

## Tipologías de Perfiles de Playas en el Litoral de la Provincia de Cádiz

Contreras, Antonio<sup>a</sup>; Gómez-Pina, Gregorio<sup>a</sup>; Muñoz-Pérez, Juan José<sup>a</sup> y Chamorro, Gabriel<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Investigación de Ingeniería Costera de la Univ. de Cádiz, Puerto Real, 11510. Cádiz. antonio.contreras@uca.es, gregoriopina@yahoo.es, juan jose.munoz@uca.es, <sup>b</sup> ETSI Univ. de Sevilla, Dpto. de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería, Camino de los Descubrimientos S/N, 41092. Sevilla. gchamorro1@us.es.

### Resumen

*El litoral de la provincia de Cádiz dispone de una amplia variedad de tipología de perfiles de playa inducida por la existencia de zonas con lajas/rocas que interrumpe el desarrollo normal del perfil típico biparabólico en mares con marea. Es por tanto fundamental, identificar correctamente la tipología del tramo de playa a estudiar, para a partir de ahí, establecer los parámetros característicos que define el perfil, con el objeto de su aplicación, en futuros proyectos de regeneraciones de playas. Para ello, se hace previamente una revisión de distintos aspectos relacionados concretamente con la teoría de perfiles de equilibrio. Se relaciona los distintos datos de campo utilizados para el desarrollo del presente estudio, así como, se describe la base de datos utilizada para el tratamiento y análisis de los datos de campo. Con el fin de poder identificar cada uno de los perfiles de playa encontrados en todo el litoral de Cádiz, se propone una serie de tipologías en mares con marea. Conviene separar las dos grandes tipologías que aparecen en las playas con marea: Perfiles del tipo biparabólico (PB) y monoparabólico (PM).*

**Palabras clave:** Playas, perfil de equilibrio, monoparabólico, biparabólico, lajas, marea

## 1 Introducción

Cuando se pretende hacer un proyecto de regeneración de una zona de playa es importante identificar el perfil de equilibrio. Existe el problema, como ya han expuesto algunos autores previamente (Gómez-Pina, 2001), que dicho perfil de equilibrio depende de la tipología de perfil existente, ya que dicha tipología condiciona sus parámetros de diseño.

De forma general podemos definir el perfil de equilibrio como la situación o estado al que llega un perfil de playa, en situación de oleaje constante, durante un tiempo suficiente.

Realmente, no existe la situación de equilibrio en la naturaleza, sino, situaciones prolongadas en las que sí podemos suponer la existencia de situaciones de este tipo. Los cambios estacionales de los perfiles de playa que se originan como respuestas a los grandes temporales de invierno y los más pequeños del verano, dan lugar a una posición estacional de equilibrio de acuerdo con los cambios en los oleajes dominantes.

Diferentes autores Fenneman (1902), Johnson (1919), Bruun (1981), Schwartz (1982), Moore (1982), Larson y Kraus (1989), Larson (1991), Kriebel et al (1991), Pilkey et al. (1993) han definido el concepto de perfil de equilibrio.

Dean (1983) lo definió como: “una idealización de las condiciones que ocurren en la naturaleza para unas características del sedimento particulares y condiciones estables del oleaje”, posteriormente, Dean (1991) añade una definición como “el balance entre fuerzas constructivas y destructivas”.

Para determinar la formulación matemática del Perfil de Equilibrio en Playas, Bruun (1954) y posteriormente, Dean (1977) tras analizar 504 perfiles de playas a lo largo de la Costa Atlántica de Estados Unidos, con datos tomados por Hayden et al (1975) desde *Long Island* hasta Méjico (ajustando por mínimos cuadrados a la función de tipo exponencial propuesta por Bruun (1954)), obtuvo:

$$h = A \cdot x^{2/3} \quad (1)$$

Cuando existe una variación cíclica del nivel del mar, como es la marea, se producen cambios que afectan a la morfodinámica de las playas, y por consiguiente al perfil de equilibrio (Muñoz-Pérez y Medina, 2005).

Masselink y Short (1993), Inman et al. (1993), González (1995) y Bernabeu et al. (2002) desarrollan una formulación del perfil de equilibrio en dos tramos: perfil emergido (perfil de rotura) y perfil sumergido (perfil de asomeramiento), lo que se ha venido llamando como un perfil biparabólico. Pero, estos autores no han tenido en cuenta los efectos causados en el perfil de equilibrio por la existencia de zonas con lajas en el perfil.

El conocimiento de los perfiles con laja es de gran importancia principalmente en las zonas costeras donde las lajas rocosas o arrecifes juegan un papel predominante desde el punto de vista de la morfodinámica costera. Muñoz-Pérez (1996) fue el primer investigador que abordó, de forma teórico-práctica, utilizando los datos de la tesina de Gómez-Pina (1995), un modelo que permitía de manera relativamente sencilla el diseño práctico de playas apoyadas. En los estudios de Muñoz-Pérez et al (1999) se enfatiza principalmente en la relación existente entre el parámetro de forma con laja ( $A_{CL}$ ) y sin laja ( $A_{SL}$ ).

$$A_{CL} = 1,48 A_{SL} \quad (2)$$

Gómez-Pina (2001) propone un modelo biparabólico de perfiles de playa en mares con marea basado en datos de campo del litoral español que permite la cuantificación de una serie de parámetros relacionados con el perfil de playa. También propone un modelo para el tratamiento de lajas mareales como caso particular del anterior, cuando el modelo biparabólico no llega a desarrollarse completamente, interseccionando con la laja, transformándose en monoparabólico. Las formulaciones y recomendaciones propuestas son de aplicación a las fachadas mareales de la costa española. Gómez-Pina, amplió la formulación de Muñoz-Pérez, introduciendo el parámetro de "altura de ola relativa" ( $H/F_L$ ), ó su término equivalente de "francobordo relativo" ( $F_L/H$ ), uno de los parámetros clásicos de mayor influencia sobre la transmisión del flujo de energía en los diques impermeables sumergidos (como son las lajas rocosas) en la forma siguiente:

$$A_L^{Medido} = A_{Dean} f \left( B_L/F_L, H/F_L \right) \quad (3)$$

Donde  $B_L$  es el ancho de laja (m),  $F_L$  es el francobordo (m) y  $H$  la altura de ola (m).

