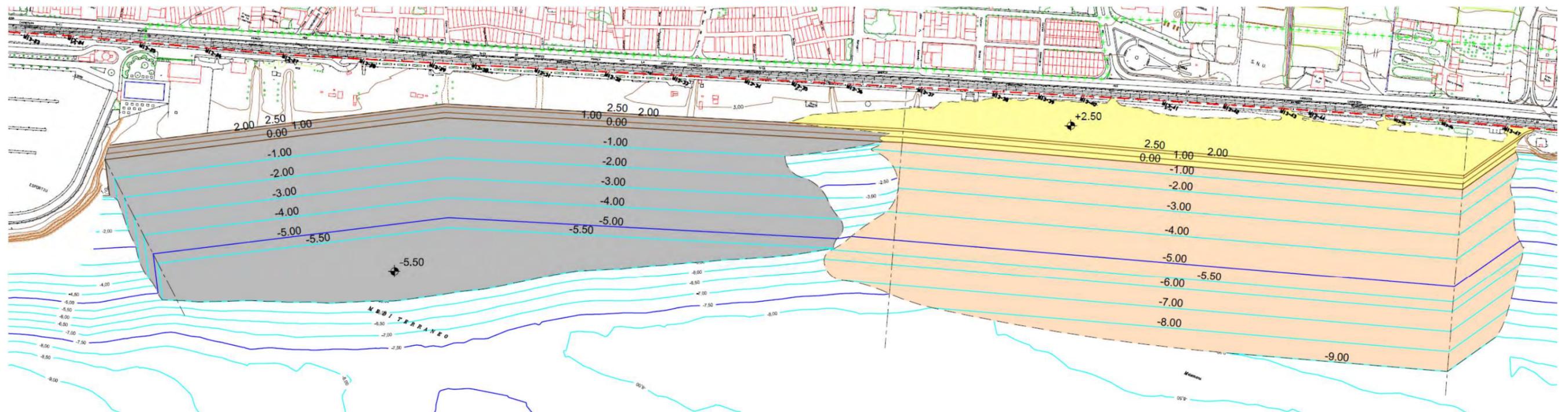




PROYECTO DE RETROALIMENTACIÓN DE LAS PLAYAS DE EL MASNOU A LEVANTE DE SU PUERTO; T.M. DE EL MASNOU (BARCELONA)



**TOMO I. DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA Y ANEJOS; DOCUMENTO Nº 2: PLANOS;
DOCUMENTO Nº 3: PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES Y DOCUMENTO Nº 4: PRESUPUESTO**

Director del Proyecto

Autor del Proyecto

Empresa Consultora

ENERO DE 2018

ANA M. CASTAÑEDA FRAILE

F. JAVIER ESCARTÍN GARCÍA

Dra. Ing. de Caminos, Canales y Puertos
Jefa del Servicio de Proyectos y Obras
Demarcación de Costas en Cataluña

Ing. de Caminos, Canales y Puertos
Colegiado nº 11.275



ÍNDICE DEL PROYECTO

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA Y ANEJOS

MEMORIA

ANEJOS

- Anejo n° 1. Caracterización de las zonas de vertido y extracción: topografía, batimetría, sedimentos y medioambiente
- Anejo n° 2. Estudio de Clima Marítimo
- Anejo n° 3. Estudio de propagación del oleaje y corrientes
- Anejo n° 4. Estudio de Dinámica Litoral
- Anejo n° 5. Reportaje fotográfico
- Anejo n° 6. Estudio de disponibilidad de materiales
- Anejo n° 7. Estudio de alternativas
- Anejo n° 8. Dimensionamiento de las obras
- Anejo n° 9. Justificación de Precios
- Anejo n° 10. Estudio de Seguridad y Salud
- Anejo n° 11. Programa de trabajos y procedimientos constructivos
- Anejo n° 12. Estudio de Gestión de Residuos

DOCUMENTO N° 2: PLANOS

- 1. Situación y emplazamiento
- 2. Estado actual. Topografía y batimetría
- 3. Planta general
- 4. Planta de replanteo
- 5. Afecciones, demoliciones y accesos provisionales
- 6. Retirada de arena
 - 6.1. Planta general y de ubicación de las secciones tipo
 - 6.2. Sección tipo
 - 6.3. Planta de ubicación de los perfiles
 - 6.4. Perfiles de medición

7. Vertido de arena

- 7.1. Planta general y de ubicación de las secciones tipo
- 7.2. Secciones tipo
- 7.3. Planta de ubicación de los perfiles
- 7.4. Perfiles de medición

DOCUMENTO N° 3: PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES

DOCUMENTO N° 4: PRESUPUESTO

Mediciones

Mediciones auxiliares

Cuadro de Precios n° 1

Cuadro de Precios n° 2

Presupuestos Parciales

Presupuesto Total

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA Y ANEJOS

MEMORIA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	1
2. OBJETO DEL PROYECTO	2
3. NIVEL DE REFERENCIA	2
4. SITUACIÓN ACTUAL.....	2
5. PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES.....	4
6. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS	4
6.1 DRAGADO Y POSTERIOR VERTIDO DE ARENA MARINA PARA REGENERACIÓN DE LAS PLAYAS4	
6.2 OBRAS AUXILIARES: ADECUACIÓN DE ACCESOS	5
7. OCUPACIÓN DE DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO TERRESTRE	5
8. EXPROPIACIONES, DISPONIBILIDAD DE LOS TERRENOS, AFECCIONES E INDEMNIZACIONES	5
9. OBRA COMPLETA	6
10. DECLARACIÓN DE CUMPLIMIENTO DE LA LEY DE COSTAS.....	6
11. SEGURIDAD Y SALUD	6
12. GESTIÓN DE RESIDUOS	6
13. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES.....	6
14. PLAZO DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS	7
15. REVISIÓN DE PRECIOS.....	7
16. CLASIFICACIÓN DEL CONTRATISTA	8
16.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONTRATO	8
16.2 CLASIFICACIONES EXIGIBLES.....	8

17. PRESUPUESTO DE LA OBRA	8
17.1 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM).....	8
17.2 PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (PBL)	8
18. DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL PROYECTO	8

Índice de figuras

Figura 1.- Ubicación de los tramos de litoral con mayores problemas erosivos (Fuente: elaboración propia).....	1
Figura 2.- Propuestas de actuación en el tramo entre los puertos de El Masnou y Premià sugeridas en el informe del CEDEX. (Fuente: CEDEX).....	1
Figura 3.- Sección tipo transversal de las alimentaciones propuestas en el informe del CEDEX. (Fuente: CEDEX).....	2
Figura 4.- Alcance de los trabajos de campo, que incluye la zona de extracción de la arena, marcada por un rectángulo de color rojo (Fuente: elaboración propio / Tecnoambiente) 2	
Figura 5.- Topografía y batimetría de la zona de actuación (Fuente: elaboración propio / Tecnoambiente).....	3
Figura 6.- Batimetría de la zona de extracción de la arena (Fuente: elaboración propio / Tecnoambiente	3
Figura 7.- Caracterización geomorfológica de los fondos (Fuente: elaboración propio / Tecnoambiente).....	3
Figura 8.- Plano de isopacas de los sedimentos superficiales susceptibles de ser empleados como arena de préstamo (Fuente: elaboración propia / Tecnoambiente)	3
Figura 9.- Ubicación de las muestras de sedimento (Fuente: elaboración propia / Tecnoambiente)..	4
Figura 10.- Planta de las obras (Fuente: elaboración propia).....	4
Figura 11.- Sección tipo de la aportación de arena correspondiente al perfil de equilibrio (Fuente: elaboración propia)	4
Figura 12.- Diferencias entre el perfil de playa tras la regeneración y el de equilibrio al cual tenderá la playa a corto/medio plazo (Fuente: elaboración propia)	5

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Históricamente el litoral de la comarca del Maresme, situada al norte de Barcelona, entre la desembocadura del río Tordera y el municipio de Montgat consistía en una playa continua con una considerable anchura. No obstante la construcción de la línea de ferrocarril costera en el siglo XIX y especialmente a partir de la década 40 del siglo XX de los diversos puertos que jalonan este tramo costero (de norte a sur, Arenys, El Balia, Mataró, Premià y El Masnou) junto con la pérdida de eficacia de las fuentes que suministraban arena a la playa (el río Tordera y los numerosos torrentes existentes en esta zona) como consecuencia de la urbanización de sus cauces provocaron el inicio de un proceso erosivo. Desde hace más de 40 años se han venido realizando actuaciones en este tramo costero con el objeto de frenar dicho proceso erosivo, entre las cuales cabe destacar la construcción de espigones en la década de los 70 en el tramo a poniente del puerto de Arenys, la regeneración de playas con aportaciones masivas de sedimento de origen marino a partir en los años 80 y 90 –especialmente en las playas de El Masnou, Premià y el tramo entre los puertos de Arenys y El Balis-. En los últimos años las actuaciones han sido más concentradas en aquellos tramos en peor estado.

En la actualidad el estado del litoral del Maresme sigue siendo preocupante ya que existen muchos tramos en los que la playa seca ha desaparecido y la línea de costa ha pasado a ser la escollera longitudinal que protege la línea de ferrocarril. En la Figura 1.- se muestran las zonas en las que el estado erosivo es más intenso.



Figura 1.- Ubicación de los tramos de litoral con mayores problemas erosivos (Fuente: elaboración propia)

Por todo ello y con objeto de disponer de una estrategia de todo el sector la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (DGSCyM) encargó al Centro de Puertos y Costas (CEPYC) del CEDEX) el estudio "Estrategia de actuación en el Maresme (Informe final)", con clave CEDEX: 22-410-5-001. En dicho informe, tras analizar el estado actual de todo el tramo litoral de la comarca del Maresme y diagnosticar los principales problemas, se plantearon una serie de actuaciones, incluyendo una priorización. En particular en el tramo entre los puertos de El Masnou y Premià proponía la

sectorización en cinco celdas, para lo que eran necesarias las siguientes actuaciones, que se reflejan en la Figura 2.- .

- Actuación 1. Recrecimiento del espigón que separa las playas de L'Ós y La Descàrrega y vertido de 350.000 m³ de arena en las playas de L'Ós y de Bellamar. Esta actuación presentaba 2 alternativas: i) construyendo un espigón exento entre las playas de Bellamar y de L'Ós y ii) sin incluir dicho espigón exento.
- Actuación 2. Recrecimiento del espigón que separa las playas de La Descàrrega y de Ponent y vertido de 134.000 m³ de arena en la playa de La Descàrrega.
- Actuación 3. Construcción de un nuevo espigón con forma de L a poniente de la playa de Ponent de Premià (situado a unos 800 m del actualmente existente y cuyo recrecido se plantea en la actuación 2) y vertido de 460.000 m³ de arena en la playa de La Descàrrega.
- Actuación 4. Construcción de un nuevo espigón con forma de L a levante de la playa de Ocata de El Masnou (situado a unos 890 m a poniente del nuevo espigón que se plantea en la actuación 3) y vertido de 500.000 m³ de arena entre ambos espigones.
- Actuación 5. Retroalimentación de arena apoyada en el dique del puerto de El Masnou, dejando una anchura de playa seca en el entorno de 60 m y vertiendo el material sobrante en la mitad oriental de dicha celda (que finaliza 1.200 m a levante del dique del puerto de El Masnou) y el resto de material en la celda situada inmediatamente a levante (la de la actuación 4).
- Actuación 6. Construcción de un espolón adosado al dique del Puerto de El Masnou que controle el nivel de avance de la playa apoyada en él.



Figura 2.- Propuestas de actuación en el tramo entre los puertos de El Masnou y Premià sugeridas en el informe del CEDEX. (Fuente: CEDEX)

En dicho informe se comenta que la idea final es mantener una playa con una cierta estabilidad de una anchura de playa seca en torno a 60 m (ver Figura 3.-) y que será necesario prever un mantenimiento mediante la gestión de la arena para intentar que las zonas con anchuras inferiores a 30 m no existan. Por tanto debe procurarse una retroalimentación dentro de cada celda y, en su caso, dentro del subsector entre ambos puertos.

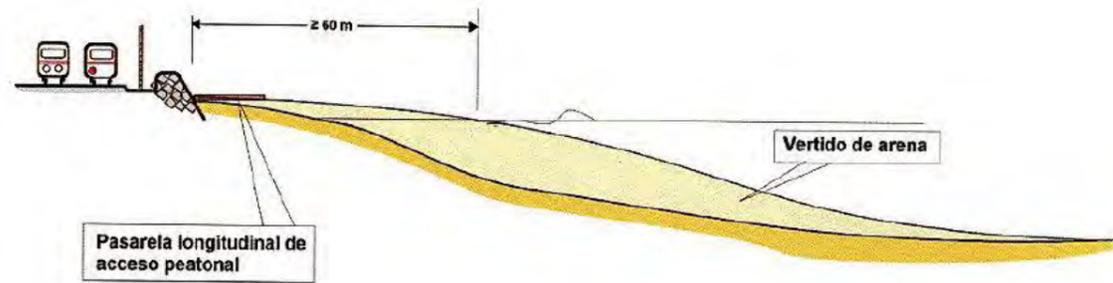


Figura 3.- Sección tipo transversal de las alimentaciones propuestas en el informe del CEDEX. (Fuente: CEDEX)

Dicho documento ha pasado a formar parte de la línea programática de las actuaciones de la DGSCM y de hecho inició el procedimiento para la licitación de la Asistencia Técnica para la redacción del "Proyecto de actuaciones en el Maresme; T.M.M. de El Masnou – Premià de Mar (Barcelona)" que debía desarrollar las actuaciones número 1, 5 y 6 y que fue adjudicada a la empresa MARCIGLOB Consultancy Solutions, S.L. (en adelante MARCIGLOB).

De acuerdo al Pliego de Bases de dicha Asistencia Técnica, los nombres de dichas actuaciones son los siguientes:

- Actuación 1. Estabilización de las playas de Premià de Mar a poniente de su puerto (que coincide con la actuación 1 del informe del CEDEX).
- Actuación 2. Retroalimentación de las playas de El Masnou a levante de su puerto (que coincide con la actuación 5 del informe del CEDEX).
- Actuación 3. Construcción de un dique de apoyo en la playa de Ocata de El Masnou (que coincide con la actuación 6 del informe del CEDEX).

Cada una de estas actuaciones será desarrollada en un proyecto constructivo independiente, siendo el presente el que desarrolla la actuación nº 2: "Proyecto de Retroalimentación de las playas de El Masnou a levante de su puerto; T.M. de El Masnou (Barcelona)".

2. OBJETO DEL PROYECTO

El presente Proyecto Constructivo tiene por objeto la definición de las características de las obras propuestas para solucionar la problemática existente en la playa de Ocata (T.M. de El Masnou), su descripción y justificación de las obras, la extensión de la zona de Dominio Público Marítimo Terrestre a

ocupar, así como el Estudio de Dinámica Litoral, la inclusión de los criterios básicos del proyecto, el dimensionamiento de las obras, el programa de ejecución de los trabajos y procedimiento constructivo, la información fotográfica y gráfica necesaria, además de los Estudios de Gestión de Residuos, Estudio de Seguridad y Salud, Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y el Presupuesto completo de las obras.

Como documento independiente pero ligado al proyecto se ha desarrollado el correspondiente Estudio de Impacto Ambiental, con el contenido especificado en la Ley 21/2013.

3. NIVEL DE REFERENCIA

Las coordenadas (x, y) del levantamiento topográfico y batimétrico empleado en este proyecto están referidos a la proyección UTM, sistema de coordenadas ETRS89 zona 31N y las cotas o niveles están referidas al Nivel Medio del Mar del Mar en Alicante (NMMA) o Cero de Alicante (CA), que coincide con el cero de referencia del IGN (Instituto Geográfico Nacional) para efectuar los levantamientos topográficos en península.

4. SITUACIÓN ACTUAL

La situación actual de la zona de obras es la obtenida a partir de los levantamientos topográfico, batimétrico y geofísico realizados ex profeso para este proyecto (ver Anejo nº 1) y de las fotografías tomadas durante las visitas efectuadas (ver Anejo nº 5). El alcance de dichos trabajos de campo incluye toda la playa (seca y sumergida) entre los puertos de Premià de Mar y de El Masnou, así como la zona de extracción de la arena marina se muestra en la Figura 4.-



Figura 4.- Alcance de los trabajos de campo, que incluye la zona de extracción de la arena, marcada por un rectángulo de color rojo (Fuente: elaboración propio / Tecnoambiente)

En la Figura 5.- y Figura 6.- se presenta el resultado de los levantamientos topográfico y batimétrico en la zona de actuación y en la zona de extracción.

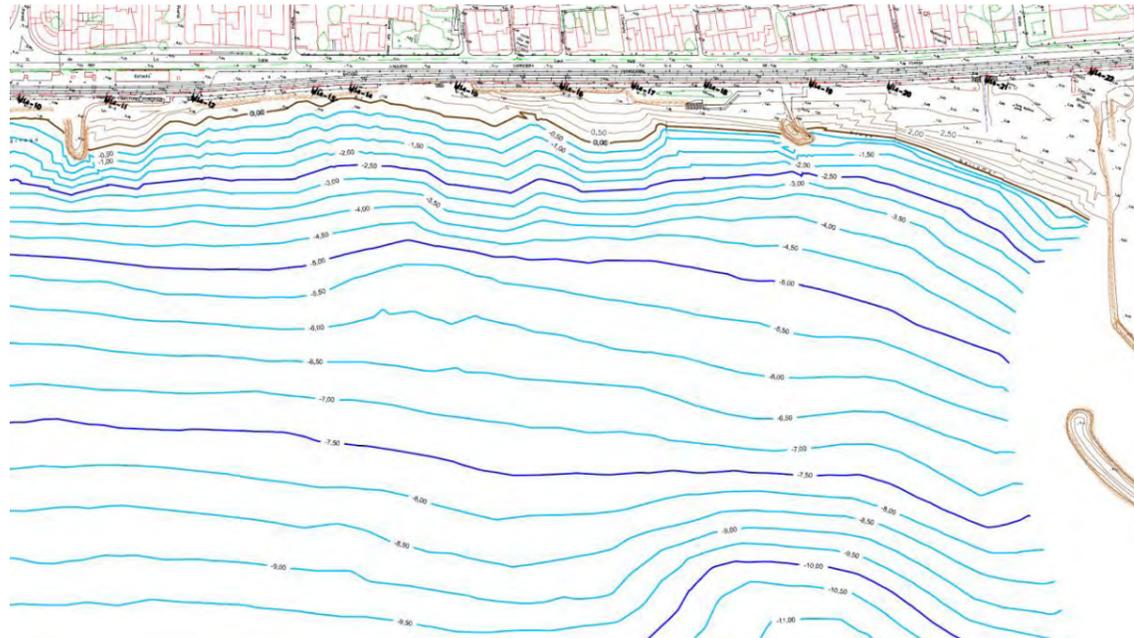


Figura 5.- Topografía y batimetría de la zona de actuación (Fuente: elaboración propio / Tecnoambiente)

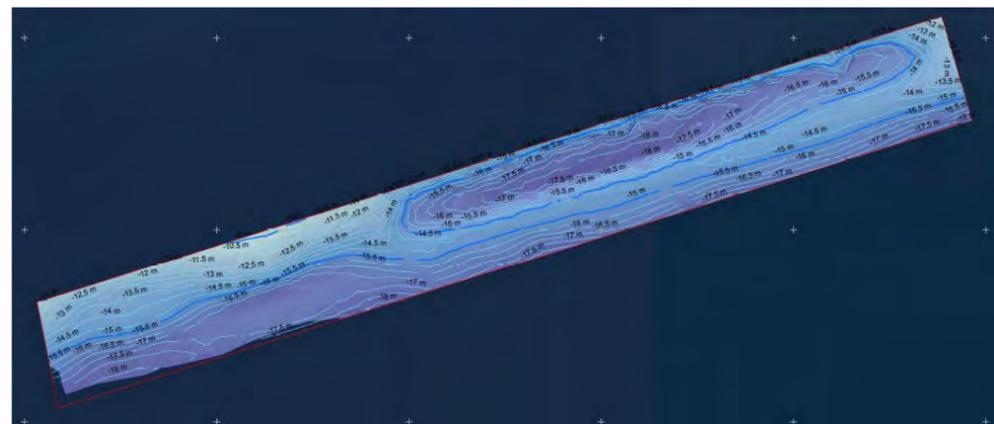


Figura 6.- Batimetría de la zona de extracción de la arena (Fuente: elaboración propio / Tecnoambiente)

En la Figura 7.- se muestra el resultado del levantamiento geofísico realizado con Sónar de Barrido Lateral (SBL) en el que puede apreciarse la presencia mayoritaria de arenas finas y de arenas con ripples. También existen unas pequeñas manchas dispersas de *Cymocodoea Nodosa*.

