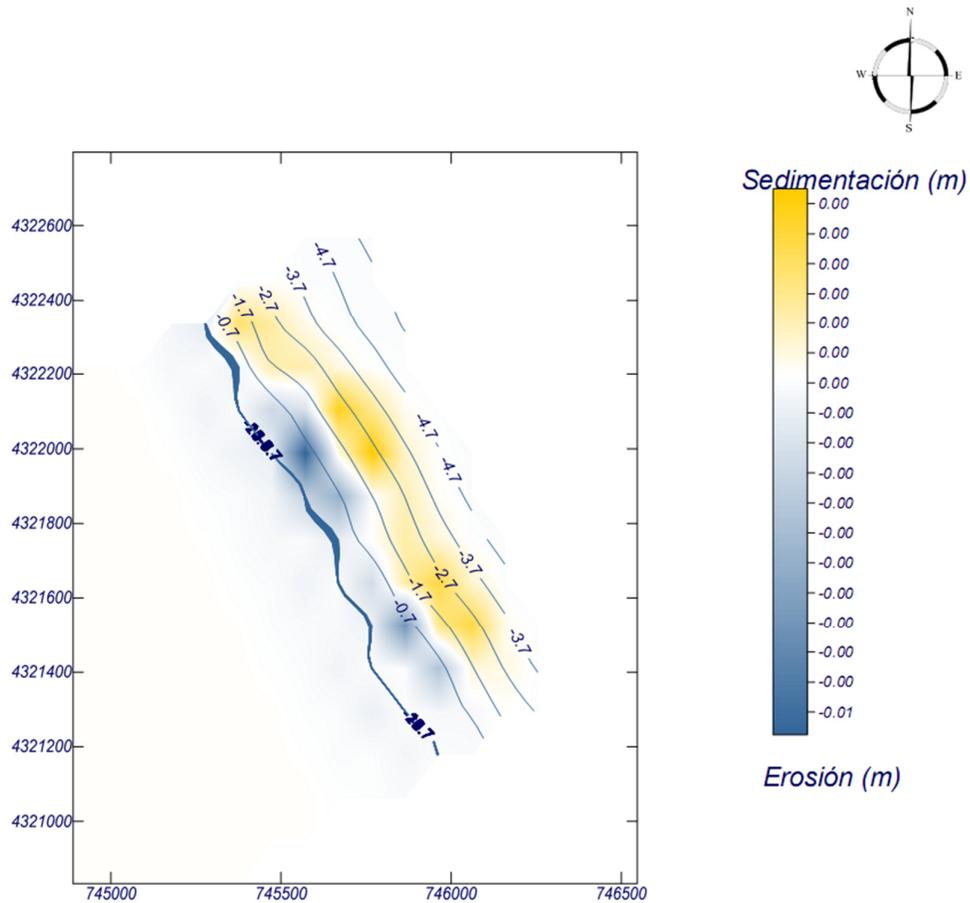


Figura 17. Gráfica de erosión y sedimentación de caso 1.

En la figura 17 no se aprecia erosión, los valores son muy bajos, ello es debido a que la altura de ola de 0.5 metros apenas modifica el lecho marino, no genera suficiente energía al romper la ola en la orilla. Se aprecia una ligera erosión en la misma zona que anteriormente existía corriente en sentido contrario.

En el caso de que hubiera sedimentación sería a partir de 1,7 metros de profundidad.