El perfil de equilibrio se extiende hasta una "profundidad límite" ("seaward limit") o "profundidad de cierre" (closure depth), más allá de la cual no existe transporte significativo de material, y que es la que determina el límite de validez del perfil.

Por tanto, como se ha expuesto, la existencia de la marea y de las lajas, condicionan la tipología del perfil y por consiguiente, los parámetros de diseño del perfil de equilibrio. Es por ello, que el objetivo de este artículo es la definición de las distintas tipologías de perfiles de playa en el litoral de la provincia de Cádiz, con la intención de que una vez identificada la tipología, se puedan asignar los parámetros de diseño para la aplicación en proyectos de regeneración de playas.

## 2 Área de estudio

El área de estudio comprende las playas del litoral de la provincia de Cádiz. La provincia limita al Norte con las provincias de Sevilla y Huelva, al Este con la provincia de Málaga, al Suroeste con el océano Atlántico, al Sureste con el mar Mediterráneo, y al Sur con el estrecho de Gibraltar y el territorio británico de Gibraltar (Fig. 1)

Las aguas costeras de Cádiz pueden considerarse como una región de transición debido a la confluencia del mar Mediterráneo y del Océano Atlántico. La situación entre dos mares le confiere unas características únicas. Sus costas poseen unas condiciones ambientales diferentes según nos encontremos en la vertiente atlántica o en la mediterránea (HIDTMA, 2013). Además, el Estrecho de Gibraltar se conforma como lugar de intercambio de aguas entre el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo dando lugar a unas condiciones oceanográficas muy singulares.

Se han analizado un total de 71 playas en el total de los 285 kilómetros de costa del litoral de la Provincia de Cádiz.

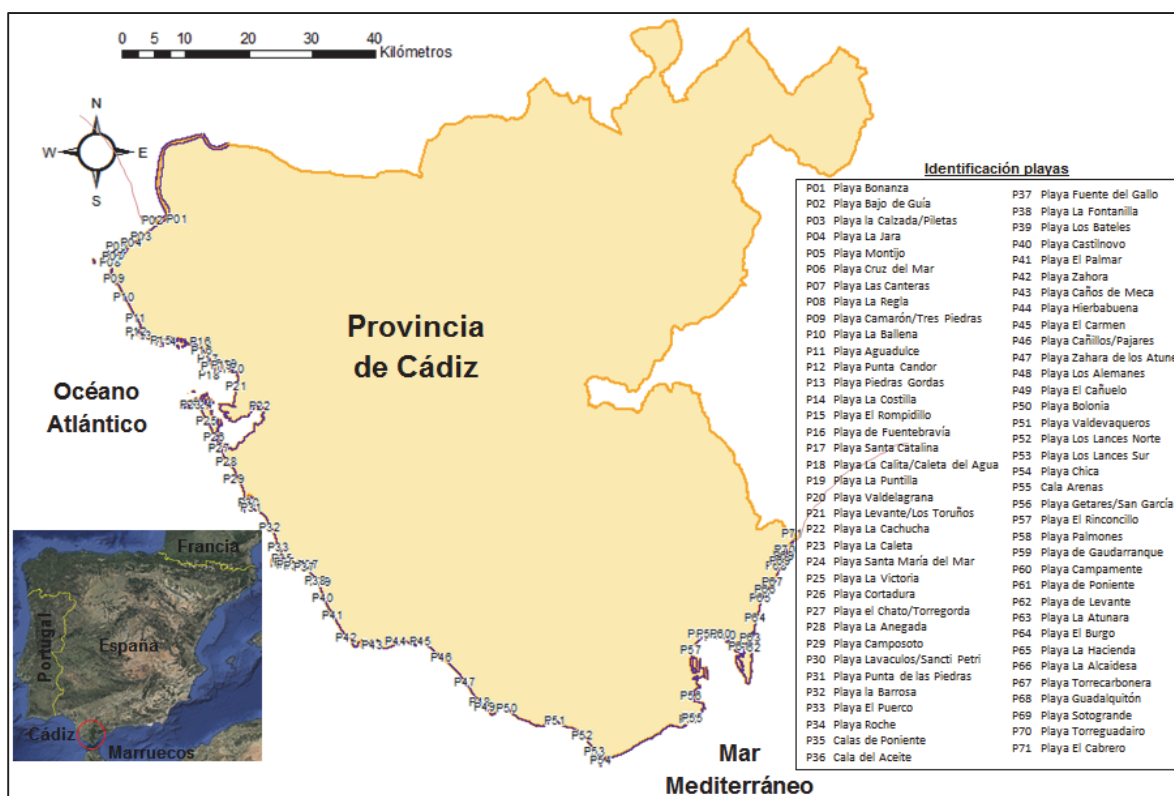


Fig. 1 Localización de la zona de estudio

### 3 Metodología

Inicialmente se ha efectuado una revisión del “estado del arte” de los principales aspectos relacionados con este estudio.

Para poder analizar las diferentes tipologías que definen el perfil de equilibrio en playas se ha realizado una recopilación de datos de campo para el posterior análisis, según se describe en el siguiente punto.

Una vez recopilados todos los datos, éstos se han ido integrando en una base de datos generada en MICROSOFT EXCEL 2010 (a excepción de los datos fotográficos), para posteriormente ser tratados y analizados.

Después de haber procesado cada uno de los perfiles de playas, se hace necesaria la agrupación de los perfiles por tipología similares, de manera que nos permita discretizar cada uno de los parámetros característicos del perfil, para su posterior aplicación en proyectos de regeneraciones de playas.