En la Figura 8.- se muestra el resultado del levantamiento geofísico realizado con Perfilador, que permite determinar el espesor de sedimentos superficiales susceptibles de ser empleados como arena de préstamo en forma de isopacas (curvas de igual espesor de sedimento).



Figura 7.- Caracterización geomorfológica de los fondos (Fuente: elaboración propio / Tecnoambiente)

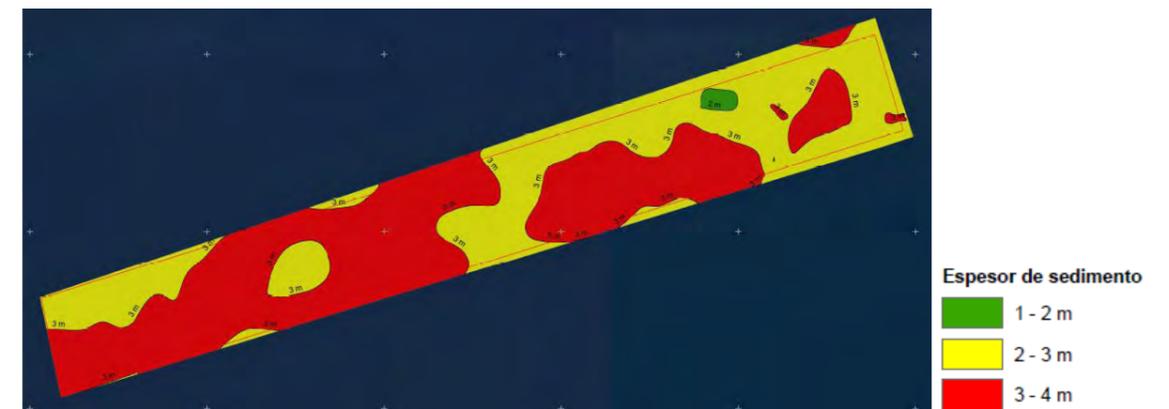


Figura 8.- Plano de isopacas de los sedimentos superficiales susceptibles de ser empleados como arena de préstamo (Fuente: elaboración propia / Tecnoambiente)

Finalmente se efectuó una campaña de toma de sedimentos del fondo que permitió realizar la caracterización granulométrica (ver Figura 9.-).



Figura 9.- Ubicación de las muestras de sedimento (Fuente: elaboración propia / Tecnoambiente)

La muestra mezcla obtenida de las muestras ubicadas en la zona de aportación, correspondiente a los perfiles 3º y 4º comenzando por el extremo occidental (muestras MG3, MG4, MG12, MG13, MG21, MG22, MG30 y MG31), tiene un tamaño medio $D_{50} = 0,478$ mm.

5. PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES

En el Anejo nº 6 se analiza las características granulométricas del sedimento en la zona propuesta inicialmente para la extracción de arena, correspondiente a los 2 perfiles más occidentales (muestras MG1, MG2, MG10, MG11, MG19, MG20, MG28 y MG29). En esta zona el tamaño medio de la arena es $D_{50} = 0,675$ mm.

Por lo que respecta a la escollera necesaria para la construcción del espigón procederá de alguna de las canteras autorizadas que existen en el entorno de la obra (ver Anejo nº 6).

6. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

Los elementos más significativos de la actuación propuesta son:

- Dragado del extremo occidental de la playa de Ocata y vertido en su extremo oriental.
- Obras auxiliares que permitan el acceso de la maquinaria terrestre a la playa.

La Figura 10.- y el plano nº 3 del Documento nº 2 muestran la planta general de las obras.

La descripción de las obras se presenta en los siguientes apartados.

6.1 DRAGADO Y POSTERIOR VERTIDO DE ARENA MARINA PARA REGENERACIÓN DE LAS PLAYAS

La mitad oriental de la playa de Ocata será regenerada mediante arena de origen marino con un tamaño medio equivalente $D_{50} = 0,675$ mm, obtenida mediante una draga con cortador en la mitad oriental de dicha playa. La planta del dragado y aportación se muestra en la Figura 10.-

La orientación de la mitad oriental de la zona de dragado se ha tomado igual a 63° N ya que es la perpendicular al flujo medio del oleaje en esa zona que resulta ser 153° N (tal como se puede comprobar en el Anejo nº 4. Estudio de Dinámica Litoral) y en esa zona el transporte de arenas se reduce drásticamente como consecuencia de la presencia del dique del puerto, por lo que la playa tiende a ponerse perpendicular a dicho flujo medio. En la mitad occidental de la zona de dragado se ha tomado como orientación el valor 73° N, sensiblemente paralela al límite interior de la playa (escollera y línea de ferrocarril). La posición de la futura línea $+0,0$ m CA ha sido determinada de manera que en los puntos críticos se mantenga la anchura mínima de 60 m.

En el caso de la zona de vertido, la futura línea $+0,0$ m CA también ha sido determinada de manera que en los puntos críticos se mantenga la anchura mínima de 60 m.

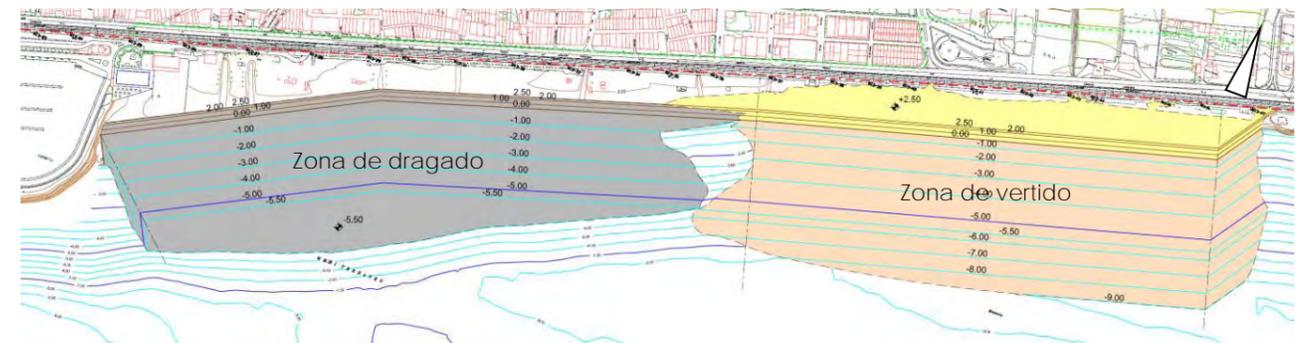


Figura 10.- Planta de las obras (Fuente: elaboración propia)

La sección tipo de la aportación de arena ha sido obtenida a partir del perfil teórico de equilibrio con estrán lineal coronado a la cota $+2,50$, tal como se explica en el Anejo nº 8 y se muestra en la Figura 11.-

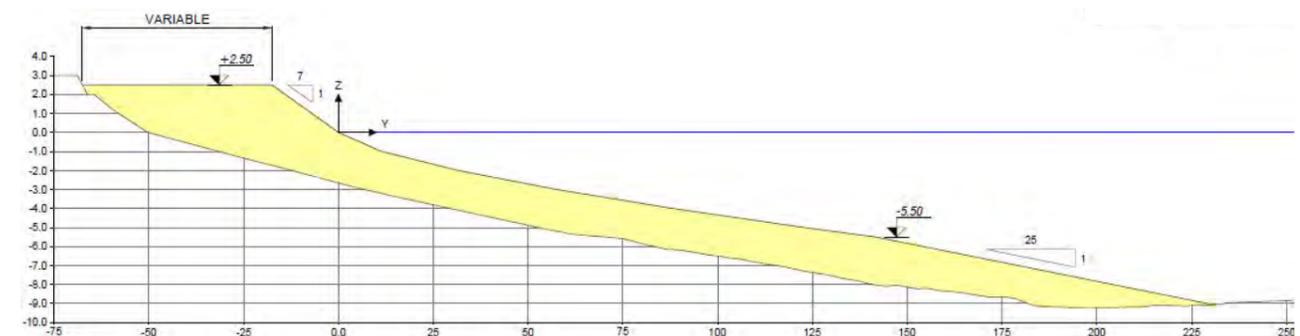


Figura 11.- Sección tipo de la aportación de arena correspondiente al perfil de equilibrio (Fuente: elaboración propia)

Debe remarcar que, por lo tanto, esta sección tipo es teórica, pues corresponde a una situación futura de equilibrio, y ha sido empleada fundamentalmente para determinar el volumen de arena realmente necesario para crear una playa de las características de diseño (en cuanto a la posición de la futura nueva línea de orilla +0,0 y el tipo de arena a emplear para su formación). Por consiguiente, tras el vertido y posterior extensión de la arena el perfil de la playa tendrá una mayor pendiente que la dibujada en los planos lo que significará una mayor superficie seca inicial, a corto plazo y por tanto una línea +0 avanzada respecto a la dibujada en los planos. Pero con el paso del tiempo y la acción del oleaje el perfil de playa tenderá a adoptar la forma del perfil de equilibrio de la Figura 11.-, y por lo tanto a incrementar su pendiente, de manera que parte de la arena de la playa seca será transportada hasta zonas más profundas y la línea +0 irá retrocediendo hacia su posición de equilibrio mostrada en los planos. Eso se explica de un modo esquemático en la Figura 12.-

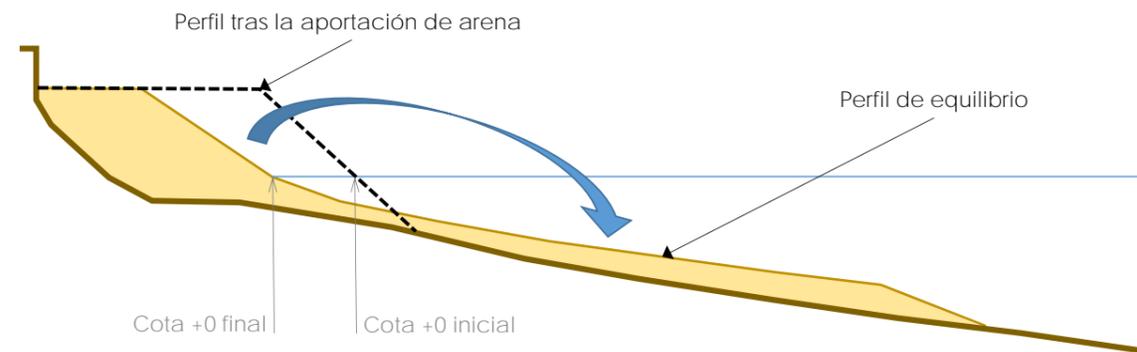


Figura 12.- Diferencias entre el perfil de playa tras la regeneración y el de equilibrio al cual tenderá la playa a corto/medio plazo (Fuente: elaboración propia)

Por lo que respecta al perfil de excavación, consiste en dos pendientes (una con valor 1V:7H en la parte emergida por encima de la cota +0 y otra con valor 1V:25H por debajo de la cota +0) hasta alcanzar la profundidad -5,50 m CA a partir de la cual es dragado se mantiene horizontal a dicha cota. Dichas pendientes son aproximadamente las pendientes medias de la playa en el tramo donde se va a efectuar el dragado, de manera que la actuación consistiría en el desplazamiento hacia atrás del actual perfil de playa.

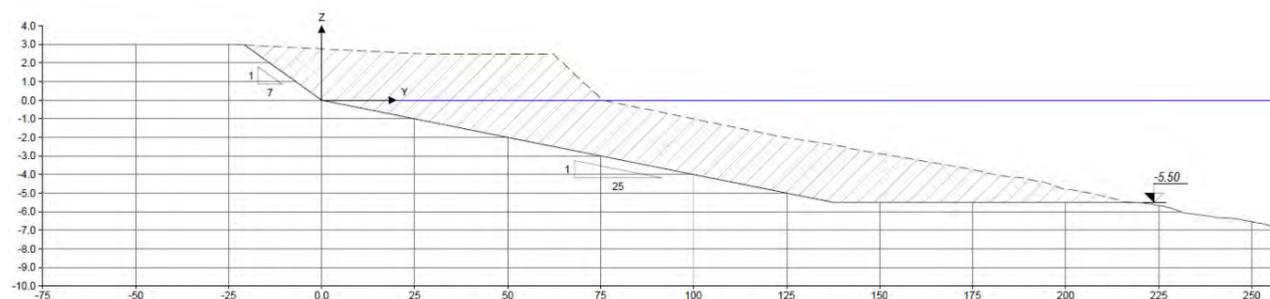


Figura 13.- Sección tipo del dragado de arena (Fuente: elaboración propia)

El volumen total de dragado y posterior vertido se ha obtenido a partir de las cubicaciones mediante dicho perfil de (que se muestran en los planos nº 6 del Documento nº 2) y resulta ser de 391.258 m³.

Como se ha dicho, la arena será obtenida mediante una draga de succión, que bombeará la arena a través de una tubería. Finalmente se procederá a la extensión de la playa mediante una pala. En el Anejo nº 11. Programa de trabajos y procedimientos constructivos se han estudiado diferentes métodos constructivos (dragado terrestre, con draga de succión estacionaria, con draga de succión en marcha y con draga cortador) concluyéndose que esta última opción era la más adecuada.

6.2 OBRAS AUXILIARES: ADECUACIÓN DE ACCESOS

El acceso de la maquinaria terrestre a la playa (pilas cargadoras o buldóceres y tractores) se efectuará desde el actual vial de acceso al puerto del Masnou. En principio no se prevé la necesidad de adecuación de accesos. No obstante a nivel presupuestario se ha incluido una partida para la reposición de los pavimentos que eventualmente fuesen afectados por dicha maquinaria.

7. OCUPACIÓN DE DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO TERRESTRE

La superficie total de Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT) ocupada por las obras es de 232.020,06 m², repartidas del siguiente modo:

- Playa emergida (por encima de la cota +0,00) : 52.452,10 m²
- Playa sumergida (por debajo de la cota +0,00) : 179.567,96 m²

Por lo que respecta a la zona de dragado las superficie total de Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT) afectada es de 183.208,39 m².

- Zona emergida (por encima de la cota +0,00) : 16.724,49 m²
- Zona sumergida (por debajo de la cota +0,00) : 166.483,90 m²

8. EXPROPIACIONES, DISPONIBILIDAD DE LOS TERRENOS, AFECCIONES E INDEMNIZACIONES

Todas las obras descritas en el proyecto se desarrollan en Dominio Público Marítimo Terrestre y no resulta necesaria la realización de expropiaciones.

Se ha constatado que existe una disponibilidad efectiva de los terrenos para la ejecución de las obras proyectadas.

Tampoco se afecta a las zonas de servidumbre de tránsito y de servidumbre de protección.

Por cuestiones de seguridad durante la realización de las obras estará prohibida la presencia de bañistas u otros usuarios en la playa y solamente se permitirá el acceso al personal relacionado con las obras.

No se prevé ninguna afección a los servicios existentes. Así en la Figura 14.- se muestra la superposición de las zonas de actuación con el resultado del levantamiento geofísico realizado (ver Anejo nº 1) que muestra los objetos detectados sobre el fondo marino. Puede apreciarse que en la zona de dragado no se ha detectado ningún elemento u objeto susceptible de ser afectado durante las operaciones de extracción de arena. No obstante, durante las operaciones de posicionamiento de la draga se deberá tener especial cuidado con el elemento nº 21, ya que podría tratarse de un emisorio. En la zona de vertido sí se detectan varios elementos y objetos, pero se considera que el vertido de arena encima de ellos no resulta problemática, pues la actuación consiste en la reposición de una situación pasada de la playa y por tanto en su momento dichos objetos ya estuvieron cubiertos por arena.



Figura 14.- Elementos y objetos detectados sobre el fondo marino en las zonas de actuación (Fuente: elaboración propia)

Se ha contemplado la demolición y reposición de la parte de los pavimentos que eventualmente sean afectados por el paso de la maquinaria de obra.

Por consiguiente en el proyecto no se incluyen indemnizaciones por afectaciones directas o indirectas a terceros.

9. OBRA COMPLETA

De acuerdo con lo establecido en el artículo 125 del Reglamento de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas, se manifiesta expresamente que el presente proyecto se refiere a una obra completa, en el sentido de que es susceptible de ser entregada al uso público, sin perjuicio de las ampliaciones de que posteriormente pueda ser objeto.

10. DECLARACIÓN DE CUMPLIMIENTO DE LA LEY DE COSTAS

Conforme al artículo 44.7 de la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, y el artículo 97 del Reglamento General de Costas, aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, se declara expresamente que este proyecto cumple las disposiciones de la citada Ley de Costas, así como las normas generales y específicas que se dicten para su desarrollo y aplicación.

11. SEGURIDAD Y SALUD

En el Anejo nº 10 se presenta el Estudio de Seguridad y Salud redactado en conformidad con el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, así como con el resto de Normativa de obligatorio cumplimiento.

12. GESTIÓN DE RESIDUOS

En el Anejo nº 12 se presenta el Estudio de Gestión de Residuos redactado en conformidad con el Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.

13. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

El artículo 11 de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental establece que "corresponde al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente¹ ejercer las funciones atribuidas por esta ley al órgano ambiental cuando se trate de la evaluación ambiental de planes,

¹ Antigua denominación del actual Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA)

programas o proyectos que deban ser adoptados, aprobados o autorizados por la Administración General del Estado y los organismos públicos vinculados o dependientes de ella".

Por consiguiente los órganos sustantivo y ambiental en este caso son:

- Órgano sustantivo: Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (DGSCM) del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA).
- Órgano ambiental: Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (DGCEM) del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA).

Dado que el órgano ambiental pertenece a la Administración General del Estado, será de aplicación la legislación ambiental estatal, en particular la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, la cual establece en su artículo 7 que:

- "1. Serán objeto de una evaluación de impacto ambiental ordinaria los siguientes proyectos:
- a) Los comprendidos en el anexo I, así como los proyectos que, presentándose fraccionados, alcancen los umbrales del anexo I mediante la acumulación de las magnitudes o dimensiones de cada uno de los proyectos considerados.
 - b) Los comprendidos en el apartado 2, cuando así lo decida caso por caso el órgano ambiental, en el informe de impacto ambiental de acuerdo con los criterios del anexo III. (...)
 - d) Los proyectos incluidos en el apartado 2, cuando así lo solicite el promotor.
2. Serán objeto de una evaluación de impacto ambiental simplificada:
- a) Los proyectos comprendidos en el anexo II".
 - b) Los proyectos no incluidos ni en el anexo I ni el anexo II que puedan afectar de forma apreciable, directa o indirectamente, a Espacios Protegidos Red Natura 2000."

El Anexo I (proyectos que han de ser sometidos a evaluación ordinaria) incluye, entre otros proyectos, los siguientes:

"Grupo 9. Otros proyectos.

- a) Los siguientes proyectos cuando se desarrollen en Espacios Naturales Protegidos, Red Natura 2000 y Áreas protegidas por instrumentos internacionales, según la regulación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad: (...)
- 4.º Dragados fluviales cuando el volumen extraído sea superior a 20.000 metros cúbicos anuales, y dragados marinos cuando el volumen extraído sea superior a 20.000 metros cúbicos anuales."

El Anexo II (proyectos que han de ser sometidos a evaluación simplificada) incluye, entre otros proyectos, los siguientes:

- "Grupo 3. Perforaciones, dragados y otras instalaciones mineras e industriales. (...)**
- d) Extracción de materiales mediante dragados marinos excepto cuando el objeto del proyecto sea mantener las condiciones hidrodinámicas o de navegabilidad. (...)"
- "Grupo 7. Proyectos de infraestructuras. (...)**

- e) Obras de alimentación artificial de playas cuyo volumen de aportación de arena supere los 500.000 metros cúbicos o bien que requieran la construcción de diques o espigones. (...).
- h) Obras costeras destinadas a combatir la erosión y obras marítimas que puedan alterar la costa, por ejemplo, por la construcción de diques, malecones, espigones y otras obras de defensa contra el mar, excluidos el mantenimiento y la reconstrucción de tales obras y las obras realizadas en la zona de servicio de los puertos."