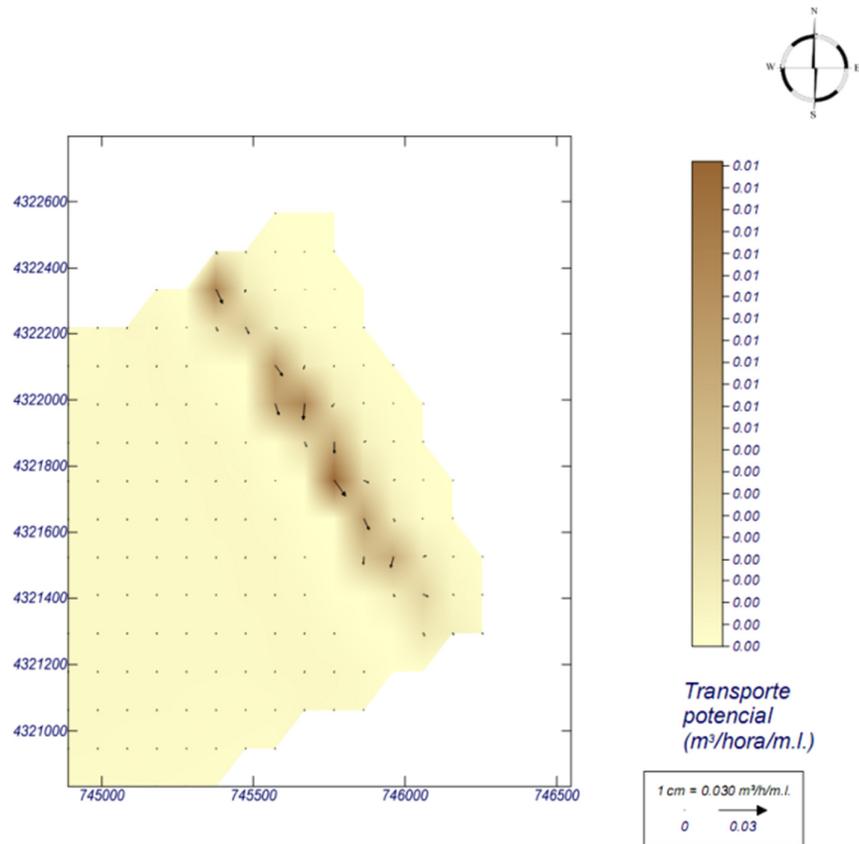


Figura 18. Transporte sedimentario en el caso 1.

El valor máximo de transporte potencial de la playa Norte de Gandía, según se observa en la figura 18, apenas llega al $0.030 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}\cdot\text{l}$ y donde se transporta más arena es en la orilla de la playa, con dirección Norte Sur, que concuerda con los resultados de la corriente principal.

Caso 2: Oleaje espectral

En la zona de estudio es raro observar alturas de ola mayores a 2 metros, pero en casos excepcionales de tormentas se tienen registrado alturas de ola mayores a 5 metros, aunque la probabilidad de que ocurra es muy baja, es importante conocer como responde la playa en caso de fuertes tormentas.

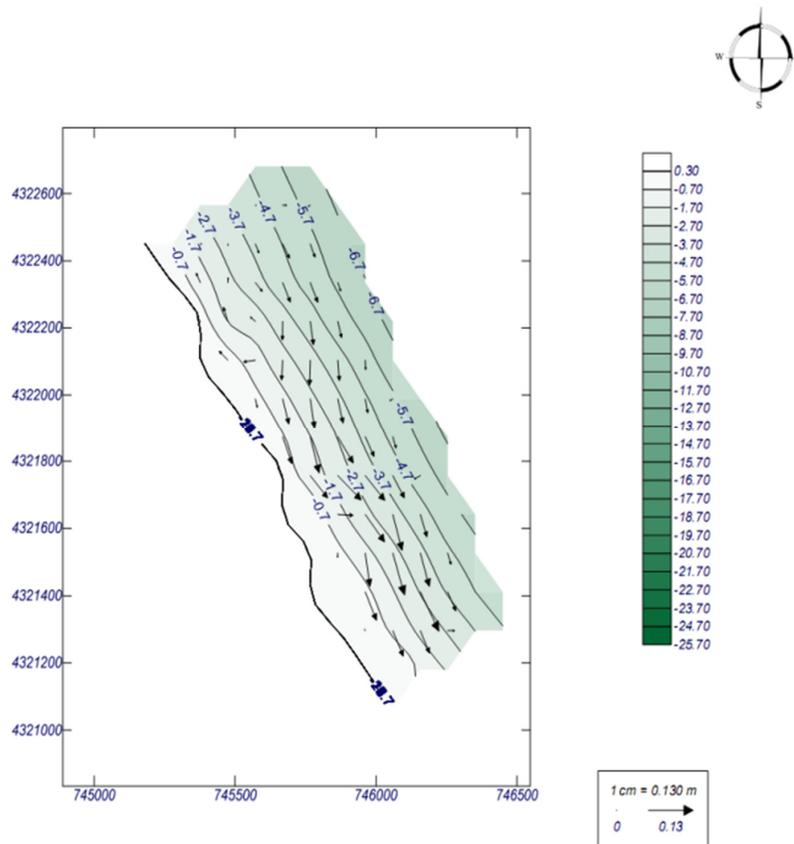


Figura 19. Representación de corrientes y topográfica en oleaje espectral y velocidad de corrientes para el caso 2