Para la definición de las distintas tipologías de perfiles de playa, se ha partido de la propuesta realizada por Gómez-Pina (2001), a las cuales les han sido añadidas dos nuevas tipologías.

Básicamente, los perfiles han sido separados en dos grandes tipologías que aparecen en las playas con marea: Perfiles del tipo bipolarabólico (PB) y perfiles de tipo monoparabólico (PM). En los PB están incluidos la mayor parte de perfiles en mares con marea, mientras que los PM están condicionados por la ausencia de marea o por algún tipo de restricción física en su parte sumergida (laja o fondo rocoso).

#### 3.1 Datos de Campo y base de datos

##### 3.1.1 Datos de Campo

Los datos de campo utilizados para la realización del presente trabajo constan de:

- Datos de la cartografía terrestre
- Datos batimétricos
- Datos de sedimentos
- Datos de morfología del terreno

- Datos de clima marítimo
- Datos fotográficos

Los datos de la cartografía, batimétricos, sedimentos, morfología y parte de los fotográficos se han obtenido del “Estudio Ecocartográfico de la Provincia de Cádiz” encargado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente a la UTE Ecoatlántico (HIDTMA, 2013).

### 3.1.2 Tratamiento de datos

Para el tratamiento de datos, se ha partido de la cartografía incluida en el GIS del estudio Ecocartográfico referenciado en el punto anterior. Los datos en formato GIS no nos permiten el análisis de los distintos parámetros que definen el perfil de equilibrio, por lo que se hace necesaria su transformación integrándolos en una base de datos.

Para comenzar, se han visualizado en ArcMap (GIS) las capas correspondientes a la topografía, batimetría, línea cero (referida al nivel medio del mar de Alicante), línea de localización de los perfiles transversales, así como la calidad de sedimentos. En la Fig. 2 se muestra un ejemplo de la visualización en GIS de la playa de Bolonia.

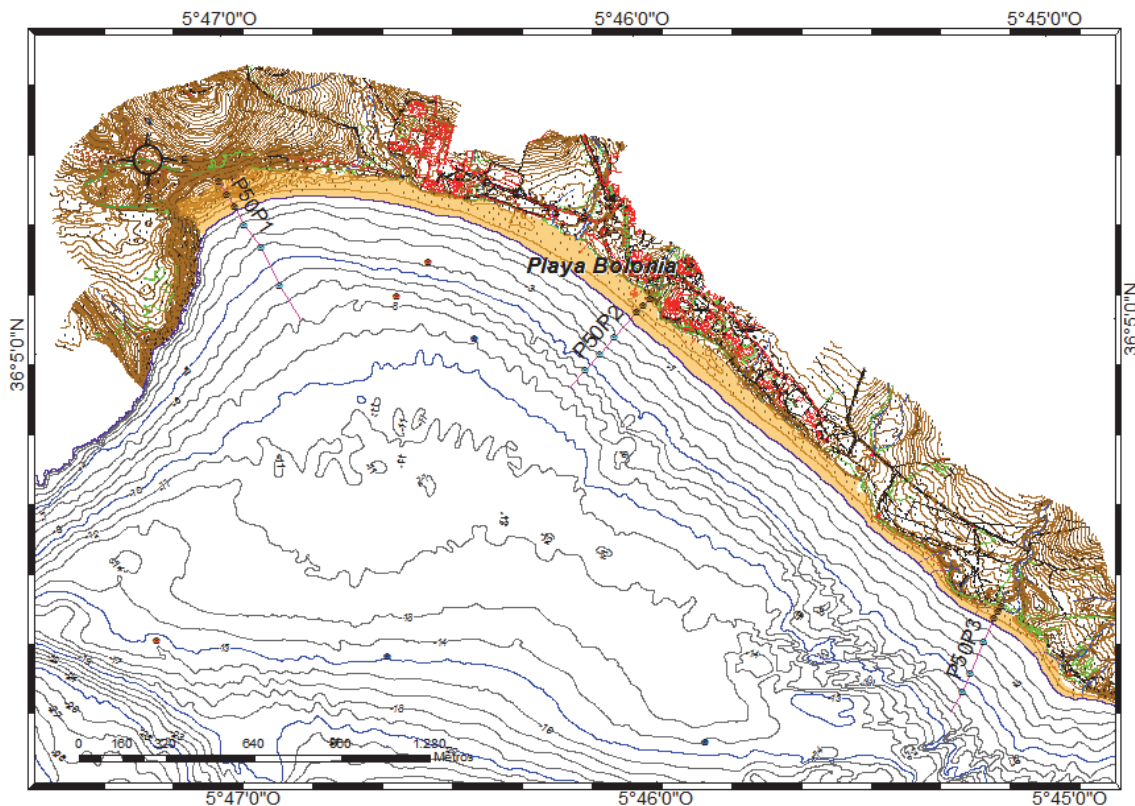


Fig. 2 Ejemplo de la topografía y batimetría, junto con la alineación de los perfiles transversales y la localización de las muestras de sedimentos integrada en Arcmap (GIS) de la Playa de Bolonia.

A través de la herramienta “Arctoolbox” de ArcMap se han exportado los datos de las capas de topografía, batimetría, línea cero y línea de localización de los perfiles transversales a un fichero CAD. Los datos de sedimentos, a través de las tablas de ArcMap, se han editado y trasladado a la base de datos que se expondrá en los apartados siguientes.

Los ficheros CAD han sido tratados mediante la aplicación ACAD Civil 3D de Autodesk. A partir de las curvas de nivel, se ha procedido a la creación de superficies en las que se han integrado las propias curvas de nivel.

Las líneas que localizan la situación de los perfiles transversales se han transformado en alineaciones, para posteriormente, determinar el perfil transversal tal y como se muestra en la Fig. 3. En dicha figura, se representa en el eje de abscisa la distancia en metros, de cada punto del perfil, con respecto al origen de la alineación (playa seca), mientras que en el eje de ordenadas se representa la cota del terreno con respecto al Nivel Medio de Mar de Alicante. Dichas cotas posteriormente (en la base de datos) se corregirán para referenciarlo al cero local de cada playa.