Por consiguiente de acuerdo con la legislación estatal se está en los supuestos de los apartados d) del Grupo 2 y e) y h) del Grupo 7 del Anexo II, lo que implicaría la necesidad de someter el proyecto a evaluación de impacto ambiental simplificada, en cuyo caso el Promotor ha de presentar un Documento Ambiental.

No existe legislación autonómica específica para evaluación de impacto ambiental de proyectos que contradiga o matice lo anterior.

No obstante, teniendo en cuenta la presencia en las proximidades de la obra de una especie protegida (*Cymodocea Nodosa*) y de un Espacio Natural Protegido de la Red Natura 2000 se propone, en virtud de lo establecido en el artículo 7.1.d de la Ley 21/2013, que el proyecto sea sometido al procedimiento de evaluación de impacto ambiental ordinaria.

El presente Proyecto Constructivo incluye como documento independiente el Estudio de Impacto Ambiental, con el contenido especificado en la Ley 21/2013.

El presupuesto para la realización del Programa de Vigilancia y Seguimiento Ambiental (PVA) ha sido incluido en el presupuesto del presente proyecto.

14. PLAZO DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Se prevé un plazo de ejecución de las obras de DOS (2) MESES, de acuerdo con el programa de obra que se incluye en el Anejo nº 11.

15. REVISIÓN DE PRECIOS

Como el plazo previsto para la ejecución de las obras es inferior al año, no son de aplicación las fórmulas de revisión de precios.

16. CLASIFICACIÓN DEL CONTRATISTA

16.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONTRATO

A los efectos de lo previsto en el artículo 36 y concordantes del Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas (aprobado por RD 1098/2001, de 12 de octubre, en su última versión actualizada con fecha de 15/05/2009), el presente Proyecto presenta las siguientes características:

- Tipo de Contrato: OBRAS
- Presupuesto Base de Licitación (sin IVA): 1.818.818,77 €
- Plazo de ejecución: 2 MESES
- Anualidad Media: 10.912.912,62 €

16.2 CLASIFICACIONES EXIGIBLES

En virtud de los datos que se deducen de la naturaleza de las obras y de los importes resultantes deducidos en el Documento nº 4. Presupuesto, se obtiene la siguiente clasificación exigible:

Grupo F. Obras Marítimas

Subgrupo 1. Dragados

Categoría f

17. PRESUPUESTO DE LA OBRA

En el Documento nº 4 de este Proyecto se presenta el presupuesto de las obras previstas.

17.1 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)

Asciende el presente Presupuesto de Ejecución Material a la cantidad de UN MILLÓN CUATROCIENTOS NOVENTA MIL OCHOCIENTOS TREINTA Y CINCO EUROS CON SEIS CÉNTIMOS (1.490.835,06 €). Su desglose se presenta a continuación.

CAPÍTULO 1. OBRAS AUXILIARES. ADECUACION DE ACCESOS	1.675,20 €
CAPÍTULO 2. MOVIMIENTO DE TIERRAS. REGENERACION DE LA PLAYA	1.427.561,40 €
CAPÍTULO 3. BALIZAMIENTO MARINO	3.522,88 €
CAPÍTULO 4. VARIOS	58.075,58 €
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	1.490.835,06 €

17.2 PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (PBL)

Si se incrementa el Presupuesto de Ejecución Material en un 16 % en concepto de Gastos Generales y un 6 % en concepto de Beneficio Industrial se obtienen un subtotal de UN MILLÓN OCHOCIENTOS DIECIOCHO MIL OCHOCIENTOS DIECIOCHO EUROS CON SETENTA Y SIETE CÉNTIMOS (1.818.818,77 €).

El Presupuesto Base de Licitación se ha obtenido incrementando el subtotal anterior un 21 % en concepto de Impuesto sobre el Valor Añadido (I.V.A.) resultando finalmente un total de DOS MILLONES DOSCIENTOS MIL SETECIENTOS SETENTA EUROS CON SETENTA Y UN CENTIMOS (2.200.770,71 €).

18. DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL PROYECTO

PROYECTO CONSTRUCTIVO

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA Y ANEJOS

MEMORIA

ANEJOS

- Anejo nº 1. Caracterización de las zonas de vertido y extracción: topografía, batimetría, sedimentos y medioambiente
- Anejo nº 2. Estudio de Clima Marítimo
- Anejo nº 3. Estudio de propagación del oleaje y corrientes
- Anejo nº 4. Estudio de Dinámica Litoral
- Anejo nº 5. Reportaje fotográfico
- Anejo nº 6. Estudio de disponibilidad de materiales
- Anejo nº 7. Estudio de alternativas
- Anejo nº 8. Dimensionamiento de las obras
- Anejo nº 9. Justificación de Precios
- Anejo nº 10. Estudio de Seguridad y Salud
- Anejo nº 11. Programa de trabajos y procedimientos constructivos
- Anejo nº 12. Estudio de Gestión de Residuos

DOCUMENTO Nº 2: PLANOS

- 1. Situación y emplazamiento
- 2. Estado actual. Topografía y batimetría
- 3. Planta de obras
- 4. Planta de replanteo
- 5. Afecciones, demoliciones y accesos provisionales
- 6. Aportación de arena
 - 6.1. Planta general y de ubicación de las secciones tipo

6.2. Sección tipo

6.3. Planta de ubicación de los perfiles

6.4. Perfiles de medición

7. Espigón

7.1. Planta general y de ubicación de las secciones tipo

7.2. Secciones tipo

7.3. Planta de ubicación de los perfiles

7.4. Perfiles de medición

8. Zona de procedencia de las arenas

DOCUMENTO Nº 3: PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES

DOCUMENTO Nº 4: PRESUPUESTO

Mediciones

Cuadro de Precios nº 1

Cuadro de Precios nº 2

Presupuestos Parciales

Presupuesto Total

DOCUMENTO Nº 5. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Barcelona, enero de 2018

El Director del Proyecto

El Autor del Proyecto

Ana María Castañeda Fraile

Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos

Jefa del Servicio de Proyectos y Obras

Demarcación de Costas en Cataluña

F. Javier Escartín García

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Colegiado nº 11.275

ÍNDICE DE ANEJOS

- Anejo nº 1. Caracterización de las zonas de vertido y extracción: topografía, batimetría, sedimentos y medioambiente
- Anejo nº 2. Estudio de Clima Marítimo
- Anejo nº 3. Estudio de propagación del oleaje y corrientes
- Anejo nº 4. Estudio de Dinámica Litoral
- Anejo nº 5. Reportaje fotográfico
- Anejo nº 6. Estudio de disponibilidad de materiales
- Anejo nº 7. Estudio de alternativas
- Anejo nº 8. Dimensionamiento de las obras
- Anejo nº 9. Justificación de Precios
- Anejo nº 10. Estudio de Seguridad y Salud
- Anejo nº 11. Programa de trabajos y procedimientos constructivos
- Anejo nº 12. Estudio de Gestión de Residuos

ANEJO N° 1. CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE VERTIDO Y EXTRACCIÓN:
TOPOGRAFÍA, BATIMETRÍA, SEDIMENTOS Y MEDIOAMBIENTE

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ALCANCE.....	1
3.	ÁMBITO DE ESTUDIO	1
4.	RESULTADOS	1
4.1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO	1
4.1.1	BATIMETRÍA	1
4.1.1.1	Equipos.....	1
4.1.1.2	Sistemas de referencia.....	2
4.1.1.3	Metodología	2
4.1.2	TOPOGRAFÍA	3
4.1.2.1	Equipos.....	3
4.1.2.2	Sistemas de referencia.....	3
4.1.2.3	Metodología	3
4.1.3	RESULTADOS	4
4.2	LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO	4
4.2.1	GEOMORFOLOGÍA MARINA	4
4.2.1.1	Zona de préstamo	5
4.2.1.2	Zona de aportación	6
4.2.2	SISMOESTRATIGRAFÍA	8
4.3	CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS MARINOS	9
4.3.1	ZONA DE PRÉSTAMO	9
4.3.1.1	Caracterización granulométrica	9
4.3.1.2	Caracterización química	10
4.3.2	ZONA DE APORTACIÓN.....	10
4.4	COMUNIDADES PLANCTÓNICAS.....	12
4.5	COMUNIDADES BENCTÓNICAS	12

4.5.1	HÀBITATS DE ARENAS Y ARENAS FANGOSAS INFRALITORALES (030402)	13
4.5.2	HÀBITAT DE SEDIMENTOS INFRALITORALES CON CYMODOCEA NODOSA	13
4.6	ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS	13
4.7	ELEMENTOS ANTRÓPICOS	14
4.8	PATRIMONIO CULTURAL	14

Apéndice 1. Listado de elementos antrópicos detectados en la zona de estudio

Apéndice 2. Planos

Índice de figuras

Figura 1.-	Ámbito de estudio: zona de préstamo (color rojo) y de aportación (color verde) (Fuente: elaboración propia)	1
Figura 2.-	Referencia del mareógrafo Redmar Barcelona 2 (Fuente: Puertos del Estado)	2
Figura 3.-	Resultados del levantamiento topográfico y batimétrico (Fuente: Tecnoambiente)	4
Figura 4.-	Perfiles batimétricos en la zona de préstamo (Fuente: Tecnoambiente)	4
Figura 5.-	Proyecto de líneas realizado (Fuente: Tecnoambiente)	4
Figura 6.-	Mosaico de los datos de sonar de barrido lateral en la zona de estudio (Fuente: Tecnoambiente)	5
Figura 7.-	Interpretación geomorfológica a partir de datos de SBL (Fuente: Tecnoambiente)	5
Figura 8.-	Interpretación geomorfológica de la zona de préstamo (Fuente: Tecnoambiente)	5
Figura 9.-	Elementos antrópicos detectados (Fuente: Tecnoambiente)	5
Figura 10.-	Imagen del elemento lineal 020 (Fuente: Tecnoambiente)	6
Figura 11.-	Objetos antrópicos (buffers 100 m en tubería y 50 m en ONI) y límites del surco hallado (Fuente: Tecnoambiente)	6
Figura 12.-	Sonografía de arenas con ripples (Fuente: Tecnoambiente)	6
Figura 13.-	Imagen de fondos de arenas con ripples (Fuente: Tecnoambiente)	6
Figura 14.-	Sonografía de arenas finas (Fuente: Tecnoambiente)	7
Figura 15.-	Imagen de fondos de arenas finas (Fuente: Tecnoambiente)	7
Figura 16.-	Sonografía de arenas finas con Cymodocea nodosa dispersa (Fuente: Tecnoambiente)	7

Figura 17.-	Imagen de fondos de arenas finas con Cymodocea nodosa dispersa (Fuente: Tecnoambiente)	7
Figura 18.-	Elementos antrópicos detectados (Fuente: Tecnoambiente)	8
Figura 19.-	Registro del perfilador de fondo en la zona de desnivel dragada previamente (Fuente: Tecnoambiente)	8
Figura 20.-	Plano de isopacas en la zona de dragado (Fuente: Tecnoambiente)	8
Figura 21.-	Plano de isopacas en el tramo superficial de la zona de dragado (Fuente: Tecnoambiente)	9
Figura 22.-	Estaciones en la zona de dragado (Fuente: Tecnoambiente)	9
Figura 23.-	Distribución de las estaciones de muestreo (Fuente: Tecnoambiente)	10
Figura 24.-	Ubicación del LIC Costes del Maresme (ES5110017) (Fuente: Generalitat de Catalunya)	14
Figura 25.-	Ubicación del LIC Serres del litoral septentrional (ES5110011) (Fuente: Generalitat de Catalunya)	14

Índice de tablas

Tabla 1.-	Tipología de fondos y superficie ocupada. (Fuente: Tecnoambiente)	6
Tabla 2.-	Resultados de la caracterización granulométrica en la zona de dragado (Fuente: Tecnoambiente)	9
Tabla 3.-	Resultados de la caracterización química en la zona de dragado (Fuente: Tecnoambiente)	10
Tabla 4.-	Resultados de la caracterización granulométrica en la zona de vertido (cota +1,5 m) (Fuente: Tecnoambiente)	11
Tabla 5.-	Resultados de la caracterización granulométrica en la zona de vertido (cota 0 m) (Fuente: Tecnoambiente)	11
Tabla 6.-	Resultados de la caracterización granulométrica en la zona de vertido (cota -2,5 m) (Fuente: Tecnoambiente)	11
Tabla 7.-	Resultados de la caracterización granulométrica en la zona de vertido (cota -5 m) (Fuente: Tecnoambiente)	11
Tabla 8.-	Inventario español de hábitats marinos (Fuente: Tecnoambiente)	13

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se muestran los trabajos de caracterización de las zonas de vertido y extracción y que han consistido en el levantamiento topográfico, batimétrico, geomorfológico, caracterización de sedimentos y análisis de las comunidades naturales.

Estos trabajos de campo han sido realizados por la empresa TECNOAMBIENTE.

La memoria explicativa del presente anejo se complementa con los siguientes planos que se muestran en el Apéndice 2.

- A1.1. Situación del estudio.
- A1.2. Ámbito del estudio.
- A1.3.1. Topo-batimetría general.
- A1.3.2. Batimetría en la zona de dragado.
- A1.4.1. Proyecto de líneas para SSS y SBP.
- A1.4.2. Mosaico de sonografías de SSS.
- A1.4.3. Geomorfología de fondo.
- A1.4.4. Geomorfología de fondo en la zona de dragado.
- A1.4.5. Elementos antrópicos observados en SSS.
- A1.4.6. Elementos antrópicos observados en el mapa geomorfológico.
- A.1.5.1. Espesor de sedimento total en la zona de dragado.
- A.1.5.2. Espesor de sedimento arenoso en la zona de dragado.
- A.1.6. Estaciones de muestreo.

2. ALCANCE

El alcance del estudio ha sido definido acorde a las necesidades del proyecto de regeneración de las playas del Maresme en el tramo entre los puertos de El Masnou y de Premià. Para ello los trabajos realizados han sido los siguientes:

- Caracterización del medio físico:
 - Topo-batimetría de la zona objeto de estudio
- Exploración mediante técnicas geofísicas para la descripción geomorfológica y geológica del fondo, así como para la detección e identificación de riesgos de origen natural y antrópico:
 - Sónar de Barrido Lateral (SBL) también conocido por su nombre inglés *Side Scan Sonar* (SSS).
 - Perfilador de Fondo (en inglés *Sub Bottom Profiler*).
- Caracterización físico-química de los sedimentos presentes
- Caracterización ambiental

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra entre los puertos deportivos de El Masnou y de Premià, en una franja de aproximadamente 4.400 m. La zona de aportación de sedimento comprende toda la zona somera, mientras que la zona de extracción, en la zona de préstamo anteriormente utilizada por el MAPAMA, comprende un polígono de 2500 m x 300 m.

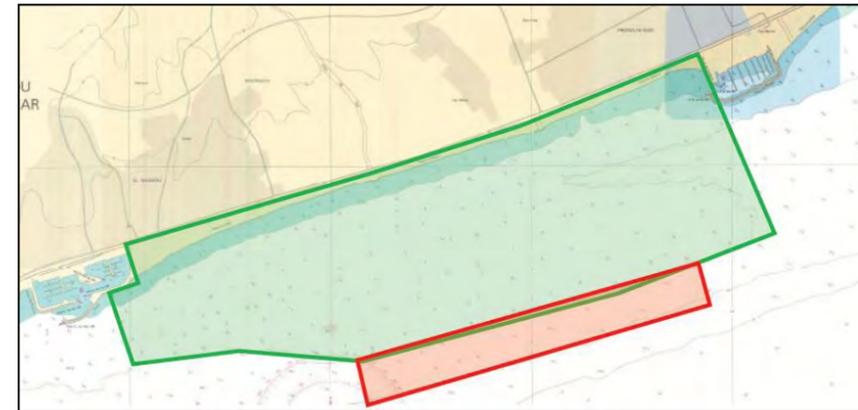


Figura 1.- Ámbito de estudio: zona de préstamo (color rojo) y de aportación (color verde) (Fuente: elaboración propia).

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de los diferentes estudios realizados.

4.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO

4.1.1 BATIMETRÍA

La campaña batimétrica para adquirir la información de la zona de extracción y aportación se ha realizado durante el mes de mayo de 2016 ya que los temporales de inicio de año alteraron substancialmente la morfología habitual de la playa, extrayendo arena de las zonas donde habitualmente está acumulada y depositándola en zonas habitualmente erosionadas, por lo que no era representativa del estado actual de la playa y no cumplía uno de sus objetivos: servir de información de base para el modelado numérico de corrientes y transporte de sedimentos.. El área de préstamo comprende una zona de 2.500 m de longitud por 330 m de anchura (es decir, un total de 82,5 Ha). El área de la zona de aportación prospectada ha sido de 4.400 m de longitud y 1.250 m de ancho aproximadamente (es decir, un total de 550 Ha).

4.1.1.1 Equipos

Se han utilizado los siguientes equipos:

Receptor GNSS de doble frecuencia (L1/L2) Leica Viva GS14, con correcciones RTK vía GPRS

Leica GS14 es el receptor GNSS más potente y compacto. Incorpora un módulo de comunicaciones móviles integrado y módem UHF para adaptarse a cualquier tarea de medición.

Ecosonda monohaz Reson NaviSound 420 de doble frecuencia (210/33 KHz)

Este modelo de ecosonda monohaz se caracteriza por tener doble frecuencia simultánea (33 y 210 KHz). De dimensiones ligeras, puede operar hasta profundidades de 1200 m y dispone de numerosas configuraciones en función de la tipología de fondo a prospectar. Las especificaciones técnicas del transductor son las siguientes:

- Frecuencia de haces: 33 y 210 KHz
- Precisión:
- Haz de 210 KHz: 0.12% de la escala +/- 1 cm
- Haz de 33 KHz: 0.12% de la escala +/- 7 cm
- Ancho del Haz: 4,5° @ 210 kHz y 9,5° @ 33kHz

Perfilador de velocidad de sonido para la columna de agua Midas SVP Valeport

Para la corrección de la profundidad medida, es imprescindible conocer el perfil de velocidad del sonido del agua de mar (señal acústica) de la zona estudiada. Para ello se ha empleado el equipo SVP (Sound Velocity Profiler) de la firma Valeport, MiniSVP así como Valeport's DataLog Express software para su interpretación.

Software Hypack 2014 para la adquisición de datos

HYPACK provee todas las herramientas necesarias para efectuar campañas hidrográficas. Dispone de herramientas para diseñar la campaña, adquirir los datos, aplicar correcciones a las sondas, calcular volúmenes, generar contornos, generar mosaicos de sónar, etc.

4.1.1.2 Sistemas de referencia

Posicionamiento planimétrico

Según requerimientos del proyecto, se ha realizado las campañas en base al sistema de referencia ETRS89, sistema oficial en la actualidad, que en Cataluña tiene asociado el geoide EGM08D595.

Para la obtención de posicionamiento absoluto durante las campañas de adquisición de datos se ha hecho uso del servicio CATNET, ofrecido por el ICGC y que permite recibir correcciones RTK vía GPRS en el sistema de referencia ETRS89 en todo el territorio catalán.

Datum vertical

Desde un punto de vista altimétrico, el datum vertical requerido es el Cero Alicante (CA) o Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA). Este datum vertical está vinculado en Catalunya al geoide EGM08D595.

Para la corrección de marea en los datos batimétricos con monohaz, se han empleado los valores registrados por el mareógrafo BCN2 durante la realización de las batimetrías restándoles un offset de 0,179 m. Esta corrección permite pasar del nivel de referencia REDMAR empleado por el mareógrafo al nivel del Cero de Alicante (ver Figura 2.-).



Figura 2.- Referencia del mareógrafo Redmar Barcelona 2 (Fuente: Puertos del Estado)

4.1.1.3 Metodología

Proyecto de líneas

Los transectos son coincidentes con los transectos de topografía, de forma que se pueda realizar un buen enlace entre las dos técnicas de prospección.