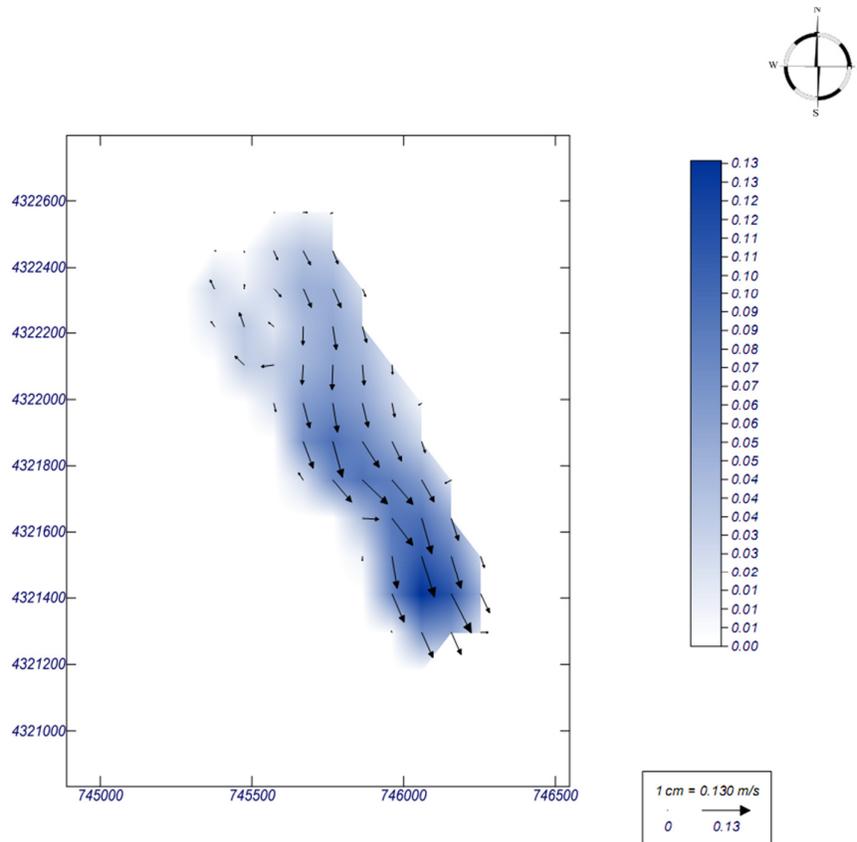


Figura 20. Magnitud y dirección de las corrientes en el caso 2.

Para el caso de oleaje espectral, con alturas de ola de 5 metros, se observa en la figura 19 y figura 20, que las corrientes provocadas por la rotura del oleaje en la zona son más intensas que las obtenidas en el caso 1 que corresponde con condiciones normales de oleaje. La dirección de la corriente principal es de Norte a Sur de la playa.

Dentro de la zona de rompientes la circulación es prácticamente generada por fuerzas que resultan de la disipación del oleaje. La mayor parte de estos intensos flujos están confinados entre la playa y la zona de rotura, aunque bajo condiciones extremas, como en el caso de tormentas, las corrientes de retorno pueden alcanzar más allá de la zona de rompientes y extenderse sobre la playa.

En la parte norte de la gráfica, la corriente genera un pequeño remolino, ello puede ser debido a irregularidades de la topografía de la zona de rotura, (como la existencia de barras sumergidas). A partir de las variaciones longitudinales de la altura de ola en rotura ya que este gradiente en la altura de ola en rotura sería consecuencia del fenómeno de refracción, de la presencia de ondas estacionarias que intersectarían los trenes de olas procedentes de distintas direcciones o por inestabilidades longitudinales en el campo de las tensiones de radiación y set-up.