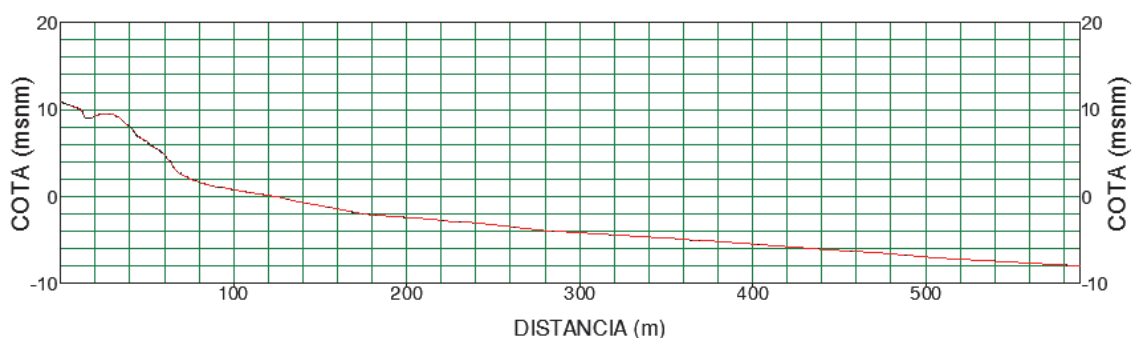


Fig. 3 Ejemplo del perfil transversal obtenido mediante el software ACAD Civil 3D de Autodesk de la Playa de Bolonia (perfil P50P1).

Una vez obtenido el perfil de la playa, se ha editado en CAD la geometría de dicho perfil, obteniendo los distintos puntos en coordenadas  $(x,y)$  que lo definen. Obtenido este listado de puntos, se han seleccionado y editados en la base de datos.

Destacar, que las capas de batimetría y topografía de ArcMap (GIS) tienen tal elevada densidad de datos que no nos ha permitido realizar el proceso anteriormente descrito de una sola vez, sino que ha tenido que ir haciéndose en pequeños tramos de playa, incluso recortando parte de la batimetría que por su elevada profundidad ya no eran de interés para el estudio del perfil de equilibrio.

Incluso haciéndolo de la forma descrita, el proceso de exportación de datos de ArcMap a CAD, la triangulación de las mallas en ACAD, así como la introducción de dichos datos en la base de datos, ha sido un proceso lento, que sumado al elevado número de playas a estudiar (71), así como por tanto, al elevado número de perfiles realizados (165), ha resultado un proceso bastante laborioso.

### 3.1.3 Base de datos

En la base de datos mencionada anteriormente, se ha comenzado con la importación de los datos de los perfiles transversales de playa (coordenadas “ $x$ ” y “ $h$ ”) procedentes de listado de salida del editor de geometría de ACAD Civil 3D.

A partir de los datos de perfil natural del terreno, seleccionando el número de perfil a través de una “macro” creada en Excel, obtenemos la representación gráfica del perfil de playa según la Fig. 4. Conocido el perfil transversal natural de playa y conjuntamente con la morfología del terreno, se procedió al modelado del perfil, en función de la tipología de perfiles propuesta.

Se fueron ajustando los distintos parámetros que definen el perfil hasta encontrar aquellos, que mejor se ajustaban al perfil de real de playa. El mejor ajuste se consiguió visualmente, observando las gráficas de salida del perfil transversal propuesto, y cuantitativamente, haciendo mínimo el error medio cuadrático entre el perfil real y el perfil propuesto.

En la Fig. 5, se observa visualmente el ajuste realizado para la playa de Bolonia (P50P1). En dicha figura se puede observar las diferentes partes del perfil.

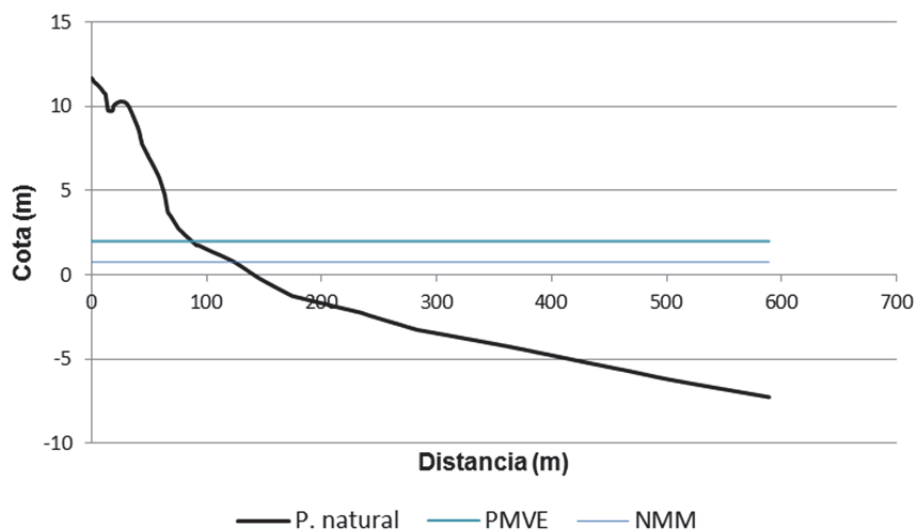


Fig. 4 Ejemplo de perfil transversal de Playa de Bolonia (P50P1)