Inicialmente se definen de forma detallada los transectos perpendiculares a la costa a realizar por la embarcación, que coincidirán con los transectos de topografía realizados en la playa. En el plan de líneas se ha realizado transectos cada 100 metros y perfiles transversales de cierre en las cotas -2,5 -8 y -12 m. aproximadamente

Perfil de velocidad del sonido en la columna de agua

Antes de comenzar la adquisición de los datos es necesario realizar un perfil de velocidad del sonido. Este perfil es empleado como apoyo al cálculo de la profundidad por parte de la ecosonda. Es importante realizar dicho perfil en la zona de máxima profundidad del área de estudio, así como en áreas donde el perfil puede variar debido a la influencia de aguas con carácter térmico y salino diferentes.

Debido a la duración de la campaña y al tamaño del área se realizan tres perfiles de velocidad del sonido por día. Uno al empezar, uno a la mitad de la campaña, y otro al acabar. La metodología para

la obtención del perfil de velocidad del sonido en la columna de agua es sencilla. Para ello se sumerge el perfilador SVP hasta el fondo y después de izarlo se introducen los datos cada 0,5 m de la velocidad del sonido en el software de adquisición, para que el interpolate los datos recibidos con esta velocidad.

Corrección de mareas

La corrección de la marea se realiza mediante los datos de marea del mareógrafo de la red REDMAR de Puertos del Estado instalado en el Puerto de Barcelona, en el muelle 140 de la Planta ENAGAS. A estos datos se le aplica el diferencial de 0,179 m para referenciar las sondas al 0 de Alicante.

Calibración de ecosonda

Dado que se toman los perfiles de velocidad del sonido en el agua, las correcciones necesarias en este aspecto se realizan en la fase de edición y procesado de los datos. No obstante se han calibrado otros aspectos importantes a la hora de hacer el levantamiento, como son el calado dinámico y la latencia entre ecosonda y GPS.

Latencia Sonda-GPS

Es probable que exista un pequeño retardo en tiempo cuando el GPS calcula una posición hasta el momento de transmitirlo al puerto serie, por lo que si esto no se corrige, la profundidad medida por la ecosonda no se corresponde con la coordenada marcada por el GPS.

Para comprobar si existe latencia entre los dos equipos, se realizan dos o más líneas de levantamiento recíprocas perpendiculares a la pendiente y en sentidos opuestos sobre una característica del fondo conocida o fácilmente identificable, como una roca o un talud. Si no hay un problema de latencia, los perfiles se solaparán exactamente uno sobre el otro, mientras que si hubiera un error, los perfiles se desplazarían. El programa Single Beam Latency de HYPACK cambia el marcado de tiempo para determinar el mejor ajuste por latencia.

Calado dinámico

El calado dinámico es el movimiento vertical del transductor desde su posición estática, y se debe a un movimiento hacia abajo de la embarcación durante el avance causado por una onda de presión al frente de la embarcación, y por una rotación de la embarcación causada por la aplicación de fuerza. Para determinar la variación de calado de la embarcación al ponerse en movimiento, se toman datos sobre una misma línea a distintas velocidades para determinar la diferencia de calado de la embarcación. El software HYPACK permite la corrección del calado dinámico de la embarcación tanto durante la adquisición como en el procesado posterior.

Adquisición de datos

Los transectos prediseñados se cargan en el programa de navegación HYPACK con objeto de seguir los transectos definidos mientras se visualiza la posición en tiempo real y se registran los datos XYZ. La

embarcación sigue una derrota prefijada para los transectos definidos en el área de estudio a una velocidad aproximada de 3 nudos. La disposición del transductor del ecosonda es vertical con respecto al fondo marino y se corrigen los offset (distancias X, Y y Z, entre la posición del transductor y la antena). Durante la adquisición de los datos, se realiza la sincronización de los datos adquiridos por los equipos y periféricos.

4.1.2 TOPOGRAFÍA

La campaña topográfica de la zona de aportación se ha realizado en el mes de mayo de 2016. Además de la campaña se realiza el posterior análisis tridimensional y modelado de la playa, así como la realización de una serie de perfiles transversales para conocer las variaciones del terreno en las zonas de mayor interés.

4.1.2.1 Equipos

Para los trabajos de campo se ha empleado el mismo receptor GNSS de doble frecuencia (L1/L2) empleado en los trabajos batimétricos, Leica Viva GS14, con correcciones RTK vía GPRS.

4.1.2.2 Sistemas de referencia

Posicionamiento planimétrico

Según requerimientos del proyecto se ha empleado el sistema de referencia ETRS89 asociado al geoide EGM08D595. Para la obtención de posicionamiento absoluto se ha empleado el servicio CATNET (ICGC) con correcciones RTK recibidas vía GPRS.

Datum vertical

Dado que la finalidad del proyecto es obtener modelos topo-batimétricos donde quede representada tanto la parte emergida de la playa como la sumergida, los datos obtenidos mediante topografía terrestre no se han modificado, puesto que CATNET utiliza como geoide de referencia el EGM08D595 y como datum el NMMA.

4.1.2.3 Metodología

Para llevar a cabo la realización de un trabajo topográfico se debe determinar el tipo de levantamiento topográfico más apropiado para la zona de estudio. En este caso se ha optado por realizar el mismo proyecto de líneas que para la batimetría pero extrapolándolas hacia tierra dentro. Una vez determinado el tipo de levantamiento se crea el proyecto de topografía en el software TCP-GPS de Topcom, determinando asimismo el sistema de referencia geodésico.

Se ha realizado el levantamiento de la cota +0 en la playa de Sant Sebastià, la playa contigua y la escollera exenta. Asimismo se ha intensificado la densidad de cotas para obtener información del "escalón" existente en la playa seca. Se han realizado perfiles cada 40 metros, coincidentes con los transectos de batimetría monohaz, de forma que se pueda realizar un buen enlace entre las dos

técnicas de prospección. Los transectos perpendiculares a la costa se han realizado entre el límite superior de la playa marcado por los elementos limitadores de la playa (escolleras, viales, vegetación limitante, etc.) hasta la zona de transición para enlazar con la batimetría, introduciéndose el topógrafo en el agua hasta poder marcar la cota -1 m.

4.1.3 RESULTADOS

El levantamiento resultante se muestra en la Figura 3.- y en el Apéndice 2. Planos, y comprende tanto la zona de préstamo como la zona de aportación.



Figura 3.- Resultados del levantamiento topográfico y batimétrico (Fuente: Tecnoambiente)

De forma general se observa la distribución topográfica y batimétrica resultante al finalizar la primavera. La distribución en planta permite apreciar la situación habitual en las playas del Maresme, con acumulación de sedimentos a levante de las estructuras que interrumpen el transporte sedimentario, en este caso el puerto de Masnou, y pérdida de sedimento a poniente de tales barreras, en este caso el puerto de Premià.

En cuanto a la zona de dragado se aprecian los efectos de dragados anteriores, con un desnivel pronunciado (de 4 a 6 m) en el cuadrante NE, como se observa en la Figura 4.- .

4.2 LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO

En base a los registros obtenidos con el sónar de barrido lateral y al perfilador de fondo se ha realizado una cartografía morfológica de detalle del fondo marino. En la Figura 5.- se muestra el plan de líneas realizado con los equipos del sónar de barrido lateral y el perfilador de fondo (en rojo). Para la

cobertura total de la zona se ha realizado un proyecto de líneas con una separación de 75-100 m por banda.

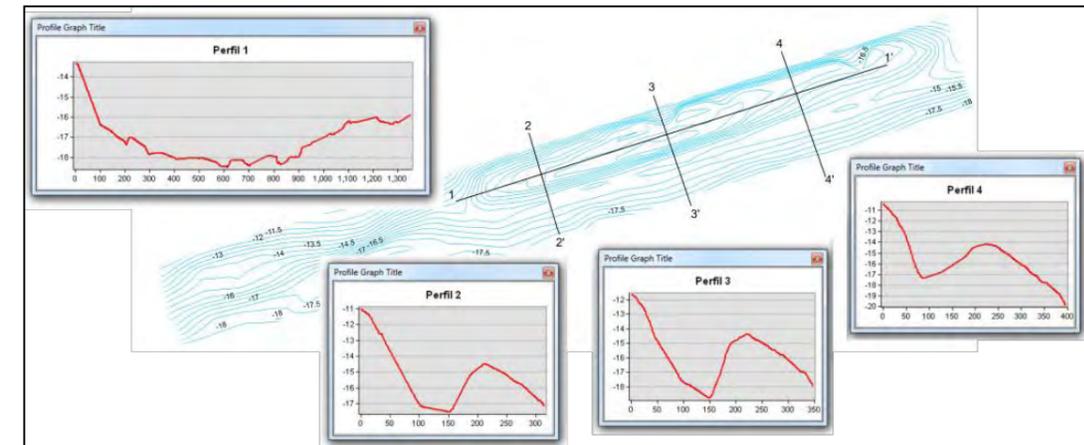


Figura 4.- Perfiles batimétricos en la zona de préstamo (Fuente: Tecnoambiente)



Figura 5.- Proyecto de líneas realizado (Fuente: Tecnoambiente)

4.2.1 GEOMORFOLOGÍA MARINA

A continuación se presenta el estudio geomorfológico, mediante el que se han actualizado los datos geomorfológicos del entorno de la zona de aportación, en las playas del Masnou y de Premià y la zona de dragado.

Mediante los datos del sónar de barrido lateral y su procesado se ha obtenido una cobertura total del fondo marino del área de estudio. Estos datos proporcionan información de detalle de los tipos de sedimento según la reflectividad, rugosidad de los fondos, comunidades naturales, así como la detección de elementos antrópicos ubicados en el lecho marino. En primer lugar se ha llevado a cabo el montaje de un mapa-mosaico con todos los datos de sónar en un mismo plano (ver Figura 6.-).



Figura 6.- Mosaico de los datos de sonar de barrido lateral en la zona de estudio (Fuente: Tecnoambiente)

A partir de la interpretación de los datos de sonar de barrido lateral se ha caracterizado la geomorfología de la zona de estudio y a continuación se han detectado diferentes tipos de fondo así como elementos antrópicos (ver Figura 7.-)



Figura 7.- Interpretación geomorfológica a partir de datos de SBL (Fuente: Tecnoambiente)

A continuación se presentan por separado los resultados en la zona de préstamo y en la zona de aportación,

4.2.1.1 Zona de préstamo

Se han detectado dos tipos de fondo predominantes: arenas finas (color gris en la Figura 8.-) y arenas con *ripples* (color ocre). Los fondos de arenas finas se distribuyen en parches, probablemente recubriendo surcos dragados previamente, mientras que las arenas con *ripples* representan la matriz del área. No se ha detectado presencia de *Cymodocea nodosa* en la zona de préstamo.



Figura 8.- Interpretación geomorfológica de la zona de préstamo (Fuente: Tecnoambiente)

En la zona de dragado se detectan dos objetos de posible origen antrópico, señalados como elementos lineales 020 y ONI 012 en la Figura 9.- .

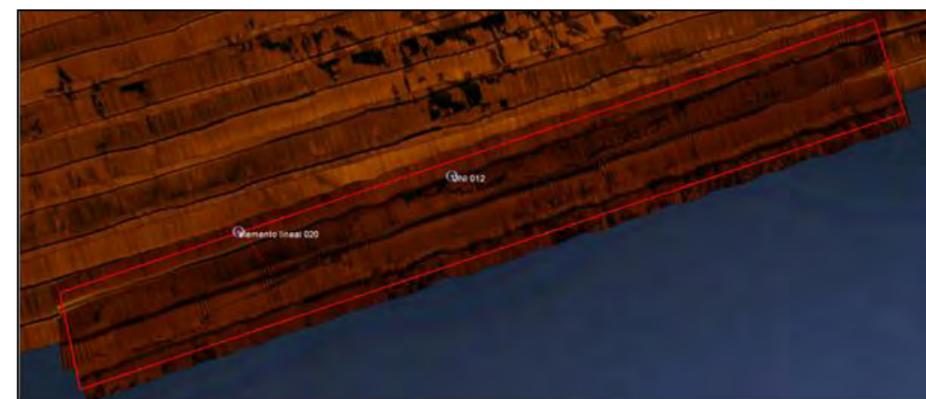


Figura 9.- Elementos antrópicos detectados (Fuente: Tecnoambiente)

En la Figura 10.- se puede observar el elemento lineal 020 detectado, confirmando la presencia de una tubería sobre el lecho marino.

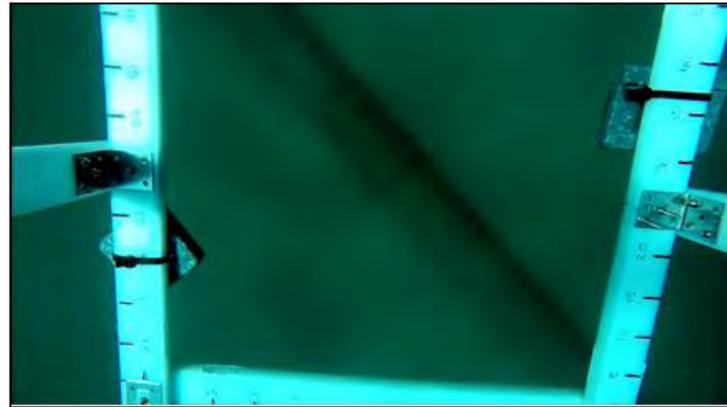


Figura 10.- Imagen del elemento lineal 020 (Fuente: Tecnoambiente)

Finalmente en la Figura 11.- se resume la presencia de posibles obstáculos en la zona que podrían ser afectados por el dragado, habiéndose establecido una distancia de seguridad de 100 m para la tubería y 50 m para el ONI.

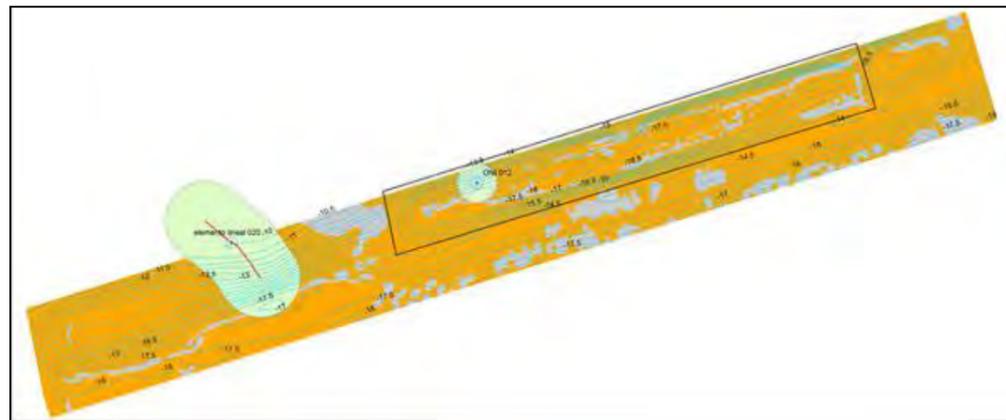


Figura 11.- Objetos antrópicos (buffers 100 m en tubería y 50 m en ONI) y límites del surco hallado (Fuente: Tecnoambiente)

4.2.1.2 Zona de aportación

A partir de los datos obtenidos con el SBL, su procesado y posterior interpretación se ha identificado tipos de fondo como arenas finas, arenas con *ripple marks* (surcos) y presencia de *Cymodocea nodosa*. También se han determinado los límites con la playa emergida, los distintos espigones y los rellenos de los mismos. En la Tabla 1.- se detalla la tipología de fondo y superficie en el área de estudio.

A continuación se detallan cada uno de estos tipos de fondo

Tabla 1.- Tipología de fondos y superficie ocupada. (Fuente: Tecnoambiente)

Tipo de fondo	Superficie (ha)	Superficie (%)
Arenas con <i>ripples</i>	417,01	70,5
Arenas finas (AF)	158,47	26,8
AF con <i>Cymodocea nodosa</i>	1,33	0,2
Espigón (antrópico)	0,61	0,1
Límite de playa emergida (antrópico)	4,33	0,7
Relleno espigón (antrópico)	9,46	1,6

Arenas con *ripples*

Esta tipología de fondo se caracteriza por dar una señal acústica homogénea, de intensidad media pero con variaciones constantes en la fluctuación de las arenas (ver Figura 12.-). Estas particulares morfologías presentan una altura generalmente inferior a 0,5 m, pueden ser simétricas o asimétricas y suelen caracterizarse por la ausencia de vegetación (ver Figura 13.-). Este tipo de fondo se encuentra distribuido de forma mayoritaria en la zona de estudio.

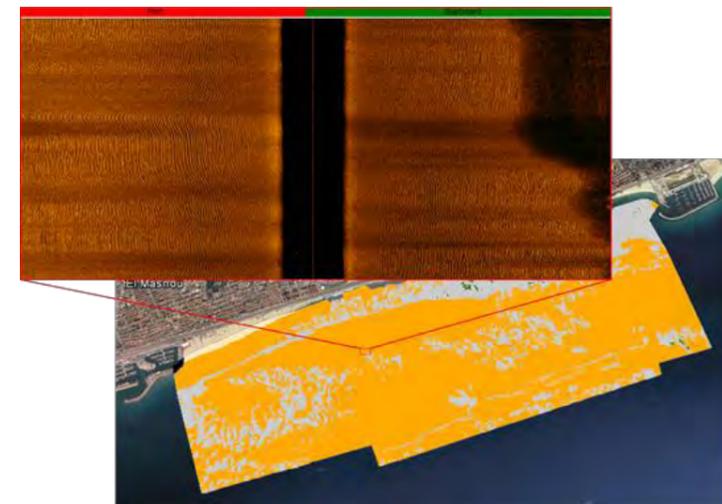


Figura 12.- Sonografía de arenas con ripples (Fuente: Tecnoambiente)



Figura 13.- Imagen de fondos de arenas con ripples (Fuente: Tecnoambiente)

Arenas finas

Este tipo de fondo se identifica por una baja intensidad de la señal acústica y por un grado de reflectividad notablemente homogéneo que dan lugar a un nivel acústico continuo a nivel superficial y a una imagen del mosaico bastante homogénea (ver Figura 14.-). En la zona de estudio esta tipología de fondo se encuentra distribuida de forma irregular, de manera concentrada y continua en distintos tramos, destacando la zona próxima a poniente del puerto de Premià.

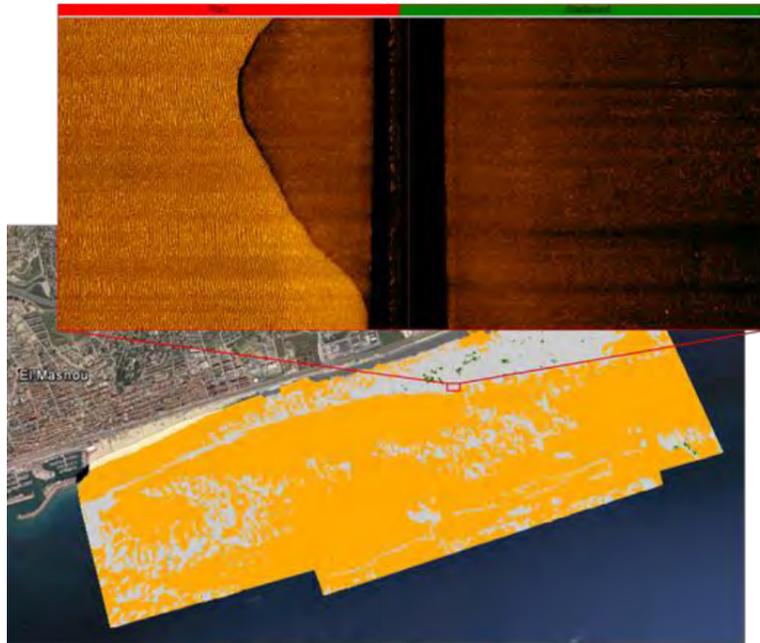


Figura 14.- Sonografía de arenas finas (Fuente: Tecnoambiente)



Figura 15.- Imagen de fondos de arenas finas (Fuente: Tecnoambiente)

Arenas finas con *Cymodocea nodosa*

Este tipo de fondo se caracteriza por tener una alta intensidad de la señal acústica y una morfología espicular muy característica (ver Figura 16.-). La presencia de *Cymodocea nodosa* en la zona de aportación es escasa (0,2%), distribuida en su mayor parte en forma de parches en la zona de arenas

finas más continuas cercanas a la playa, entre las cotas -6 y -10 m (ver Figura 17.-). Se observa una pequeña concentración de este tipo de fondo al NE de la zona de dragado, alrededor de la cota -12 m.