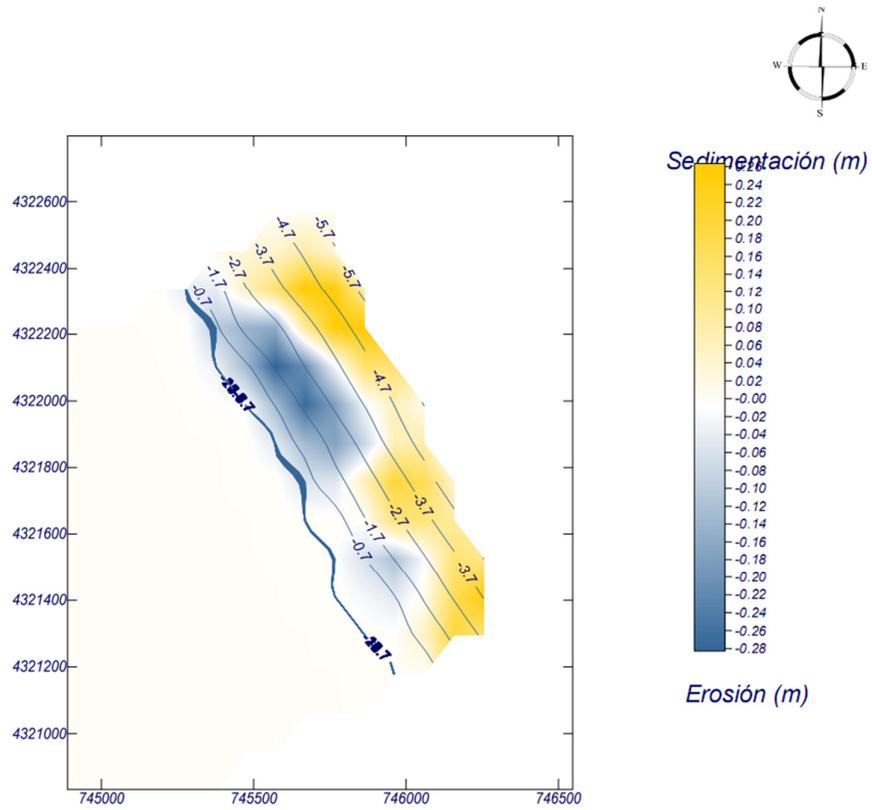


Figura 21. Gráfica de erosión y sedimentación de caso 2.

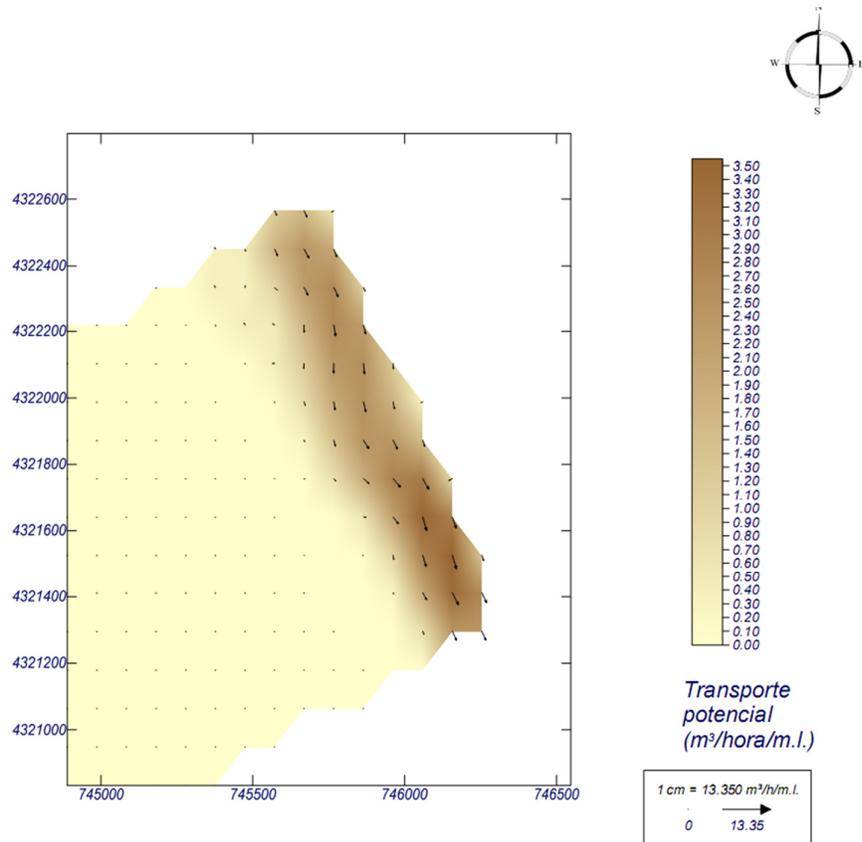


Figura 22. Transporte potencial caso 2

En la figura 21 y figura 22, se puede comprobar cómo se ve afectado el transporte sedimentario en la costa debido a la rotura del oleaje, que con alturas de ola de 5 metros, la erosión en la zona más próxima a la costa es mayor que por ejemplo en el CASO 1, coincidiendo la zona de mayor erosión con la zona de corrientes en diferentes direcciones, y sedimentación a partir de 2 metros de profundidad.

El valor del transporte potencial en caso de temporal es muy superior al transporte potencial en condiciones de calma.

4.4 MODULO PETRA

Se va a realizar una simulación de la evolución del perfil de la playa de Gandía en caso de temporal. Para ello se elige un perfil de playa situado a 450 metros de distancia del puerto de Gandía.

A partir de los datos proporcionados por la tabla 3, se propone el siguiente temporal para su estudio.