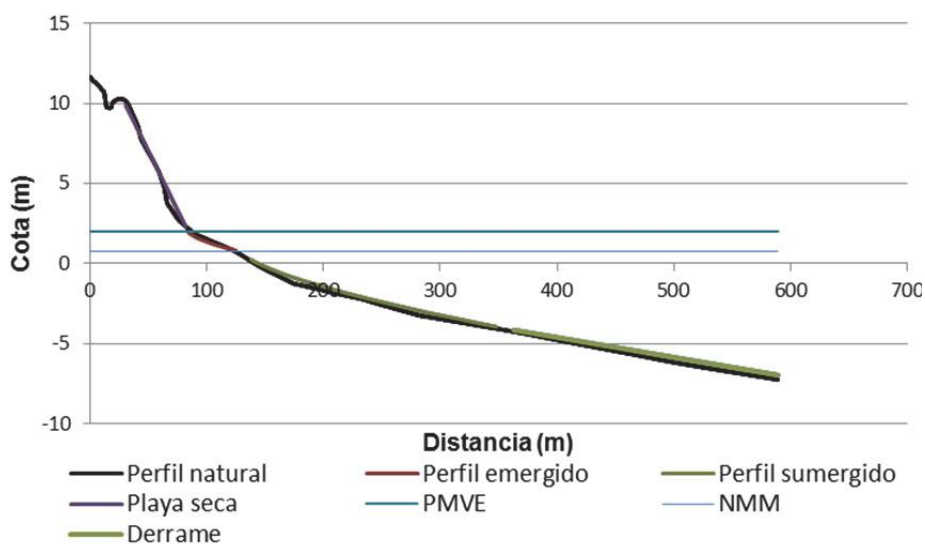


Fig. 5 Ejemplo del mejor ajuste de parámetros al perfil transversal de la Playa de Bolonia

Con todos los datos incluida en la tabla de base de datos y mediante la opción de “tablas y gráficos dinámicos” de Microsoft Excel 2010, se han ido extrayendo gráficos y tablas de relaciones entre parámetros.

Con respecto al análisis del clima marítimo se han utilizado los datos de la boya del golfo de Cádiz, los cuales fueron aportados por la División de Banco de Datos Oceanográficos del Organismo Público de Puertos de Estado.

Dichos datos fueron ordenados y clasificados en una nueva base de datos, en función de su análisis temporal. Para el análisis direccional del oleaje, se eliminaron aquellos registros en los que no se disponían de datos direccionales.

#### 4 Resultados y discusión

Con el fin de poder identificar cada uno de los perfiles de playa encontrados en todo el litoral de Cádiz, se propone una serie de tipologías de perfiles en mares con marea.

Las tipologías propuestas están basadas inicialmente en las que definió en su Tesis Doctoral Gómez-Pina (2001). Sobre el catálogo de 6 perfiles iniciales, se han añadido 2 tipologías nuevas que no aparecían anteriormente (Fig. 6). Destacar que de los 6 perfiles definidos por Gómez-Pina no se ha identificado ningún perfil con la tipología de perfil monoparabólico emergido con laja sumergida horizontal a la BMVE con marea (PME0LHM). Aun no habiéndose encontrado ningún perfil con dicha tipología se ha mantenido en el catálogo propuesto.



#### 4.1 Perfiles biparabólicos con marea (PBM)

El perfil biparabólico con marea se caracteriza fundamentalmente por estar formado por parábolas con un cambio de curvatura en la mayoría de los casos estudiados al nivel medio de mar (NMM), aunque este cambio puede llegar a producirse a una cota inferior hasta la BMVE.

Esto hace modificar la propuesta de tipología inicial de Gómez-Pina (2001), quien apuntaba que el cambio de curvatura entre la primera y segunda parábola se daba por debajo de la BMVE o en la misma BMVE, dependiendo del mayor o menor grado de exposición energética del perfil. En la fachada cantábrica, con un mayor grado de exposición energética el cambio de curvatura se produce en la mayoría de los casos por debajo de BMVE (Bernabéu, Medina, Vidal, & Muñoz-Perez, 2001), (Gómez-Pina, 2001).

Las dos partes del perfil (emergida y sumergida) están definidas por dos parábola “tipo Dean” ( $h=A x^{2/3}$ ), con centros respectivamente en la PMVE y en el NMM.

La disipación de energía en este tipo de perfiles se produce de forma gradual en las partes emergida y sumergida. El punto “c” (ver Fig. 6), definido por  $(X_c, h_c)$  depende en gran medida del grado de exposición energética del oleaje a pie de perfil. Comparativamente con la fachada cantábrica, a mayor energía del oleaje, mayor profundidad del punto “c”, mientras que en la fachada gaditana, menor energía del oleaje, mayor cota del punto “c”, que obliga como hemos comentado anteriormente, a que el punto de apoyo de la parábola sumergida se encuentre sobre el NMM.

A partir de la forma del perfil y de la existencia o no de zonas con lajas o rocosas, podemos subdividir la tipología de perfiles biparabólico con marea en: perfil biparabólico completo con marea (PBCM) y perfil biparabólico incompleto con marea (PBIM).

##### 4.1.1 Perfil biparabólico completo con marea (PBCM)

En esta tipología, todo el perfil sumergido se desarrolla hasta la profundidad de cierre  $h^*$  (ver Fig. 6). Los elementos que pudiesen alterar el comportamiento del perfil (lajas, zonas rocosas,...) se encuentran por debajo de  $h^*$ , por lo que no van a causar una disipación adicional apreciable de energía del oleaje. Son los perfiles “clásicos” de mares con marea.

Los parámetros característicos de este tipo de perfil son los siguientes (ver Fig. 6): Carrera de marea ( $M$ ), cambio de curvatura “c” ( $X_c, h_c$ ), altura de cierre ( $h^*$ ), parámetro de forma emergido ( $A_e$ ), parámetro de forma sumergido ( $A_s$ ), diámetro medio  $D_{50}$  emergido y sumergido ( $D_e, D_s$ ), distancia entre el origen de la parábola emergida y origen de la parábola sumergida ( $I_2$ ), y la pendiente de derrame ( $m_d$ ).