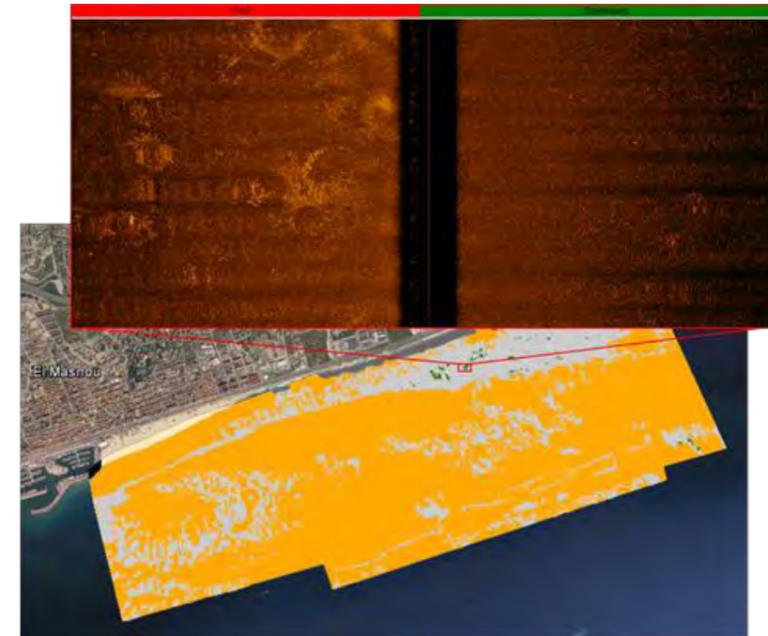


Figura 16.- Sonografía de arenas finas con *Cymodocea nodosa* dispersa (Fuente: Tecnoambiente)

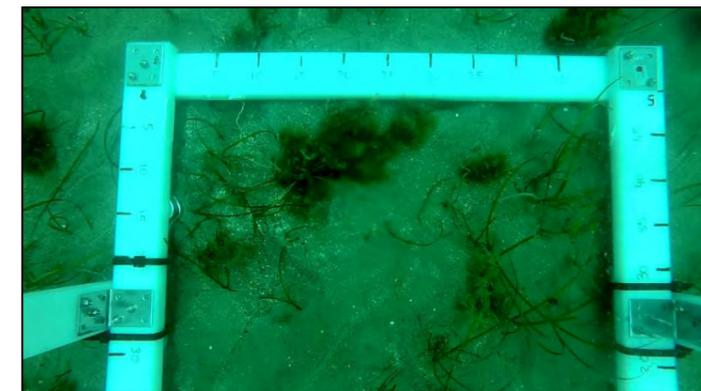


Figura 17.- Imagen de fondos de arenas finas con *Cymodocea nodosa* dispersa (Fuente: Tecnoambiente)

Elementos antrópicos:

A partir de la interpretación de los datos del sonar de barrido lateral se ha llevado a cabo la identificación de posibles elementos antrópicos que se han observado en la superficie del fondo marino a lo largo de toda la zona prospectada (ver Figura 18.-).

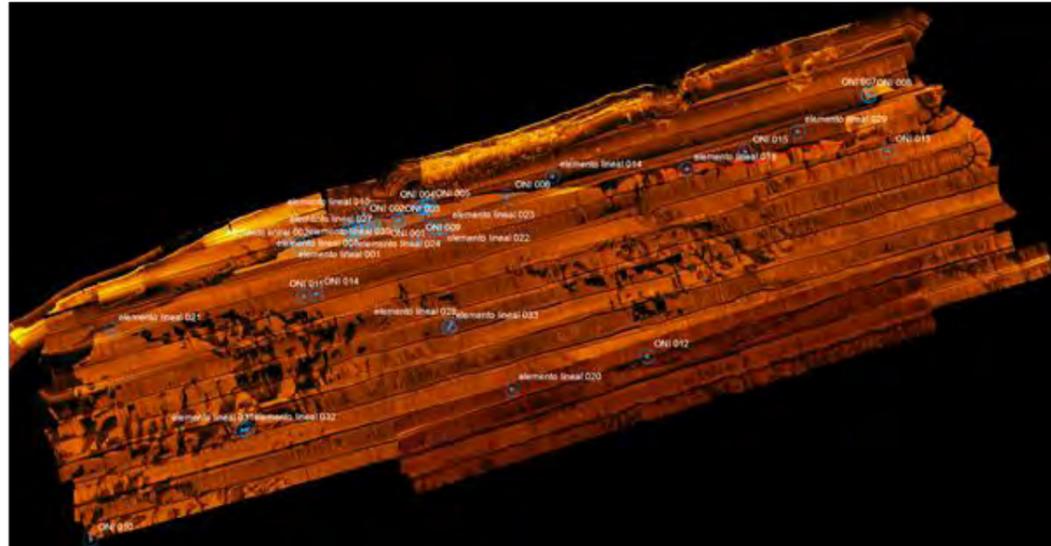


Figura 18.- Elementos antrópicos detectados (Fuente: Tecnoambiente)

A partir de los datos obtenidos con sonar de barrido lateral se ha detectado un total de 48 elementos antrópicos en toda la zona de estudio, con presencia de restos de tuberías y bloques de hormigón para fondeo, cuya descripción se incluye en el Apéndice 1.

4.2.2 SISMOESTRATIGRAFÍA

El estudio del yacimiento de áridos se centra en el polígono de dragado previsto (2500 m x 300 m). Para la elaboración de los planos de líneas de mismo espesor de sedimento (isopacas), ha sido necesario identificar y localizar la profundidad en la que se encuentra el basamento acústico. En este sentido se asume que corresponde al material más antiguo detectado, a partir del cual se produce un apantallamiento o atenuación gradual de la señal acústica que impide la penetración de la misma.

El material sedimentario no consolidado detectado queda limitado a muro por el reflector que se interpreta como basamento acústico y a techo por el reflector correspondiente al actual lecho marino (ver Figura 19.-).

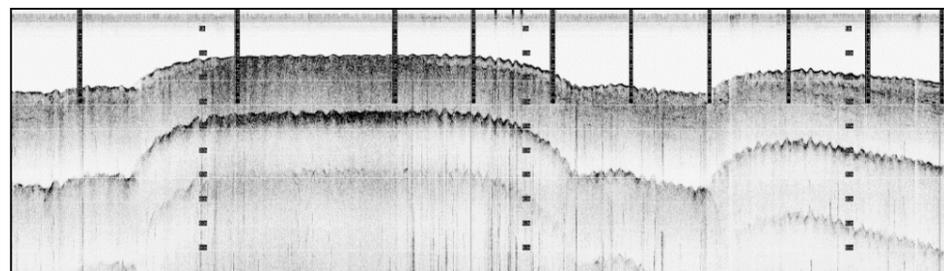


Figura 19.- Registro del perfilador de fondo en la zona de desnivel dragada previamente (Fuente: Tecnoambiente)

En la Figura 20.- se presenta el plano de isopacas confeccionado a partir de la interpretación de los registros geofísicos obtenidos.

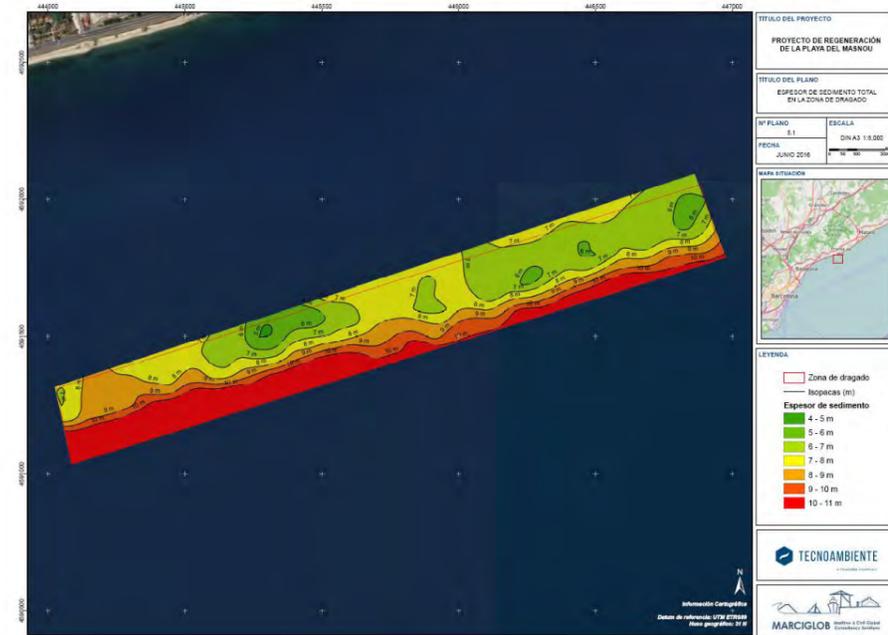


Figura 20.- Plano de isopacas en la zona de dragado (Fuente: Tecnoambiente)

Una vez procesados los registros sísmicos se observa un paquete sedimentario no consolidado bastante importante, con puntos donde el basamento acústico se sitúa a unos 15 m por debajo del lecho marino.

En toda la zona prospectada no se observa ningún afloramiento rocoso, los espesores sedimentarios detectados son bastante homogéneos y que oscilan entre 6 y 15 metros. De manera general a mayor profundidad se detecta un mayor espesor, coincidiendo con una batimetría con un talud relativamente pronunciado en relación a la batimetría general de la zona. En la zona más profunda se encuentran los espesores más importantes, que alcanzan 15 metros.

En general el sedimento no consolidado detectado en los registros presenta características geofísicas de tipo arenoso (arenas, arenas fangosas y fangos arenosos en lo más profundo de la secuencia detectada). Esta posible interpretación viene dada por las características estratigráficas internas de los reflectores y su grado de impedancia, así como la presencia de formas de fondo sobre el lecho marino, característico de medios arenosos bajo hidrodinámica de importancia.

Para focalizar los datos hacia los objetivos reales del estudio, se ha generado otro plano complementario de isopacas centrado en los primeros metros de la columna de sedimentos detectados, con el fin de determinar el espesor de sedimento arenoso susceptible de ser de interés para el dragado de acopio programado en la zona (ver Figura 21.-).

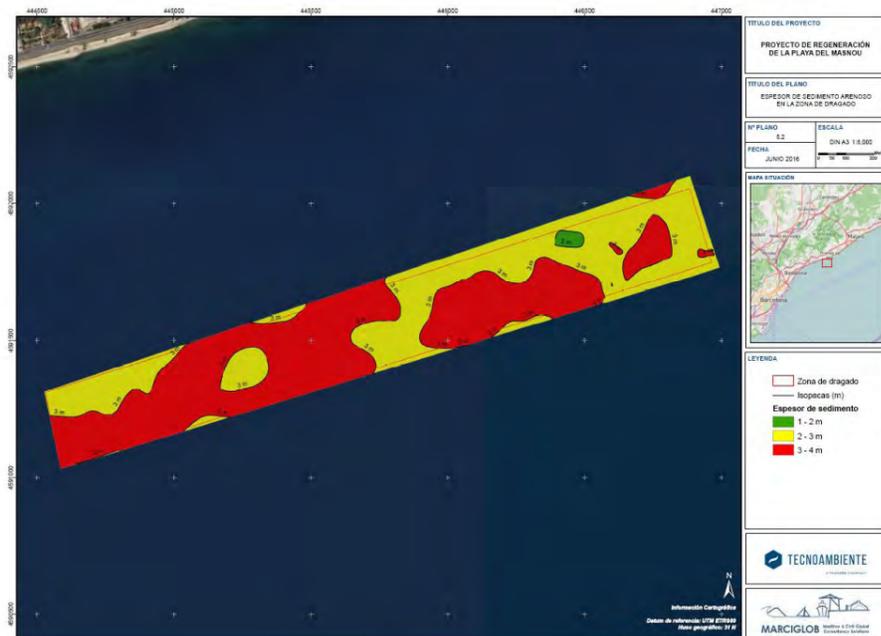


Figura 21.- Plano de isopacas en el tramo superficial de la zona de dragado (Fuente: Tecnoambiente)

Este plano de isopacas se ha elaborado bajo criterios de características geo sismicas internas de las arenas así como la homogeneidad de la misma en vertical en los primeros metros de la columna general detectada.

4.3 CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS MARINOS

La caracterización de los sedimentos se ha realizado según las indicaciones contenidas en la Guía Metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental de las extracciones de arenas para la regeneración de playas (CEDEX, 2004), atendiendo a las Directrices para la gestión ambiental de las extracciones marinas para la obtención de arena (MAGRAMA, 2010).

Para la caracterización físico-química de los sedimentos se han realizado muestreos específicos tanto de la zona de aportación como de la zona de dragado, mediante muestras superficiales obtenidas con draga Van Veen.

4.3.1 ZONA DE PRÉSTAMO

Se han recogido 9 muestras para caracterizar la zona de dragado (MG-D-1 a MG-D-9). En la imagen se muestra la distribución de las estaciones de sedimento de la zona de dragado, distribuyéndose prácticamente todas entre las cotas batimétricas de 10 a 16 metros.



Figura 22.- Estaciones en la zona de dragado (Fuente: Tecnoambiente)

4.3.1.1 Caracterización granulométrica

En la Tabla 2.- se presentan los resultados de la caracterización granulométrica.

Tabla 2.- Resultados de la caracterización granulométrica en la zona de dragado (Fuente: Tecnoambiente)

Tipo	Unidad	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Tamiz 2,00 mm	%	1,5	1,2	1,4	1	0,8	1,6	0,8	1,2	<0,5
Tamiz 1,40-2,00 mm	%	9	1,1	1,2	0,7	0,9	1,2	0,9	0,6	0,7
Tamiz 1,0-1,40 mm	%	33,4	2	2,9	0,8	2	1,5	3,2	1,1	0,7
Tamiz 0,71-1,0 mm	%	45,5	9,8	12,6	2,4	12,6	5,5	18,4	0,7	1,8
Tamiz 0,60-0,71 mm	%	7,1	15,5	11,7	4,6	15,3	8,2	16,2	5,5	1,8
Tamiz 0,50-0,60 mm	%	1,5	25,5	14,8	12,7	20,1	18,1	16,8	7,8	3,9
Tamiz 0,35-0,50 mm	%	<0,5	27,9	23	27,4	24	33,6	19,2	20,1	16
Tamiz 0,25-0,35 mm	%	<0,5	11,7	21,3	25,4	13,8	21,3	14,4	29,1	32,3
Tamiz 0,18-0,25 mm	%	<0,5	3,5	6,8	20	5,2	5,6	7	25,8	26,7
Tamiz 0,12-0,18 mm	%	<0,5	0,7	1,9	4	1,1	2,1	2	6,6	10,6
Tamiz 0,063-0,12 mm	%	<0,5	0,5	1,1	0,7	0,7	1,7	0,7	0,8	5,2
Tamiz <0,063 mm	%	0,5	0,7	1,3	0,5	3,5	<0,5	<0,5	0,7	<0,5
Moda	-	AG	AG	AM	AM	AG	AM	AG	AM	AM
D50	mm	0,96	0,52	0,47	0,35	0,51	0,44	0,54	0,31	0,27

Como se aprecia en los resultados el tipo de arenas que aparecen de forma mayoritaria son arenas medias (AM, 0,25-0,50mm) y arenas gruesas (AG, 0,5-1mm). El tamaño medio de partícula (D_{50}) en el conjunto de sedimentos del yacimiento se sitúa en torno a 0,43 mm, en el rango de arenas medias.

4.3.1.2 Caracterización química

Tal y como se indica en las Directrices de la DG de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, los materiales a extraer no deberán estar afectados por ningún tipo de contaminación de origen antrópico. Para ello, se ha llevado a cabo la caracterización química de los sedimentos, y se ha analizado la concentración de los metales pesados de la materia orgánica presente en las muestras de sedimento procedentes de la zona de dragado.

En la Tabla 3.- se muestran los resultados obtenidos de los análisis para detección de contaminación por metales y biológica.

Tal y como indica la DG de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, los materiales a dragar pueden incluir en su composición mineralógica de forma natural una cierta cantidad de elementos generalmente considerados como contaminantes, por ello y para valorar el grado de contaminación presente en los sedimentos.

Según las Directrices de la DG de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, no se consideran adecuados para su aporte a playas de baño aquellos materiales cuya concentración media supera para alguno de los parámetros en más de un 20% los límites de los BACs y los niveles de acción establecidos por el CEDEX (Guía Metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental de las extracciones de arenas para la regeneración de playas, 2004).

Tabla 3.- Resultados de la caracterización química en la zona de dragado (Fuente: Tecnoambiente)

Tipo	Unidad	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Materia orgánica	%	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Arsénico	mg/kg	10,0	9,33	9,13	9,69	7,98	9,47	10,1	9,77	9,74
Cadmio	mg/kg	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Cobre	mg/kg	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	2,72
Cromo	mg/kg	<2,5	<2,5	<2,5	4,04	2,5	3,49	<2,5	3,35	5,0
Mercurio	mg/kg	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Niquel	mg/kg	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	2,97
Plomo	mg/kg	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	3,15
Zinc	mg/kg	11,4	9,68	10,9	15,1	10,4	15,8	13,8	14,6	20,6
Coliformes fecales	UFC/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Estreptococos fecales	UFC/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2

En este caso las concentraciones de los metales pesados en las muestras analizadas son muy inferiores a los límites de calidad propuestos.

Respecto a la contaminación microbiológica no se ha detectado ningún rastro de contaminación fecal en las muestras analizadas, siendo todos los valores encontrados inferiores al límite de cuantificación del método analítico empleado para su determinación (2 UFC/g).

Por lo tanto, se puede considerar que las muestras analizadas se encuentran exentas de contaminación y que los materiales que conforman el lecho marino de la zona de estudio son aptos para la alimentación de playas.

4.3.2 ZONA DE APORTACIÓN

Se han recogido 36 muestras para caracterizar la zona de aportación (MG-1 a MG-36). Las estaciones de muestreo se han distribuido en las cotas de 1,5 m (estaciones 1 a 9), 0 m (estaciones 10 a 18), -2,5 m (estaciones de 19 a 27) y -5 m (estaciones de 28 a 36), tal como aparece en la Figura 23.- .

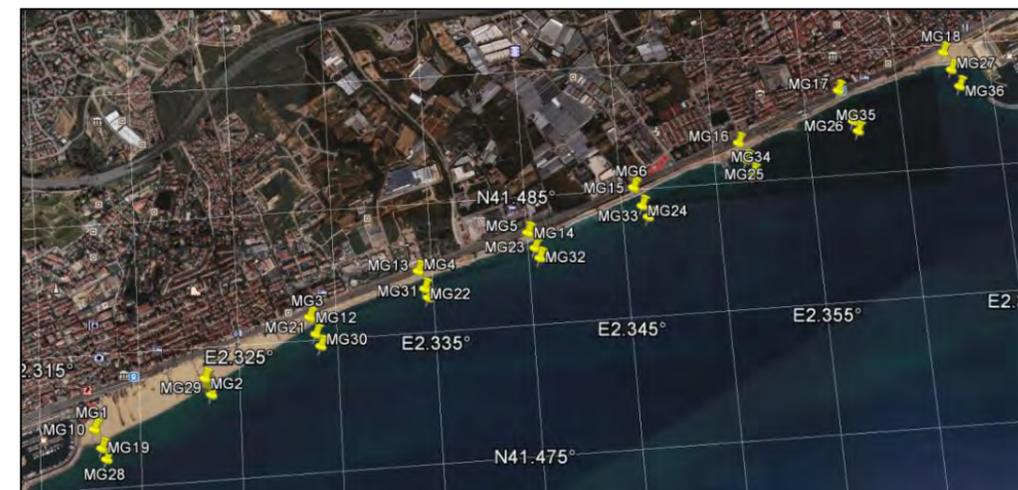


Figura 23.- Distribución de las estaciones de muestreo (Fuente: Tecnoambiente)

En la Tabla 4.- a 0se presentan los resultados de la caracterización granulométrica.