EFICACIA: 91.90% AÑO/YEAR: 1996-2013		Tp (s)											TOTAL
		<=1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	>10.0	
Hs (m)	<=1.0	---	1.284	14.759	22.560	14.637	12.434	9.900	5.397	4.041	2.182	0.961	88.156
	2.0	---	---	0.002	0.265	1.203	1.640	1.859	1.315	1.422	1.286	1.499	10.490
	3.0	---	---	---	---	---	0.031	0.149	0.190	0.238	0.188	0.294	1.091
	4.0	---	---	---	---	---	---	---	0.006	0.058	0.097	0.064	0.226
	5.0	---	---	---	---	---	---	---	---	0.002	0.006	0.021	0.029
	6.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.008	0.008
	7.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.000
	8.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.000
	9.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.000
	10.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.000
	>10.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.000
TOTAL	---	1.284	14.761	22.825	15.840	14.105	11.908	6.909	5.762	3.760	2.847	100%	

Generado por/Generated by Puertos del Estado Fecha/Date 2013-08-27 13:19CET

Tabla 3 Relación entre la altura de ola significativa y periodo de ola asociado [20]

Se estudia el impacto de un temporal de 24 horas de duración con dos tramos diferenciados, el primero de ellos presenta una Hs: 5m y T: 10s, y el segundo tramo con menor intensidad de temporal de Hs: 2m y T: 7s. (Tabla 4)

Temporal		
Duración temporal (horas)	0-12	12-24
Altura de ola significativa (m)	5	3
Periodo ola (s)	10	7
Angulo incidencia desde la normal de la playa (º)	-10	-10

Tabla 4. Datos del temporal para el módulo PETRA.

El modelo de propagación del oleaje que se utiliza es el de Thornton y Guza, los cuales estudiaron los procesos predominantes de disipación de la energía incidente al aproximarse el oleaje a la costa. Estos autores obtuvieron una relación entre la disipación de energía debida a la rotura de las olas y a la fricción del oleaje con el fondo tal que, dentro de la zona de rompientes, la rotura es la forma principal de disipación de energía. En la zona del perfil donde las olas no han comenzado a romper, la disipación se debe a la fricción con el fondo [21].

A continuación se van a interpretar los resultados de la modelización:

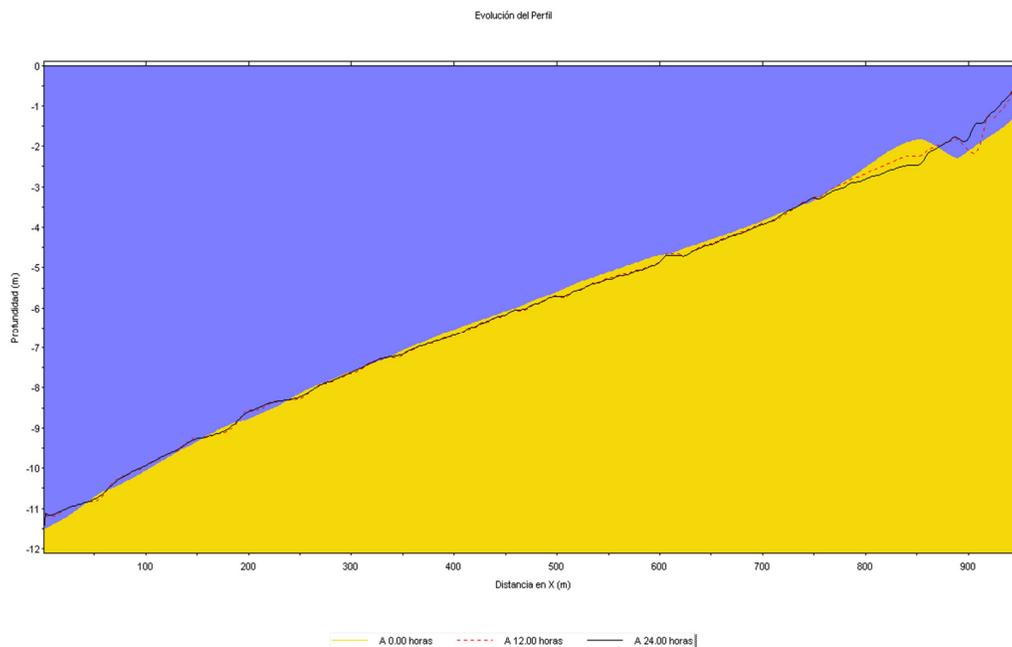


Figura 23 . Evolución de la profundidad con el temporal.