Dentro de los perfiles biparabólico completos, encontramos la variante “PBCAFHM” (Perfil Biparabólico Completo Apoyado en Fondo Horizontal con Marea), en el que parábola sumergida que termina en una superficie arenosa horizontal. Dicha tipología no estaba contemplado en la relación que definió Gómez-Pina (2001).

Como parámetro adicional a los mencionados para el PBCM, tenemos el ancho de fondo horizontal ( $B_H$ ).

##### 4.1.2 Perfil biparabólico incompleto con marea (PBIM)

Se da en los casos en los que el perfil sufre algún tipo de restricción física en su parte emergida o sumergida (normalmente fondo rocoso sobre el que se apoya el perfil).

Si la restricción física se sitúa en el pie de la parábola sumergida, que hace que no sea posible el desarrollo de está, hasta la profundidad de cierre, sino hasta una profundidad menor, nos encontramos las tipologías de: “Perfiles biparabólico incompleto apoyado en laja sumergida con marea” (PBIALM) y los “Perfiles biparabólico incompleto apoyado en fondo rocoso irregular con marea” (PBIARM)

Por el contrario, si la restricción la tenemos entre la parábola emergida y sumergida, nos encontramos con una nueva tipología (no definida inicialmente por Gómez-Pina) que hemos denominado como “perfil biparabólico incompleto apoyado en laja emergida sobre marea” (PBIALESM). Cuando termina la laja intermedia entre ambas parábolas, el perfil continúa hasta la profundidad de cierre ( $h^*$ ) con la forma de la parábola sumergida.

A continuación se describen los parámetros característicos de las tres tipologías de perfiles biparabólico incompletos en mares con marea.

### *Perfiles biparabólico incompleto apoyado en laja sumergida con marea (PBIALM)*

Como se ha comentado anteriormente, la restricción física donde se apoya la parábola sumergida presenta una forma geométrica clásica de laja sumergida, donde  $B_L$  se define como el ancho de laja,  $F_L$  como el francobordo (profundidad de la laja desde la PMVE) y  $m^*$  como la pendiente exterior, desarrollándose solamente hasta la profundidad  $h_L$  menor que la profundidad de cierre  $h^*$ . Esta circunstancia hace que el perfil reciba una altura de ola menor, comparativamente al que recibiría un perfil completo desarrollado hasta  $h^*$ , debido a la menor profundidad del pie de talud, como a la disipación de la energía del oleaje por la existencia de la laja.

Por tanto, el comportamiento de una laja sumergida es equivalente al de un dique sumergido, en cuanto a la disipación de la energía (Gómez-Pina, 1995).

La morfodinámica del perfil de playa viene condicionado por los tres parámetros característicos ( $B_L$ ,  $F_L$  y  $m^*$ ) de la siguiente forma:

- Ancho de laja  $B_L$ : Cuanto mayor sea el ancho de laja, mayor será la disipación de energía por iteración con el fondo, por lo que dará lugar a un aumento del parámetro de forma “A” a lo largo de todo el perfil.
- Francobordo  $F_L$ : Cuanto menor sea el francobordo mayor será la disipación de energía.

El parámetro adimensional  $B_L/F_L$  es un buen indicador de la disipación de energía y como consecuencia del cambio morfodinámico de la pendiente del perfil. A mayor relación del factor  $B_L/F_L$ , se producirá una disminución del flujo de energía y por consiguiente un aumento del parámetro de forma A, volviéndose el perfil más vertical.

- Pendiente exterior de la laja  $m^*$ : Este parámetro parece tener menos influencia que los anteriores en la disipación de la energía.

Los parámetros característicos de los perfiles biparabólico incompleto apoyado en laja sumergida con marea (PBIALM) son: Carrera de marea (M), cambio de curvatura “c” ( $X_c$ ,  $h_c$ ), profundidad de la laja ( $h_L$ ), parámetro de forma emergido ( $A_e$ ), parámetro de forma sumergido ( $A_s$ ), diámetro medio  $D_{50}$  emergido y sumergido ( $D_e$ ,  $D_s$ ), distancia entre el origen de la parábola emergida y origen de la parábola sumergida ( $I_2$ ), ancho de laja ( $B_L$ ) y francobordo ( $F_L$ ). Resaltar, que  $h_L$  (profundidad de la laja desde la BMVE) y  $F_L$  son parámetros dependientes ( $F_L=M+h_L$ ), siendo  $h_L < h^*$ .

### *Perfiles biparabólico incompleto apoyado en fondo rocoso irregular con marea (PBIARM)*

Esta tipología de perfiles es prácticamente similar al caso anterior (PBIALM), con la única diferencia de la forma irregular de apoyo de la parte sumergida del perfil, presentando por tanto una menor disipación de energía del oleaje que con él de la forma lajosa regular comentado anteriormente.

Los parámetros característicos serán por tanto los mismo que los mencionados en el punto anterior, a excepción de  $B_L$  y  $F_L$ , siendo el parámetro  $h^*_L$  el que marque la altura de ola que pueda llegar al perfil.

### *Perfil biparabólico incompleto apoyado en laja emergida sobre marea (PBIALESM)*

La tipología de perfil biparabólico incompleto apoyado en laja emergida sobre marea, es un caso muy particular de perfiles biparabólico, en los que podría llegar a asimilarse a perfiles monoparabólico (en la parábola emergida). Esta tipología se caracteriza por presentar una laja emergida que actúa como pie de la parábola emergida. Esta laja no tiene suficiente recorrido para alcanzar la altura de cierre  $h^*$  (si lo alcanzase se convertiría en un perfil monoparabólico), por lo que el perfil continúa hasta la profundidad de cierre con una parábola sumergida.

El ancho de laja  $B_L$  y el francobordo  $F_L$  son parámetros que van a condicionar el perfil emergido, condicionado a diferencia de los PBIALM, en que la profundidad de la laja se encuentre por encima de la BMVE, siendo el francobordo inferior a la marea, y por tanto, mayor la disipación de energía.