Tabla 4.- Resultados de la caracterización granulométrica en la zona de vertido (cota +1,5 m) (Fuente: Tecnoambiente)

Tipo	Unidad	MG1	MG2	MG3	MG4	MG5	MG6	MG7	MG8	MG9
Tamiz 2,00 mm	%	1,5	10,6	2,5	<0,5	<0,5	15,1	7,4	2,6	5,4
Tamiz 1,40-2,00 mm	%	9	25,6	9,9	2,6	3,5	22,7	12,8	6,7	9,5
Tamiz 1,0-1,40 mm	%	33,4	29,5	18,3	13,5	8,8	28,1	21,1	19,9	20
Tamiz 0,71-1,0 mm	%	45,5	22	27,1	42,1	19,7	21,6	29,6	39,2	30,5
Tamiz 0,60-0,71 mm	%	7,1	6,2	18,2	18,9	14,4	5,4	13,1	16,6	12,9
Tamiz 0,50-0,60 mm	%	1,5	3,2	14,9	12,3	18,4	3,6	9,2	9,2	9,8
Tamiz 0,35-0,50 mm	%	<0,5	0,9	7,1	7,6	23,5	1,9	4,9	4	8
Tamiz 0,25-0,35 mm	%	<0,5	<0,5	<0,5	1,1	8,2	<0,5	0,6	<0,5	1,9
Tamiz 0,18-0,25 mm	%	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,8	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tamiz 0,12-0,18 mm	%	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tamiz 0,063-0,12 mm	%	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tamiz <0,063 mm	%	1,4	1,8	1,5	1,6	2	1,5	1,2	1,7	1,9
Moda	-	AG	AMG	AG	AG	AG	AMG	AG	AG	AG
D50	mm	0,96	1,2	0,79	0,77	0,58	1,2	0,91	0,85	0,86

Tabla 5.- Resultados de la caracterización granulométrica en la zona de vertido (cota 0 m) (Fuente: Tecnoambiente)

Tipo	Unidad	MG10	MG11	MG12	MG13	MG14	MG15	MG16	MG17	MG18
Tamiz 2,00 mm	%	6,6	7,4	1,8	2,1	2,4	5	7,7	0,9	4
Tamiz 1,40-2,00 mm	%	12,5	13,9	3,6	5,5	6,4	6,6	14,2	5,3	17,3
Tamiz 1,0-1,40 mm	%	22,1	26,5	13,8	15,7	19,5	15,3	25	21,8	45,5
Tamiz 0,71-1,0 mm	%	33,2	34,5	39,4	32,8	33,9	34,6	27,7	49	21,7
Tamiz 0,60-0,71 mm	%	14,2	10,3	18,4	16,2	15	19,4	10,7	14,5	3,3
Tamiz 0,50-0,60 mm	%	8,3	4,8	13	12,4	11,5	12,5	7,8	5,5	2,5
Tamiz 0,35-0,50 mm	%	2,3	1,2	7,4	10,4	7,8	5,4	5,4	2,2	3,3
Tamiz 0,25-0,35 mm	%	<0,5	<0,5	<0,5	2,5	1,3	0,6	0,8	<0,5	1,9
Tamiz 0,18-0,25 mm	%	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tamiz 0,12-0,18 mm	%	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tamiz 0,063-0,12 mm	%	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tamiz <0,063 mm	%	0,7	1,1	2	2,2	2,1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Moda	-	AG	AMG							
D50	mm	0,92	0,98	0,77	0,76	0,81	0,81	0,97	0,87	1,1

Tabla 6.- Resultados de la caracterización granulométrica en la zona de vertido (cota -2,5 m) (Fuente: Tecnoambiente)

Tipo	Unidad	MG19	MG20	MG21	MG22	MG23	MG24	MG25	MG26	MG27
Tamiz 2,00 mm	%	0,7	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7	1,1	0,7
Tamiz 1,40-2,00 mm	%	1,5	0,9	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,1
Tamiz 1,0-1,40 mm	%	2,8	1	<0,5	0,8	<0,5	<0,5	0,8	<0,5	1,3
Tamiz 0,71-1,0 mm	%	18,5	2,1	0,8	1,7	<0,5	0,6	5,6	<0,5	1,1
Tamiz 0,60-0,71 mm	%	35	3,2	1	2	<0,5	0,6	11,2	<0,5	1,5
Tamiz 0,50-0,60 mm	%	31,6	8,4	2,8	5,4	2,9	0,9	22,7	0,8	1,9
Tamiz 0,35-0,50 mm	%	8,8	31,3	13,5	23,5	3,6	3	33,3	2,1	6,4
Tamiz 0,25-0,35 mm	%	0,6	33,4	34,5	44,1	25,2	5,8	16,6	4,5	14,8
Tamiz 0,18-0,25 mm	%	<0,5	15,3	40,5	19,9	57,5	41	7	23,1	35,8
Tamiz 0,12-0,18 mm	%	<0,5	2,7	4,9	1,4	3,2	28,3	1,5	40,8	23,7
Tamiz 0,063-0,12 mm	%	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	3,7	18,7	<0,5	23,5	10,9
Tamiz <0,063 mm	%	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,7	0,6	<0,5	2,4	0,9
Moda	-	AG	AM	AM	AM	AF	AF	AM	AF	AF
D50	mm	0,63	0,35	0,26	0,32	0,23	0,18	0,46	0,16	0,21

Tabla 7.- Resultados de la caracterización granulométrica en la zona de vertido (cota -5 m) (Fuente: Tecnoambiente)

Tipo	Unidad	MG28	MG29	MG30	MG31	MG32	MG33	MG34	MG35	MG36
Tamiz 2,00 mm	%	<0,5	0,6	<0,5	1,2	1,4	1	<0,5	1,1	<0,5
Tamiz 1,40-2,00 mm	%	1	<0,5	<0,5	0,7	<0,5	0,8	<0,5	<0,5	<0,5
Tamiz 1,0-1,40 mm	%	1,1	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tamiz 0,71-1,0 mm	%	3,6	2,7	1,1	0,6	0,7	0,6	<0,5	1	<0,5
Tamiz 0,60-0,71 mm	%	6,1	4,2	1,8	1	0,8	<0,5	<0,5	1,2	<0,5
Tamiz 0,50-0,60 mm	%	17,9	9,5	4,6	2,6	2,5	<0,5	<0,5	2,2	0,9
Tamiz 0,35-0,50 mm	%	40,5	32,5	15	12	10	0,6	1,5	4,8	3,5
Tamiz 0,25-0,35 mm	%	21,9	31	21,8	21,2	16,5	1,3	3,6	7	8,7
Tamiz 0,18-0,25 mm	%	6	13,9	32,4	34,7	25,9	4,2	15,2	13,7	19
Tamiz 0,12-0,18 mm	%	0,9	3,2	17,9	18,1	29,3	48,3	49,4	36,5	27,2
Tamiz 0,063-0,12 mm	%	<0,5	<0,5	4,5	6,4	11,4	40,6	27,2	30,7	37,7
Tamiz <0,063 mm	%	<0,5	0,9	0,6	1	0,7	1,6	0,8	1,3	1,5
Moda	-	AM	AM	AF						
D50	mm	0,43	0,36	0,24	0,23	0,2	0,13	0,15	0,15	0,15

Como se observa en los resultados, aparece una graduación en las distribuciones según la cota. En la cota +1,5 m de playa seca aparece una proporción mayoritaria de gravas a arenas gruesas, componiendo prácticamente la totalidad de la muestra, con una moda media de 0,90 mm. En la cota de 0 m, en la línea de agua, esta proporción mayoritaria se reparte entre arenas gruesas y muy gruesas, con una moda media de grano similar a playa seca de 0,89 mm. Según aumenta la profundidad de las estaciones las muestras incrementan las proporciones de la parte más fina de grano, con una moda media de 0,31 mm en la cota de -2,5 m. Finalmente en el tramo más profundo estudiado, cota de -5 m, se encuentra una moda media de 0,23 mm.

4.4 COMUNIDADES PLANCTÓNICAS

El fitoplancton está compuesto por las especies de algas microscópicas y constituye la puerta de entrada de energía solar en el ecosistema pelágico, además de ser la base de su mantenimiento por la constante transferencia de energía hacia otros niveles tróficos (bentos, por ejemplo). En relación a la producción, que también será comentada en este capítulo, los factores que la limitan suelen ser los elementos nutritivos y la luz. En cuanto a la composición específica, en total hay identificadas del orden de unas 500 especies pertenecientes a los grupos Flagelados, Dinoflagelados, Diatomeas, Silicoflagelados, Cianofíceas y Cocolitoforales.

Los parámetros definidores del fitoplancton (biomasa y producción) presentan variabilidad anuales relacionadas con la disponibilidad de nutrientes. En invierno existe una fase de descanso, con valores bajos de producción que da paso en primavera a la época más productiva. En verano desciende el número de células, la clorofila y la producción hasta entrar en invierno, con un segundo máximo relativo.

Finalmente, y en relación al ciclo anual, éste responde a las características estacionales ya comentadas para la calidad del agua. En otoño, en un momento dado, se produce la rotura de la termoclina, el agua se mezcla verticalmente y debido fundamentalmente al aporte de nutrientes (nitratos y fosfatos) tiene lugar una proliferación de diatomeas. Hacia el mes de enero se produce una interrupción en el aumento de fitoplancton.

La principal proliferación de fitoplancton en el ciclo anual tiene lugar entre mediados de febrero y mediados de marzo y, en general, aparece relacionada con la presencia de un afloramiento propiciado, según parece, por la acción del viento y la intercalación de aguas frías en profundidad. Al avanzar la estación, tiene lugar una discontinuidad hidrográfica y el plancton se hace súbitamente muy pobre. En los meses de abril y mayo la composición florística mayoritaria corresponde a las Diatomeas y a continuación la estratificación estival, marcada por intensos gradientes y un empobrecimiento casi absoluto en nutrientes de las aguas superficiales, con predominio en este caso de Dinoflagelados.

El zooplancton tiene a su cargo, como primer nivel de consumidores el concentrar la materia y la energía producidas por el fitoplancton que, debido a sus reducidas dimensiones y a su dispersión en el medio, requeriría un consumo de energía desproporcionado a su valor nutritivo si tuviese que ser

explotado por los peces directamente. El grupo más abundante es el de los Copépodos. Desde el punto de vista del funcionamiento de la red trófica, herbívoros y omnívoros componen entre el 70 y 95% de los grupos, en función de la época del año.

4.5 COMUNIDADES BENTÓNICAS

La cartografía bionómica se ha obtenido haciendo uso de las diferentes metodologías aplicadas, que en resumen, ha consistido en la integración de 4 fuentes principales de información: los resultados de la prospección de sónar de barrido lateral, el registro videográfico, el muestreo directo sobre los poblamientos bentónicos, y la consulta de otras cartografías procedentes de fuentes bibliográficas de la zona.

Para establecer la nomenclatura de los hábitats marinos, se ha seguido la clasificación jerárquica del "Inventario Español de Hábitats y Especies marinos (IEHEM)". El Inventario se constituye como el instrumento para recoger la distribución, abundancia, estado de conservación y la utilización de patrimonio natural, con especial atención a los elementos que precisen medidas específicas de conservación o hayan sido declarados de interés comunitario.

Tal y como prevé la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, el Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos forma parte de otro global denominado Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, regulado a través del Real Decreto 556/2011, de 20 de abril, para el desarrollo del Inventario español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

De manera que se han identificado un total de 2 hábitats, y se incluyen en los hábitats del piso infralitoral y circalitoral sedimentario (0304).

Hábitats del Piso Supralitoral sedimentario (0102):

Arenas medias supralitorales (01020104)

Hábitats del Piso Medioltoral sedimentario (0202):

Arenas finas y medias medioltorales (02020208)

Hábitats del Piso Infralitoral y circalitoral sedimentario (0304):

Arenas y arenas fangosas infralitorales y circalitorales (030402)

Arenas medias y finas infralitorales de zonas batidas (03040219)

Arenas finas infralitorales bien calibradas (03040220)

Hábitats de Praderas de fanerógamas (0305):

Praderas mediterráneas de Cymodocea Nodosa de zonas abiertas, profundas, sobre arenas (030509)

En la tabla siguiente se enumeran los hábitats marinos identificados y el rango batimétrico del área de estudio en el que se localizan.

Tabla 8.- Inventario español de hábitats marinos (Fuente: Tecnoambiente)

Inventario Español de hábitats marinos		
Código Hábitat	Descripción	Rango batimétrico
PISO SUPRALITORAL SEDIMENTARIO (0102)		
01020104	Arenas medias supralitorales.	>+0,5 m
PISO MEDIOLITORAL SEDIMENTARIO (0202)		
02020208	Arenas finas y medias mediolitorales.	+0,5 / +0 m
PISOS INFRALITORAL Y CIRCALITORAL SEDIMENTARIOS (0304)		
03040219	Arenas medias y finas infralitorales de zonas batidas	+0 / -5 m
03040220	Arenas finas infralitorales bien calibradas	-5 / -18m
PRADERAS DE FANERÓGAMAS (0305)		
030509	Praderas mediterráneas de <i>Cymodocea Nodosa</i> de zonas abiertas, profundas, sobre arenas	-6 / -9 m
Fuente: Guía interpretativa del Inventario Español de Hábitats Marinos http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/GUIA_INTERP_HABITATS_WEB_tcm7-270736.pdf		

4.5.1 HÁBITATS SEDIMENTARIOS SUPRALITORALES (0102) Y MEDIOLITORALES (0202)

En la parte superior de las playas barridas por las mareas o por la influencia de las olas, y de las llanuras sedimentaria se encuentran depósitos sedimentarios, que dependiendo de su granulometría pueden variar desde fangos, en las zonas más resguardadas, como estuarios y medios lagunares, a arenas, gravas y guijarros, en las zonas más abiertas. Se trata de uno de los ambientes de mayor uso recreativo. Desde el punto de vista biológico se caracteriza por la casi total ausencia de especies de la fauna y flora, debido a la inestabilidad de los sedimentos y las condiciones adversas de insolación y desecación. Sólo los restos vegetales arrojados a la playa, que aportan materia orgánica y humedad, permiten la presencia de especies detritívoras y, más raramente carroñeras. En la zona de estudio se encuentran las denominadas "arenas medias supralitorales" (01020104).

Ya en la parte más baja de las playas, batida por las olas, aumenta el número de especies, principalmente poliquetos, anfípodos y algunos bivalvos. En la zona de estudio se encuentran las denominadas "Arenas finas y medias mediolitorales" (02020208).

4.5.2 HÁBITATS DE ARENAS Y ARENAS FANGOSAS INFRALITORALES (030402)

En general, las arenas superficiales sometidas a la acción del oleaje, aparecen en un primer nivel batimétrico –franja de los 3 ó 4 primeros metros de profundidad–, constituyendo las denominadas "arenas medias y finas infralitorales de zonas batidas" (03040219). En este tipo de fondos no existen

macrófitos y las especies dominantes suelen ser principalmente moluscos bivalvos de las familias *Veneridae*, *Donacidae* y *Tellinidae*.

Por debajo de estos fondos de arenas finas superficiales, donde el oleaje deja de tener un efecto directo, aparecen unas arenas muy homogéneas de origen terrígeno poco enfangadas; en el Mediterráneo, son las denominadas "arenas finas infralitorales bien calibradas" (03040220). Ocupan grandes extensiones, a una profundidad de entre 5 y 20 m. La fauna de este tipo de fondos está constituida mayoritariamente por moluscos (bivalvos y gastrópodos), crustáceos, equinodermos y peces, con ausencia de algas y escasez de organismos suspensivos.

Este hábitat se encuentra representado en todo el ámbito de estudio.

4.5.3 HÁBITAT DE PRADERAS MEDITERRÁNEAS DE *CYMODOCEA NODOSA* DE ZONAS ABIERTAS, PROFUNDAS, SOBRE ARENAS (030509)

Esta fanerógama, de un tamaño notablemente inferior al de *Posidonia Oceanica*, presenta un desarrollo marcadamente estacional, cuyo crecimiento se produce entre mayo y octubre, siendo muy acusado en los meses de verano. Durante el invierno puede llegar a perder la totalidad de las hojas, persistiendo sólo los rizomas. *Cymodocea Nodosa* es, después de *Posidonia Oceanica*, la segunda fanerógama marina en importancia en el Mediterráneo, por su envergadura y por la extensión que ocupan sus praderas. Es una planta típicamente colonizadora o pionera, con una amplia tolerancia ambiental. Crece desde las aguas superficiales hasta unos 30 m de profundidad. Se encuentra muy diseminada y ocupa generalmente pequeñas extensiones, casi siempre sobre sustratos arenosos o arenoso-fangosos y, más raramente, rocosos.

En la mitad oriental de la zona de estudio se ha detectado la presencia de esta fanerógama en algunas zonas muy puntuales de entre las cotas de -6 y -9 m de profundidad y entre la -11 y la -12,5. Aparece como manchas muy dispersas y con una cobertura muy poco densa, tal como se ha podido comprobar en la Figura 17.- .

4.6 ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS

En el entorno de la zona del proyecto se localizan los siguientes espacios naturales protegidos (ver Figura 25.-):

- LIC Costes del Maresme (ES5110017). Se trata de un espacio marino con una superficie de 2906,36 Ha situado en la costa del Maresme frente a Mataró (ver Figura 24.-), que presenta un elevado interés de conservación ya que alberga una importante pradera de *Posidonia Oceanica*, fanerógama que genera los ecosistemas más importantes del Mediterráneo. Muchas especies encuentran los nutrientes necesarios para su supervivencia así como el hábitat adecuado entre los brotes de *Posidonia* y sus rizomas, que llegan a constituir un enorme entramado recubierto de sedimentos donde se alojan multitud de individuos. Los hábitats de interés comunitario (Anejo II de la Directiva 92/43 de Hábitats) presentes en el espacio son el

1120. Algares de posidonia y el 1170. Fondos marinos rocosos y concreciones biogénicas sublitorales. La única especie de interés comunitario (Anejo II de la Directiva 92/43 de Hábitats) de presencia probable en el espacio es la 1.224 *Caretta caretta*.

- LIC Serres del litoral septentrional (ES510011). Se trata de un conjunto fisiográfico complejo con una superficie de 19.463,2 Ha integrado por varias unidades, de las cuales la más cercana a la zona de proyecto es La Conreria - Serra de Sant Mateu - muntanyes de Céllecs (ver Figura 25.-), con predominio de materiales graníticos y esquistosos. Se trata de un espacio característico del país del encinar litoral donde tienen gran importancia las pinedas litorales del pino piñonero; su fauna es la característica de los ambientes mediterráneos, sólo con algunas penetraciones extra-mediterráneas en los enclaves más húmedos.

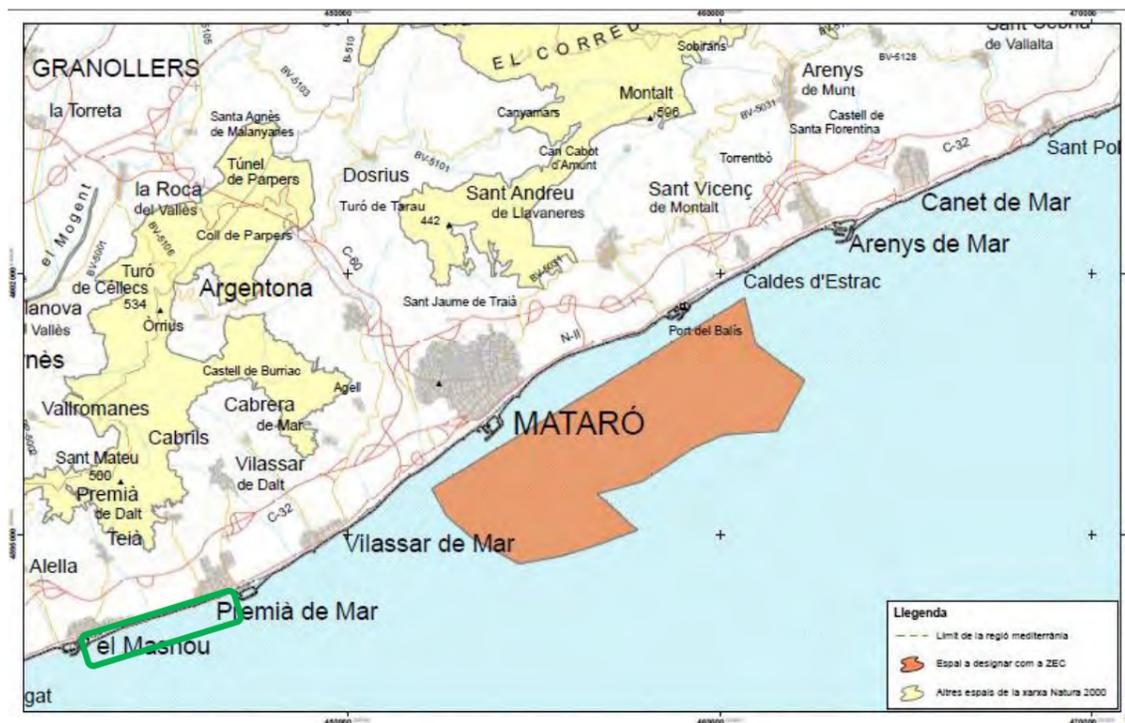


Figura 24.- Ubicación del LIC Costes del Maresme (ES510017) (Fuente: Generalitat de Catalunya)

4.7 ELEMENTOS ANTRÓPICOS

El listado de elementos antrópicos detectado en la zona de actuación se muestra en el Apéndice 1.