En la figura 23 se observa cómo se modifica el fondo marino a medida que avanza el temporal, al comienzo del fenómeno adverso ($t = 0$ horas), el fondo presenta una barra de arena a 150 metros de la línea de costa, a medida que pasa el tiempo se produce una removilización del sedimento en la zona de rompiente, y la barra de arena asciende en el perfil presentado una forma tendida.

La evolución morfológica representada, muestra los sucesivos estados erosivos del frente de playa y la acumulación de sedimento en la parte sumergida del perfil formando una barra.

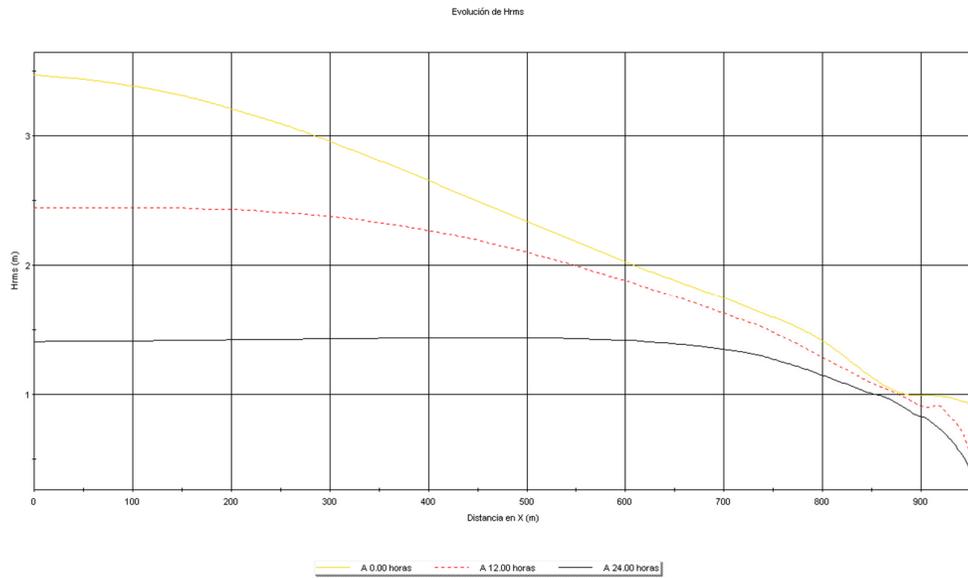


Figura 24. Evolución de la altura de ola con el tiempo.

En la figura 24 se muestra como es la variación de la altura de ola a medida que pasa el tiempo y a medida que se acerca a la línea de costa, en este caso se observa que la Hs va disminuyendo a medida que pasa el tiempo y que se acerca a la costa, presentando en la costa valores de altura de ola menores a 1 metro. Las tres evoluciones de altura ola son completamente distintas debido a:

- La altura de ola significativa es variable a lo largo del temporal, tal y como se definió el "Temporal".
- El nivel medio sobre el que se propagan las olas varía (debido a la marea astronómica, meteorológica y a la variación del nivel medio)
- El lecho varía a lo largo del tiempo modificando las características del oleaje en su propagación. Nótese, por ejemplo, como varía la altura de ola cercana a la modificación de la barra sumergida. (Punto 850).

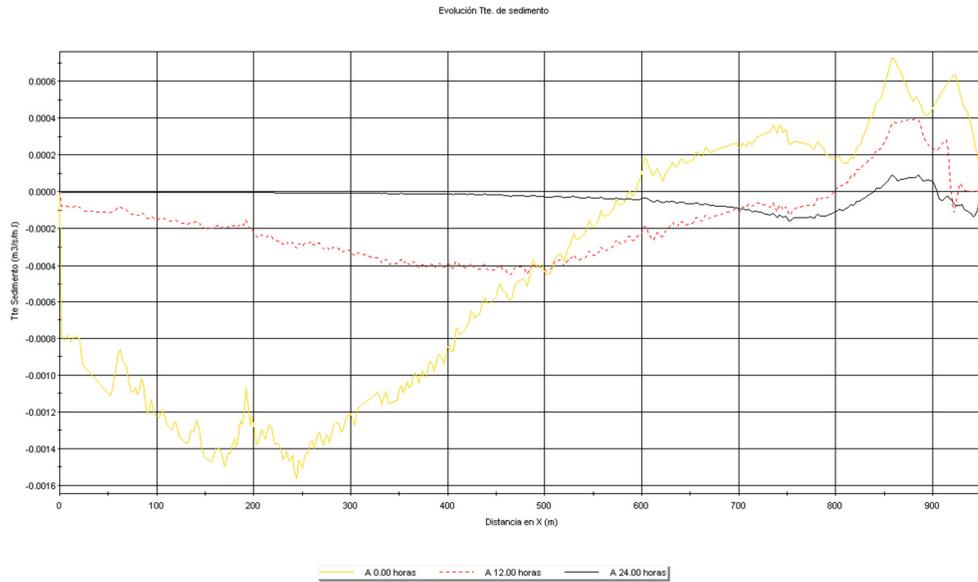


Figura 25. Evolución del transporte sedimentario con el caudal.