Los parámetros característicos son los mismos que para el caso de PBIALM, con la diferencia que la altura de laja está por encima de la BMVE, y como consecuencia ( $F_L=M-h_L$ ) y la existencia de la pendiente de derrame como lo perfiles biparabólico completos con marea.

En el análisis de los parámetros emergidos, se pueden considerar por su similitud, como perfiles monoparabólico (se describe en el siguiente punto).

## 4.2 Perfiles monoparabólico emergido con marea (PMEM)

Dependiendo que la laja quede por encima o por debajo de la BMVE, así como si la laja es horizontal o inclinada, podemos subdividir los perfiles monoparabólico emergidos en:

- Perfil monoparabólico emergidos con laja semisumergida con marea (PME+LM)
- Perfil monoparabólico emergido con laja sumergida a la BMVE con marea (PME0LM), que a su vez subdividimos en:
  - Perfil monoparabólico emergido con laja sumergida horizontal a la BMVE con mares (PME0LHM)
  - Perfil monoparabólico emergido a la BMVE con laja inclinada con marea (PME0LIM)

### 4.2.1 Perfil monoparabólico emergidos con laja semisumergida con marea (PME+LM)

El perfil emergido se encuentra restringido por una laja por encima de la BMVE, quedando por tanto parte de dicho perfil semisumergida y el resto emergida. Esto hace que nos encontremos con el tipo de perfil más corto en cuanto a su desarrollo, respondiendo su forma a una única parábola tipo Dean ( $h=A x^{2/3}$ ).

Los parámetros característicos de esta tipología son: Carrera de Marea (M), profundidad de la laja ( $h_L$ ), parámetro de forma emergido ( $A_L$ ), ancho de laja ( $B_L$ ) y francobordo ( $F_L$ ). El francobordo se adopta como  $F_L=M-h_L$ , estando  $h_L$  por encima de la BMVE.

A igualdad de ancho de laja, con respecto a otras tipologías de perfil monoparabólico, se produce mayor disipación de energía, con el consiguiente aumento del parámetro de forma  $A_L$ , obteniendo mayor pendiente del perfil.

### 4.2.2 Perfil monoparabólico emergido con laja sumergida horizontal a la BMVE con marea (PME0LHM)

Esta tipología de perfiles presenta solamente la parte emergida, la cual está restringida por una laja horizontal situada a la BMVE.

En estos perfiles  $h_L=0$ , y por tanto  $F_L=M$ , estando la altura de ola fijada por la  $h_L$  fundamentalmente, y en parte también por la pendiente exterior de la laja  $m^*$ .

En este tipo de perfiles, es de aplicación al igual que los casos anteriores de perfiles con laja, la relación entre el parámetro amortiguamiento de laja  $B_L/F_L$  y el parámetro  $A_L$ . Aumento del parámetro  $B_L/F_L$  originan perfiles monoparabólico de mayor pendiente ( $A_L$  mayor), a igualdad de flujo de energía del oleaje incidente.

Los parámetros característicos son por tanto: Marea (M), profundidad de la laja ( $h_L$ ), parámetro de forma emergido ( $A_L$ ), ancho de laja ( $B_L$ ), francobordo ( $F_L$ ) y pendiente de derrame de laja ( $m^*$ ).

### 4.2.3 Perfil monoparabólico emergido a la BMVE con laja inclinada con marea (PME0LIM)

Este perfil consta de un único tramo emergido que se encuentra restringido a la BMVE por una laja inclinada en dos tramos con profundidades  $h_{LI}$  y  $h_{Le}$ , con un ancho total medio de laja  $B_L$ , francobordo medio  $F_L$  y con una pendiente exterior  $m^*$ .

La única diferencia de este perfil con el anterior estriba en la determinación del ancho de laja y el francobordo, pudiéndose estimar un valor medio para el caso de laja inclinada de la siguiente forma:

$$B_L = B_{LI} + B_{Le} \quad (4)$$

$$\overline{h_L} = \frac{B_{LI} \cdot h_{LI} + B_{Le} \cdot h_{Le}}{B_{LI} + B_{Le}} \quad (5)$$

A igualdad de condiciones energéticas y de sedimento el perfil de laja inclinada disipará menos energía que el de laja completamente horizontal al tener, para igual  $B_L$  un mayor francobordo  $F_L$ .

Los parámetros característicos, con las modificaciones de ancho de laja medio y francobordo medio, son los mismo que la tipología de PME0LHM.

## 5 Conclusiones

El litoral de la provincia de Cádiz dispone de una amplia variedad de tipología de perfiles provocado por la existencia de zonas con lajas/rocas que interrumpe el desarrollo normal del perfil típico bipolarabólico en mares con marea. Es por tanto fundamental, identificar correctamente la tipología del tramos de playa a estudiar, para a partir de ahí, establecer los parámetros característicos que define el perfil de playa, con el objeto de su aplicación, en futuros proyectos de regeneraciones de playas.

Para poder analizar las distintas tipologías de perfiles de playa, es necesario, en el caso de que la batimetría se haya obtenido a través de la triangulación de puntos, disponer de la información morfológica y análisis de sedimentos de la playa sumergida, que permitan identificar las zonas con lajas.

Existen dos grandes tipologías de perfiles que aparecen en las playas con marea: Perfiles del tipo bipolarabólico (PB) y perfiles de tipo monoparabólico (PM). En los bipolarabólico (PB) están incluidos la mayor parte de perfiles en mares con marea, mientras que los monoparabólico (PM) están condicionados por algún tipo de restricción física en su parte sumergida (laja o fondo rocoso).