4.8 PATRIMONIO CULTURAL

No se han detectado elementos a tener en consideración en este capítulo.

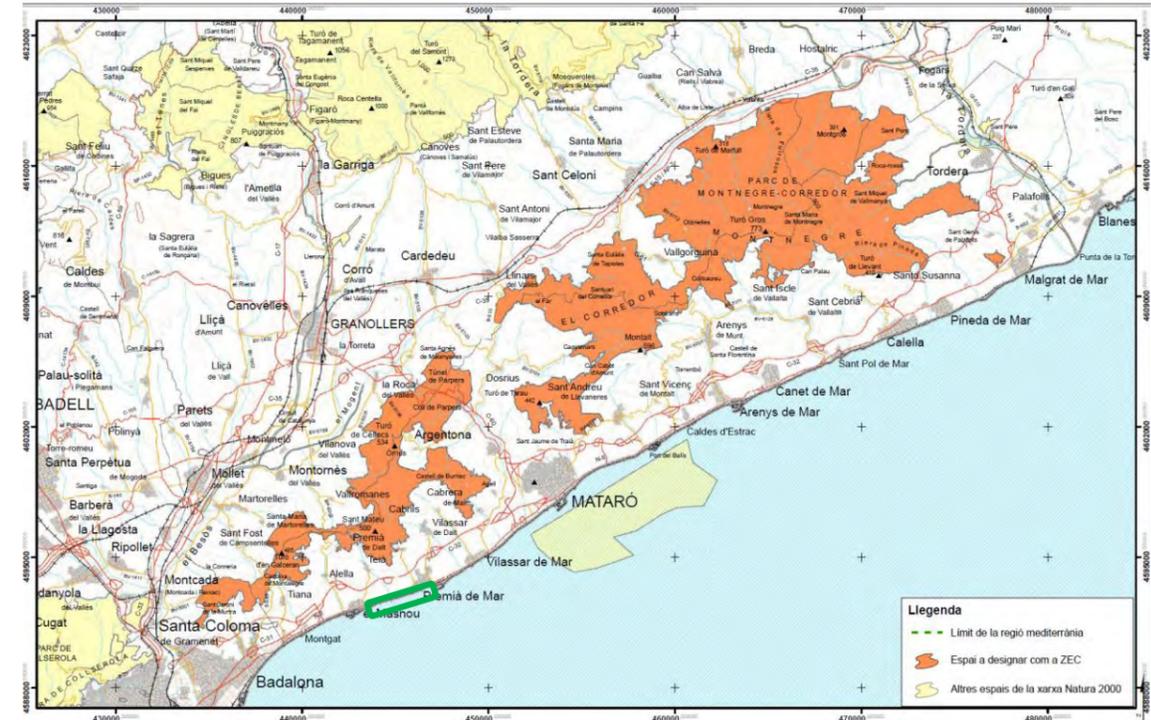
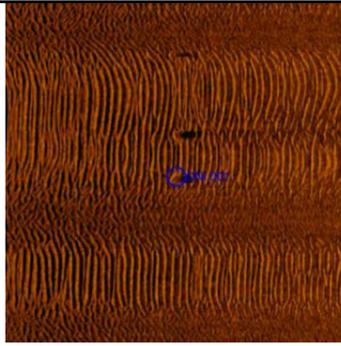
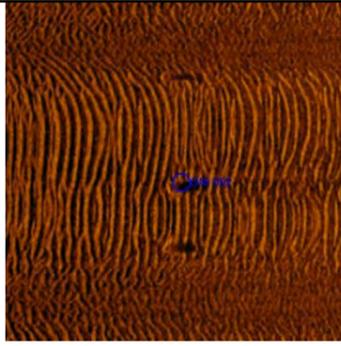
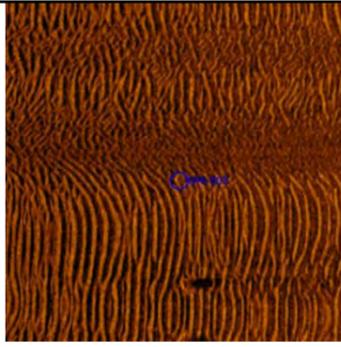
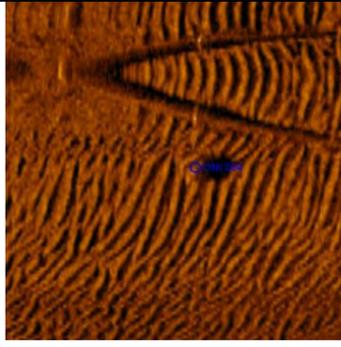
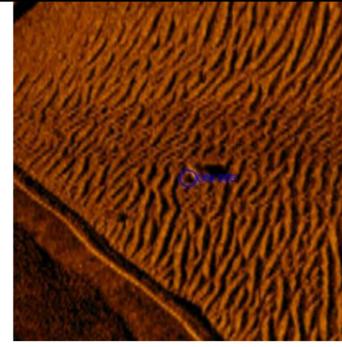
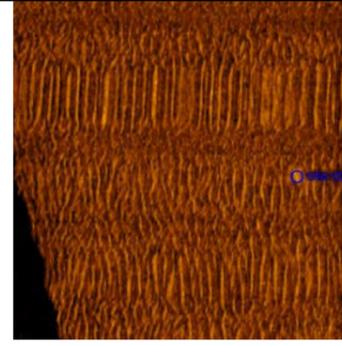
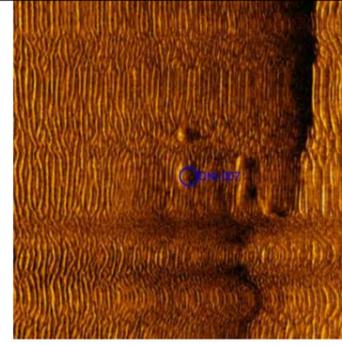
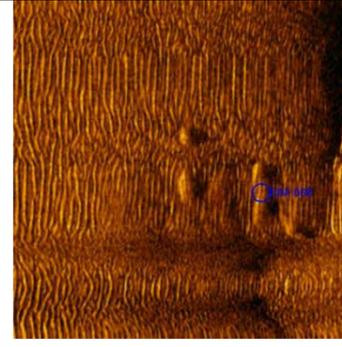
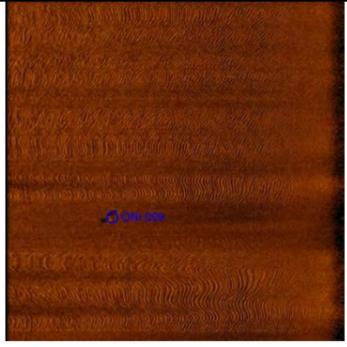
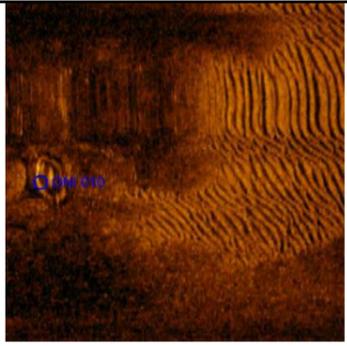
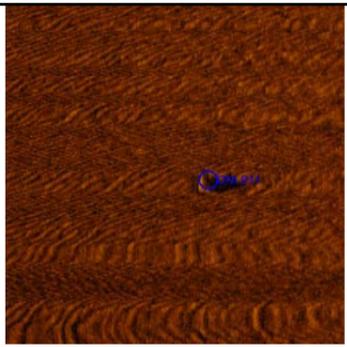
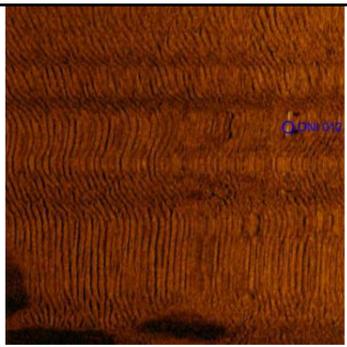


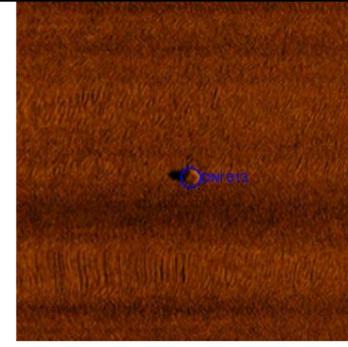
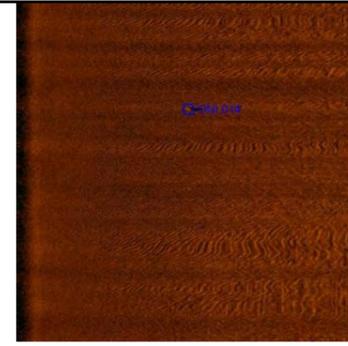
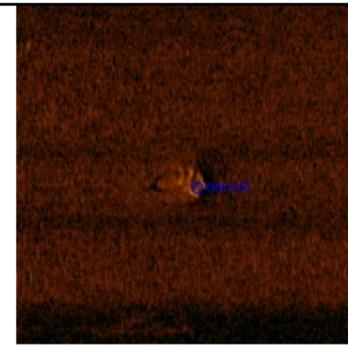
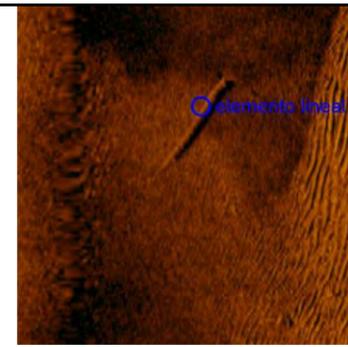
Figura 25.- Ubicación del LIC Serres del litoral septentrional (ES510011) (Fuente: Generalitat de Catalunya)

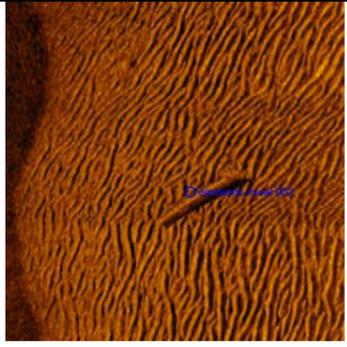
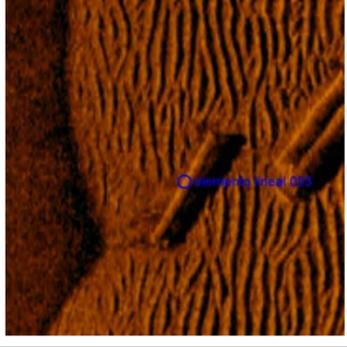
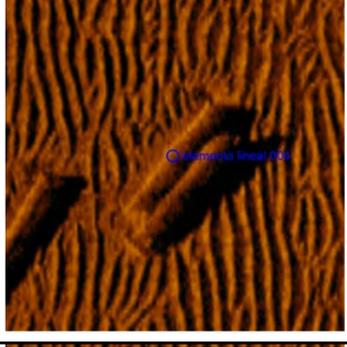
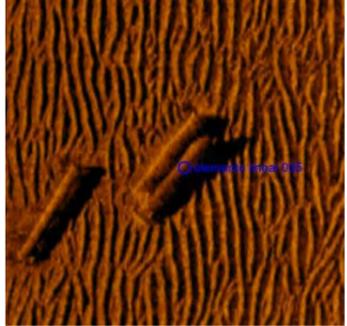
APÉNDICE 1. LISTADO DE ELEMENTOS ANTRÓPICOS DETECTADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO

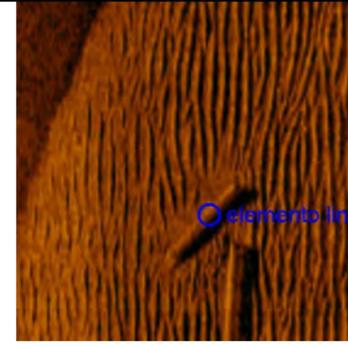
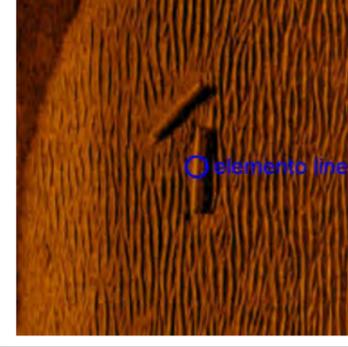
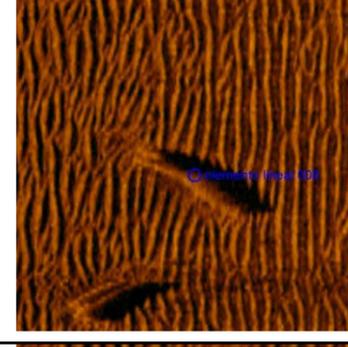
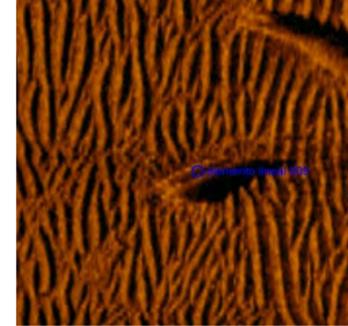
Imagen del blanco	Información del blanco	Dimensiones y atributos
	ONI 001 • Posición clic 41,4799163868 2,3356561341 (WGS84) (X) 444534,74 (Y) 4592247,55 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N	Dimensiones y atributos • Ancho del blanco: 0,80 (m) • Longitud del blanco: 1,03 (m) • Sombra del blanco: 1,14 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,
	ONI 002 • Posición clic 41,4798916229 2,3355931723 (WGS84) (X) 444529,46 (Y) 4592244,84 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N	Dimensiones y atributos • Ancho del blanco: 0,41 (m) • Longitud del blanco: 1,23 (m) • Sombra del blanco: 1,31 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,
	ONI 003 • Posición clic 41,4798754894 2,3355129860 (WGS84) (X) 444522,75 (Y) 4592243,10 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N	Dimensiones y atributos • Ancho del blanco: 0,30 (m) • Longitud del blanco: 0,24 (m) • Sombra del blanco: 1,50 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,
	ONI 004 • Posición clic 41,4804670876 2,3371054754 (WGS84) (X) 444656,21 (Y) 4592307,76 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N	Dimensiones y atributos • Ancho del blanco: 0,91 (m) • Longitud del blanco: 0,81 (m) • Sombra del blanco: 1,45 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal junto a objeto lineal,

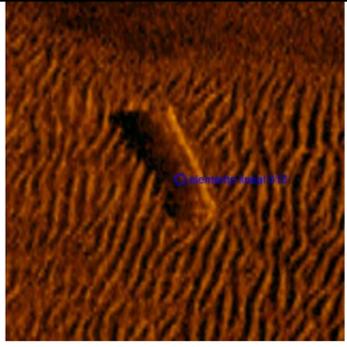
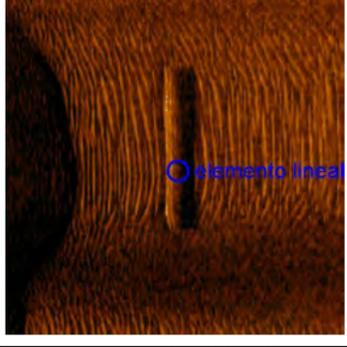
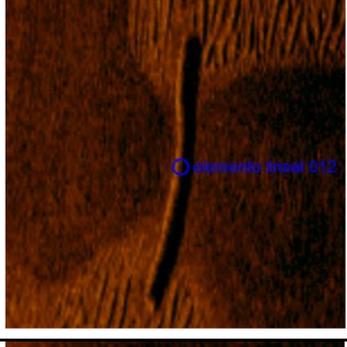
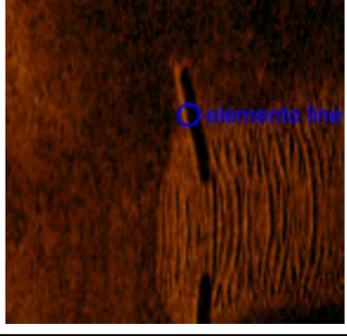
	ONI 005 • Posición clic 41,4805158064 2,3371667292 (WGS84) (X) 444661,37 (Y) 4592313,13 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N	Dimensiones y atributos • Ancho del blanco: 0,39 (m) • Longitud del blanco: 0,78 (m) • Sombra del blanco: 1,02 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,
	ONI 006 • Posición clic 41,4809012057 2,3415328994 (WGS84) (X) 445026,22 (Y) 4592353,14 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N	Dimensiones y atributos • Ancho del blanco: 0,61 (m) • Longitud del blanco: 1,15 (m) • Sombra del blanco: 2,71 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,
	ONI 007 • Posición clic 41,4852322410 2,3612274796 (WGS84) (X) 446674,03 (Y) 4592821,64 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N	Dimensiones y atributos • Ancho del blanco: 0,68 (m) • Longitud del blanco: 2,57 (m) • Sombra del blanco: 0,95 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,
	ONI 008 • Posición clic 41,4851889953 2,3612590625 (WGS84) (X) 446676,63 (Y) 4592816,82 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N	Dimensiones y atributos • Ancho del blanco: 0,56 (m) • Longitud del blanco: 5,05 (m) • Sombra del blanco: 1,03 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,

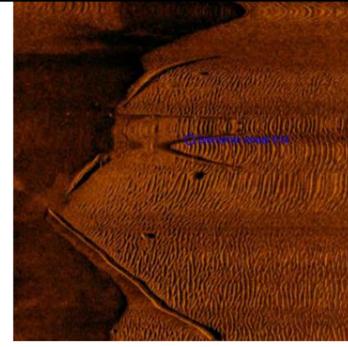
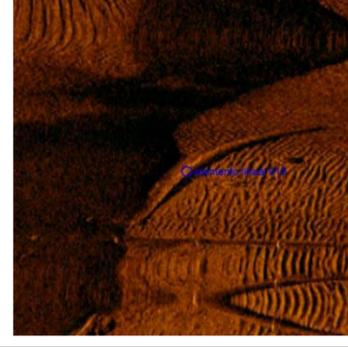
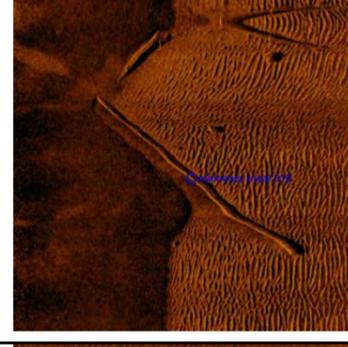
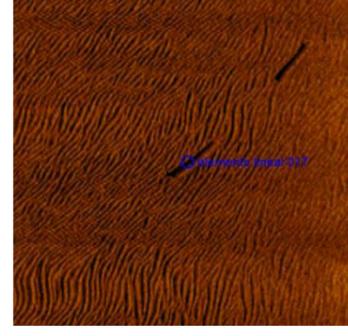
	<p>ONI 009</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4791186699 2,3366539022 (WGS84) (X) 444617,36 (Y) 4592158,35 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,00 (m) • Longitud del blanco: 0,00 (m) • Sombra del blanco: 0,00 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,
	<p>ONI 010</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4667041276 2,3188689106 (WGS84) (X) 443121,64 (Y) 4590791,63 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 2,17 (m) • Longitud del blanco: 3,38 (m) • Sombra del blanco: 0,00 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,
	<p>ONI 011</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4767627004 2,3304298410 (WGS84) (X) 444095,69 (Y) 4591900,80 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 1,04 (m) • Longitud del blanco: 2,07 (m) • Sombra del blanco: 2,79 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,
	<p>ONI 012</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4744037045 2,3491972959 (WGS84) (X) 445660,68 (Y) 4591626,94 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,00 (m) • Longitud del blanco: 2,81 (m) • Sombra del blanco: 0,00 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal, dentro de la zona de dragado,