En la figura 25 aparece la evolución del transporte sedimentario, debido a que el forzamiento (altura de ola) es variable a lo largo del tiempo, y por tanto también lo es el caudal de transporte de sedimentos. Los patrones de transporte varían según avanza el temporal, cabe destacar que a las 24 horas cuando finaliza el temporal, la variación de la evolución del transporte sedimentario es más homogénea.

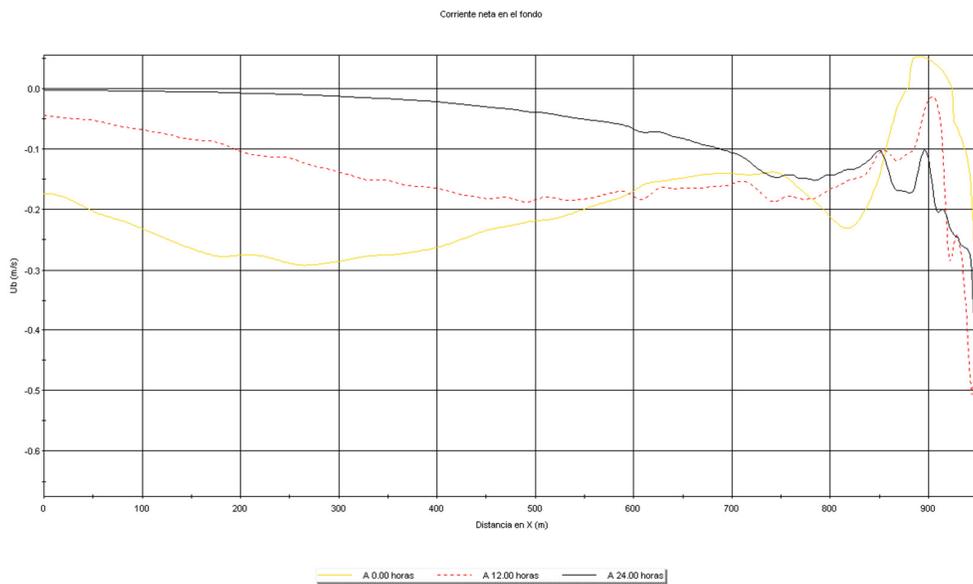


Figura 26. Evolución de la corriente neta en el fondo a medida que avanza el temporal.

En la representación de la evolución de la corriente neta en el fondo (figura 26) también se puede comprobar como varía la velocidad de la corriente a medida que avanza el temporal y se acerca a la costa, en este caso faltaría datos de la topografía de la playa sumergida, ya que con los datos de batimetría y siendo un caso de temporal, se observa que la zona con mayor

corriente está en la línea de costa, es decir, el oleaje provocado por el temporal sobrepasa los límites habituales de línea de costa y genera corriente en esa zona.

Por tanto, se puede indicar que en casos de temporal en la zona, la playa estará expuesta a mayor volumen de transporte de sedimentos y mayores corrientes en la zona costera.

Capítulo 5. Conclusiones

El Sistema de Modelado Costero es una herramienta muy útil para conocer los diferentes fenómenos a los que está expuesta una playa, para realizar predicciones de evolución temporal tanto a corto plazo como a largo plazo, y así conocer y caracterizar una playa según su morfodinámica. También permite realizar estudios en el campo de la ingeniería de costas y conocer el impacto que pueda provocar la construcción de un dique o cualquier otra estructura en el entorno, así como hacer estudios de regeneración de playas.

Aplicando el SMC al caso concreto de la playa Norte de Gandía a partir de batimetría de detalle, se puede realizar una caracterización aproximada del estado morfodinámico. Los primeros datos indican que la playa es una playa disipativa.

El estudio de la situación actual a corto plazo ha permitido evidenciar los efectos muy locales del oleaje medio sobre la hidrodinámica y el transporte de sedimentos. Los oleajes más fuertes (de más altura de ola y período) contribuyen en un gran porcentaje a generar la dinámica sedimentaria litoral.