Los perfiles bipolarabólico con marea se caracterizan fundamentalmente por estar formados por dos líneas de tipo parabólico con un cambio de curvatura en la mayoría de los casos estudiados al nivel medio de mar (NMM), aunque este cambio puede llegar a producirse a una cota inferior hasta la BMVE. Las dos líneas de perfil (parte emergida y sumergida) están definidas por dos parábola “tipo Dean” ( $h=A x^{2/3}$ ), con centros respectivamente en la PMVE y en el NMM. A partir de la forma del perfil y de la existencia o no de zonas con lajas o rocosas, podemos subdividir la tipología de perfiles bipolarabólico con marea en: perfil bipolarabólico completo con marea (PBCM) y perfil bipolarabólico incompleto con marea (PBIM). Estos a su vez se clasifican en:

- Perfil bipolarabólico completo con marea (PBCM): Perfil bipolarabólico completo con marea (PBCM) y Perfil Biparabólico Completo Apoyado en Fondo Horizontal con Marea (PBCAFHM)
- Perfil bipolarabólico incompleto con marea (PBIM): Perfiles bipolarabólico incompleto apoyado en laja sumergida con marea (PBIALM)), Perfiles bipolarabólico incompleto apoyado en fondo rocoso irregular con marea (PBIARM) y Perfil bipolarabólico incompleto apoyado en laja emergida sobre marea (PBIALESM)

Los perfiles monoparabólico se dan en el caso de que una zona con laja o rocosa interrumpan el desarrollo del perfil, no permitiendo la existencia de la parábola sumergida. Dependiendo que esta laja o zona rocosa quede por encima o por debajo de la BMVE, así como si la laja es horizontal o inclinada, podemos subdividir los perfiles monoparabólico emergidos en:

- Perfil monoparabólico emergidos con laja semisumergida con marea (PME+LM)
- Perfil monoparabólico emergido con laja sumergida a la BMVE con marea (PME0LM), que a su vez subdividimos en: Perfil monoparabólico emergido con laja sumergida horizontal a la BMVE con mares (PME0LHM) y Perfil monoparabólico emergido a la BMVE con laja inclinada con marea (PME0LIM).

## 6 Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la Demarcación de Costas de Andalucía Atlántico su colaboración en la aportación de datos para la confección del presente artículo.

## 7 Referencias

- Bernabéu, A., Medina, R., Vidal, C., & Muñoz-Perez, J. J. (2001). Estudio morfológico del perfil de playa: modelo de perfil de equilibrio en dos tramos.
- Bernabeu-Tello, A., Muñoz-Perez, J., & Medina-Santamaria, R. (2002). Influence of a rocky platform in the profile morphology: Victoria Beach, Cadiz (Spain). *Ciencias Marinas*, 28(2), 181-192.
- Bruun, P. (1954). *Coast Stability. Volúmenes 1-7*. University of Minnesota.

- Bruun, P. (1981). Definición del perfil de equilibrio. *Coastal Geomorphology vs Post Engineering*.
- Dean, R. G. (1977). *Equilibrium Beach Profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coast*. Newark, DE, USA.
- Dean, R. G. (1983). Models of beach profile response. En P. Komar and J. Moore (Editors) (Ed.), (pp. 151-165.). CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion. CRC Press, Boca Raton,.
- Dean, R. G. (1991). Equilibrium Beach Profiles : Characteristics and Applications. *Journal of Coastal Research*, 7(1), 53-84. <http://doi.org/10.2307/4297805>
- Fenneman, N. M. (1902). Development of the Profile of Equilibrium of the Subaqueous Shore Terrace. *The Journal of Geology*, 10(1), 1-32.
- Gómez-Pina, G. (1995). *Análisis de perfiles de playa en las fachadas Cantábricas y Atlántica de la costa Española y su aplicación a proyectos de regeneración. Tesina de Magister Ingeniería del Litoral. Universidad de Cantabria.*
- Gómez-Pina, G. (2001). *Modelo biparabólico de cuantificación de perfiles de playa en mares con marea basado en datos de campo del litoral español. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.*
- González, E. M. (1995). *Morfología de playas en equilibrio, planta y perfil. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria.*
- Hidtna S.L. (2013). UTE Ecoatlántico. Estudio ecocartográfico del litoral de la provincia de Cádiz. Referencia 28-4983.
- Inman, D. L., Elwany, M., & Jenkin, S. (1993). Shorerise and Bar-berm Profiles on Ocean Beaches. *Journal of Geophysical Research*, 98(C10), 18181-18199.
- Johnson, D. W. (1919). *Shore Processes and Shoreline Development*. Columbia Univ. Press, New York (Hafner Facsimile ed., 1952.).
- Kriebel, D. L., Kraus, N. C., & Larson, M. (1991). Engineering Methods for Predicting Beach Profile Response. *Proc. Coastal sediments '91 ASCE*, 557-571.
- Larson, M. (1991). Equilibrium Profile of a Beach with varying Grain Size. *Proc. Coastal sediments '91 ASCE*, 905-919.
- Larson, M., & Kraus, N. C. (1989). *SBEACH: Numerical Model to Simulate Storm-Induced Beach Change*.
- Masselink, G., & Short, A. D. (1993). The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9,3, 785-800.
- Moore, B. (1982). *Beach Profile Evolution in Response to Changes in Water Level and Wave Height*. University of Delaware.
- Muñoz-Pérez, J. J. (1996). *Análisis de la morfología y variedad de playas apoyadas en lajas rocosas. Tesis doctoral. Universidad de Cádiz.*
- Muñoz-Pérez, J. J., Tejedor, L., & Medina, R. (1999). Equilibrium beach profile model for reef-protected beach. *Journal of Coastal Research*.
- Muñoz-Pérez, J., & Medina, R. (2005). Short-term variability on reef protected beach profiles: An analysis using EOF. *Coastal Dynamics 2005: State of the practice ASCE ISBN: 978-0-7844-0855-1*.
- Pilkey, O., Young, S. R., Riggs, S. R., Smith, W. S., & Wu y W. D. (1993). The Concept os Shore Face Profile of Equilibrium: A Critical Review. *Journal of Coastal Research*, 9(1).
- Schwartz, M. L. (1982). *The Encyclopaedia of Beach and Coastal Environments*. Stroudsburg: Hutchinson.