El perfil disipativo presenta arena fina y niveles de energía de oleaje elevados, en este caso concreto en la mayor parte del tiempo no presenta altos niveles de energía generados por el oleaje, excepto en casos excepcionales de tormentas.

La playa disipativa presenta una morfología prácticamente bidimensional, con un perfil muy tendido. Aparecen en el perfil una o varias barras longitudinales, paralelas a la línea de costa y separadas por senos poco marcados. Dada la geometría bidimensional del sistema, las corrientes de retorno son prácticamente inexistentes, salvo en el caso de discontinuidades marcadas por los propios contornos del sistema.

Las playas disipativas se presentan con valores continuados de I_r inferiores a 0.4, lo que implica roturas en descrestamiento y una disipación de la energía del oleaje progresiva a lo largo del perfil. Todo ello se adapta a los datos obtenidos del programa de SMC.

Los movimientos de sedimento más energéticos en la playa se producen en la zona de rotura y el área de rompientes, afectados por el tipo de rotura de oleaje. En el caso de olas de $\leq 1\text{m}$ no hay transporte significativo de sedimentos, la playa se mantiene constante, y las corrientes que se originan en la costa son muy pequeñas las cuales dependiendo del ángulo de incidencia del oleaje pueden presentar una dirección principal de Norte a Sur, es decir se genera una corriente de deriva litoral en la playa.

Los modelos numéricos son una buena herramienta de estudio (en fase de diagnóstico y predicción) de casos reales solamente en el caso que estén bien calibrados con medidas de campo. En este trabajo, por la ausencia de datos y la imposibilidad de realizar campañas de campo para verificar datos de la simulación, los resultados obtenidos son sólo orientativos.

Bibliografía

- [1] J. Guillen, J.I Díaz; 2010 “Elementos morfológicos en la zona litoral: ejemplos en el delta del Ebro” ICM. Scientia Marina 54: pág. 359-373.
- [2] www.asturnatura.com (consultada 20-08-2013)
- [3] V Torrent 2009. Tesis “Erosión en perfiles de playa a distintas escalas” Universitat Politècnica de Catalunya
- [4] Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. 2000 “Documento de referencia, volumen 2: Procesos litorales”. Universidad de Cantabria.
- [5] L.C Van Rijn; 1998. “Principles of coastal morphology” Amsterdam: Aqua, co.
- [6] Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. 2000 “Documento de referencia, volumen 1: Dinámicas”. Universidad de Cantabria.
- [7] <http://comunidad.eduambiental.org>, (consultada 22-08-2013)
- [8] C. Vidal, M.A Losada, R. Media, I. Losada 1995 “Modelos de morfodinámica de playas. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. Universidad de Cantabria. Dto. de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente. Ingeniería del Agua. Vol. 2 Núm. Extraordinario pág. 55-74
- [9] P. Ciavola, O. Ferreira, P. Haerens, M. Van Koningsveld, C. Armaroli 2011 “Storm impacts along European coastlines. Part 1: The joint effort of the MICORE and ConHaz Projects”. Environmental Science & Policy Volume 14, Issue 7, November 2011, Pages 924–933
- [1] A. Sánchez-Arcilla, V. Gràcia, M. Grifoll, M. García and E. Pallares 2012, "Operational forecast of beach morphodynamics. reliability and prediction limit". Universitat Politècnica de Catalunya, Laboratori d'Enginyeria Marítima
- [2] Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas.2000. “Manual del usuario SMC 3.0”. Universidad de Cantabria. Pág.
- [3] Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. 2000 “Manual del usuario de TIC”. Universidad de Cantabria.
- [4] Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. 2000 “Manual del usuario de BACO”. Universidad de Cantabria
- [5] Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas.2000“Manual del usuario de ODIN”. Universidad de Cantabria.
- [6] Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. 2000 “Documento temático. Cota de inundación: Atlas de inundación en el litoral peninsular español”. Universidad de Cantabria
- [7] Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. 2000 “Manual del usuario de PETRA”. Universidad de Cantabria.
- [8] Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. 2000“Manual del usuario de Mopla”. Universidad de Cantabria.
- [9] Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas.2000 “Manual del usuario SMC 3.0”. Universidad de Cantabria.
- [10] www.maps.google.es. Consultada 25-08-2013
- [11] www.puertos.es. Consultada 27-08-2013

- [12] A.M. Bernabeu, R. Medina, C. Vidal, y J.J. Muñoz-Pérez. 2001: Estudio morfológico del perfil de playa: modelo de perfil de equilibrio en dos tramos. Rev. Soc. Geol. de España, 14 (3-4): 227-236.