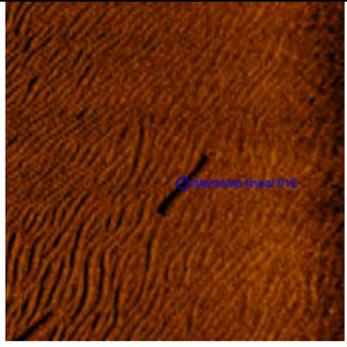
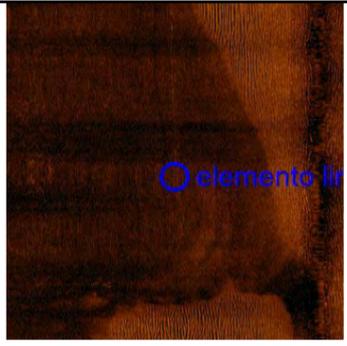
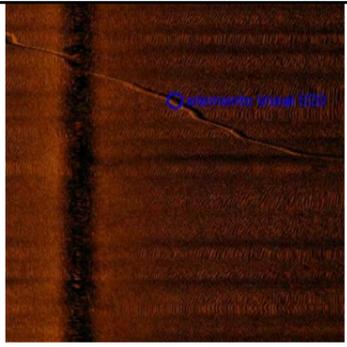
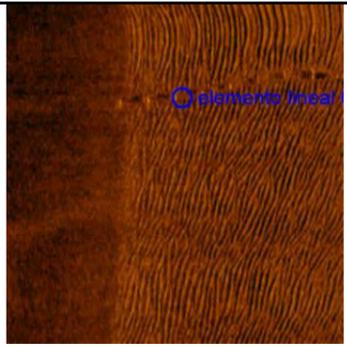
	<p>ONI 013</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4828938096 2,3623274912 (WGS84) (X) 446763,95 (Y) 4592561,35 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 1,05 (m) • Longitud del blanco: 0,94 (m) • Sombra del blanco: 1,48 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,
	<p>ONI 014</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4768630686 2,3311104757 (WGS84) (X) 444152,60 (Y) 4591911,50 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,00 (m) • Longitud del blanco: 0,00 (m) • Sombra del blanco: 0,00 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,
	<p>ONI 015</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4828289634 2,3545189020 (WGS84) (X) 446111,99 (Y) 4592558,98 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 1,29 (m) • Longitud del blanco: 1,00 (m) • Sombra del blanco: 0,40 (m) • Descripción: Objeto no identificado de morfología irregular no lineal,
	<p>Elemento lineal 001</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4789097363 2,3297247443 (WGS84) (X) 444038,67 (Y) 4592139,62 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,56 (m) • Longitud del blanco: 9,55 (m) • Sombra del blanco: 0,27 (m) • Descripción: Posible tubería

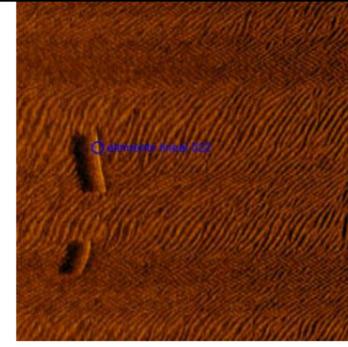
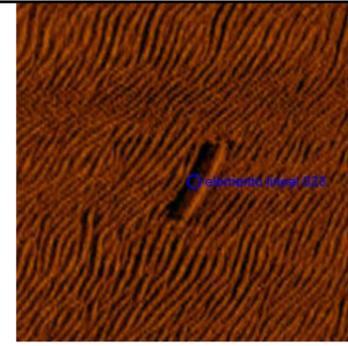
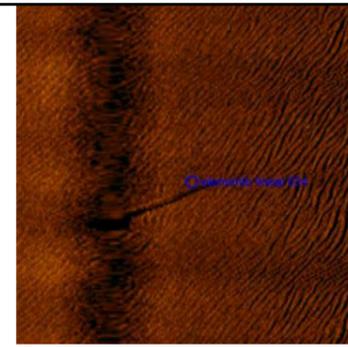
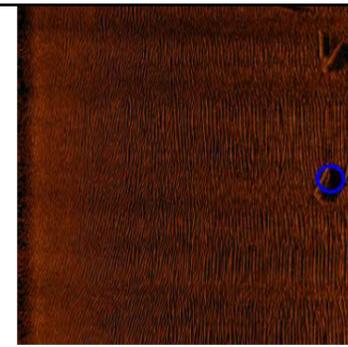
	<p>Elemento lineal 002</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4788766026 2,3301963090 (WGS84) (X) 444078,01 (Y) 4592135,63 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,54 (m) • Longitud del blanco: 6,33 (m) • Sombra del blanco: 0,23 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 003</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4795043377 2,3329175458 (WGS84) (X) 444305,74 (Y) 4592203,57 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,42 (m) • Longitud del blanco: 6,15 (m) • Sombra del blanco: 1,11 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 004</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4794390958 2,3328788723 (WGS84) (X) 444302,46 (Y) 4592196,35 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,79 (m) • Longitud del blanco: 5,13 (m) • Sombra del blanco: 1,11 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 005</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4794334546 2,3328947476 (WGS84) (X) 444303,78 (Y) 4592195,71 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,74 (m) • Longitud del blanco: 5,77 (m) • Sombra del blanco: 1,80 (m) • Descripción: Posible tubería

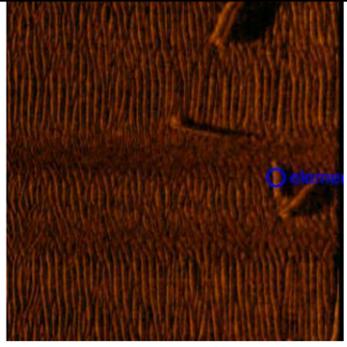
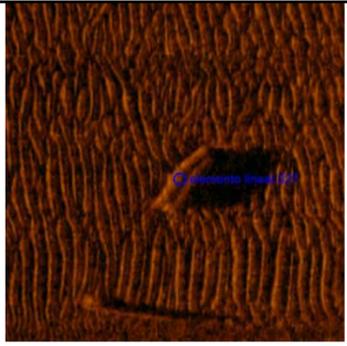
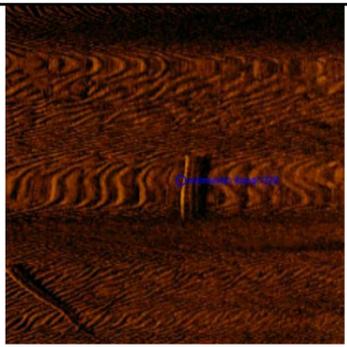
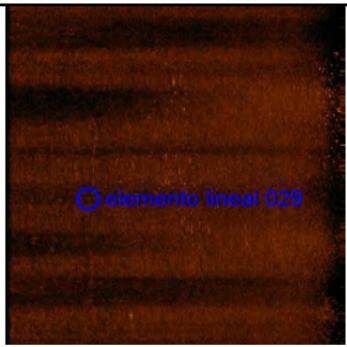
	<p>Elemento lineal 006</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4795320094 2,3331876842 (WGS84) (X) 444328,32 (Y) 4592206,47 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,56 (m) • Longitud del blanco: 6,24 (m) • Sombra del blanco: 1,08 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 007</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4795308971 2,3332554830 (WGS84) (X) 444333,98 (Y) 4592206,30 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,79 (m) • Longitud del blanco: 7,11 (m) • Sombra del blanco: 1,08 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 008</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4795013018 2,3335333792 (WGS84) (X) 444357,16 (Y) 4592202,83 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,83 (m) • Longitud del blanco: 5,53 (m) • Sombra del blanco: 1,45 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 009</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4795638917 2,3336362483 (WGS84) (X) 444365,80 (Y) 4592209,72 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,63 (m) • Longitud del blanco: 2,64 (m) • Sombra del blanco: 1,94 (m) • Descripción: Posible tubería

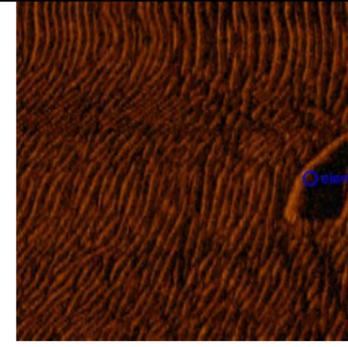
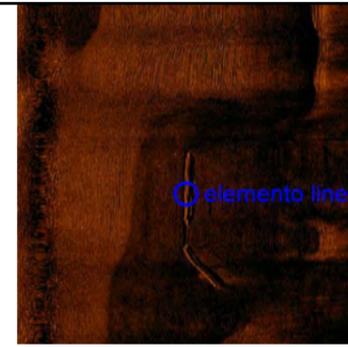
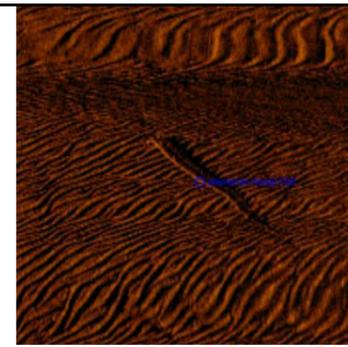
	<p>Elemento lineal 010</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4801455969 2,3336727005 (WGS84) (X) 444369,34 (Y) 4592274,27 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 1,23 (m) • Longitud del blanco: 4,48 (m) • Sombra del blanco: 1,24 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 011</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4801630372 2,3368878702 (WGS84) (X) 444637,79 (Y) 4592274,15 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 1,40 (m) • Longitud del blanco: 14,07 (m) • Sombra del blanco: 1,06 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 012</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4804885924 2,3369109300 (WGS84) (X) 444639,99 (Y) 4592310,28 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,34 (m) • Longitud del blanco: 13,29 (m) • Sombra del blanco: 0,56 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 013</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4804262703 2,3366909443 (WGS84) (X) 444621,57 (Y) 4592303,50 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,50 (m) • Longitud del blanco: 7,83 (m) • Sombra del blanco: 0,94 (m) • Descripción: Posible tubería

	<p>Elemento lineal 014</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4817563517 2,3439836634 (WGS84) (X) 445231,55 (Y) 4592446,52 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,00 (m) • Longitud del blanco: 0,00 (m) • Sombra del blanco: 0,00 (m) • Descripción: Posible tubería, Imagen deformada,
	<p>Elemento lineal 015</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4805038973 2,3372681054 (WGS84) (X) 444669,82 (Y) 4592311,75 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,46 (m) • Longitud del blanco: 14,25 (m) • Sombra del blanco: 0,72 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 016</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4805102435 2,3372606579 (WGS84) (X) 444669,20 (Y) 4592312,45 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,63 (m) • Longitud del blanco: 30,26 (m) • Sombra del blanco: 0,65 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 017</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4795529141 2,3374464005 (WGS84) (X) 444683,90 (Y) 4592206,05 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,71 (m) • Longitud del blanco: 4,47 (m) • Sombra del blanco: 0,70 (m) • Descripción: Posible tubería

	<p>Elemento lineal 018</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4796571126 2,3375535040 (WGS84) (X) 444692,93 (Y) 4592217,55 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,48 (m) • Longitud del blanco: 3,88 (m) • Sombra del blanco: 0,33 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 019</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4821001741 2,3513360933 (WGS84) (X) 445845,66 (Y) 4592480,06 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 49,36 (m) • Longitud del blanco: 0,00 (m) • Sombra del blanco: 0,00 (m) • Descripción: Posible cabo
	<p>Elemento lineal 020</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4730140753 2,3418484370 (WGS84) (X) 445045,90 (Y) 4591477,31 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,88 (m) • Longitud del blanco: 78,94 (m) • Sombra del blanco: 1,32 (m) • Descripción: Posible tubería dentro de la zona de dragado
	<p>Elemento lineal 021</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4753196902 2,3199348773 (WGS84) (X) 443218,17 (Y) 4591747,43 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,58 (m) • Longitud del blanco: 22,86 (m) • Sombra del blanco: 0,00 (m) • Descripción: Posible tubería con bloques de anclaje

	<p>Elemento lineal 022</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4793837427 2,3378535041 (WGS84) (X) 444717,74 (Y) 4592187,01 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,96 (m) • Longitud del blanco: 5,51 (m) • Sombra del blanco: 0,99 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 023</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4796409763 2,3381204426 (WGS84) (X) 444740,25 (Y) 4592215,40 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,43 (m) • Longitud del blanco: 5,18 (m) • Sombra del blanco: 0,77 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 024</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4788414527 2,3330094883 (WGS84) (X) 444312,85 (Y) 4592129,91 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,72 (m) • Longitud del blanco: 9,49 (m) • Sombra del blanco: 0,17 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 025</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4796238684 2,3338824589 (WGS84) (X) 444386,41 (Y) 4592216,22 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 1,39 (m) • Longitud del blanco: 7,28 (m) • Sombra del blanco: 3,48 (m) • Descripción: Posible tubería

	<p>Elemento lineal 026</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4796872886 2,3342473133 (WGS84) (X) 444416,92 (Y) 4592223,02 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,90 (m) • Longitud del blanco: 4,12 (m) • Sombra del blanco: 1,28 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 027</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4796948862 2,3345256577 (WGS84) (X) 444440,17 (Y) 4592223,69 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,93 (m) • Longitud del blanco: 4,84 (m) • Sombra del blanco: 3,88 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 028</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4756741742 2,3384982882 (WGS84) (X) 444768,43 (Y) 4591774,77 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,28 (m) • Longitud del blanco: 6,27 (m) • Sombra del blanco: 1,57 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 029</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4836800802 2,3573697576 (WGS84) (X) 446350,70 (Y) 4592651,70 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,00 (m) • Longitud del blanco: 0,00 (m) • Sombra del blanco: 0,00 (m) • Descripción: Posible cabo

	<p>Elemento lineal 030</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4789105393 2,3306385019 (WGS84) (X) 444114,96 (Y) 4592139,11 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,89 (m) • Longitud del blanco: 10,60 (m) • Sombra del blanco: 2,78 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 031</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4712534333 2,3271453449 (WGS84) (X) 443816,70 (Y) 4591291,29 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,51 (m) • Longitud del blanco: 11,47 (m) • Sombra del blanco: 1,99 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 032</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4712767458 2,3273584642 (WGS84) (X) 443834,51 (Y) 4591293,74 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 1,01 (m) • Longitud del blanco: 15,28 (m) • Sombra del blanco: 1,00 (m) • Descripción: Posible tubería
	<p>Elemento lineal 033</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición clic 41,4755238637 2,3383875179 (WGS84) (X) 444759,05 (Y) 4591758,15 (Coordenadas proyectadas) • Proyección del mapa: UTM84-31N 	<p>Dimensiones y atributos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho del blanco: 0,38 (m) • Longitud del blanco: 9,66 (m) • Sombra del blanco: 1,47 (m) • Descripción: Posible tubería

APÉNDICE 2. PLANOS

420000

440000

460000

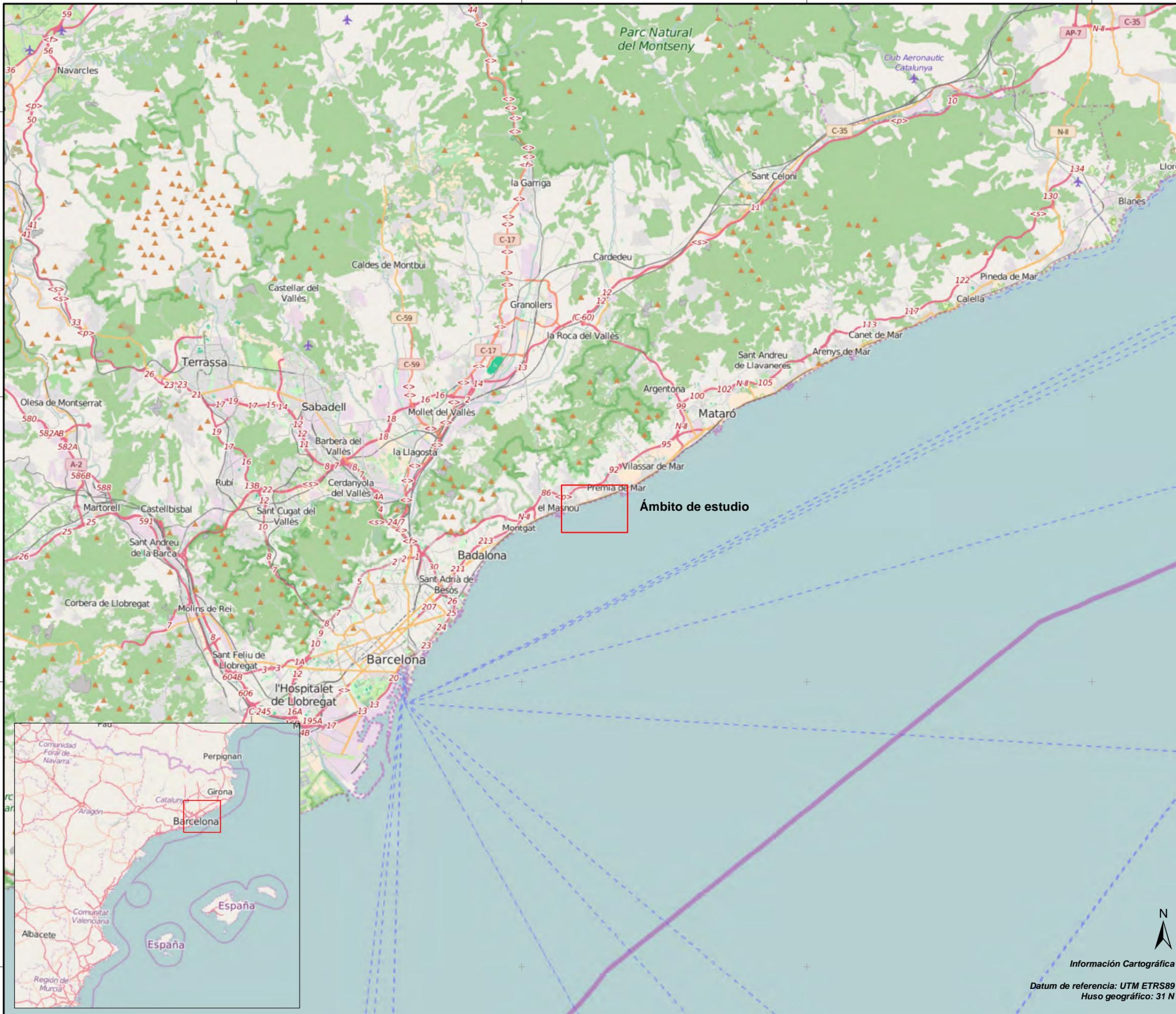
480000

4620000

4600000

4580000

4560000



TÍTULO DEL PROYECTO

PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MARESME; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar
Demarcación de Costas en Cataluña

TÍTULO DEL PLANO

SITUACIÓN DEL ESTUDIO

Nº PLANO A1.1	ESCALA DIN A3 1:250,000
FECHA JUNIO 2016	0 1.25 2.5 5 Kilómetros

MAPA SITUACIÓN

LEYENDA

Ámbito de estudio





Información Cartográfica

Datum de referencia: UTM ETRS89
Huso geográfico: 31 N

443000

444000

445000

446000

447000

4594000

4593000

4592000

4591000

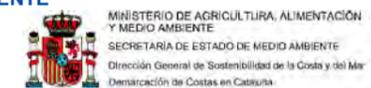
4590000



TÍTULO DEL PROYECTO

PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MARESME; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE



TÍTULO DEL PLANO

ÁMBITO DE ESTUDIO

Nº PLANO

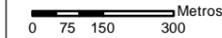
A1.2

ESCALA

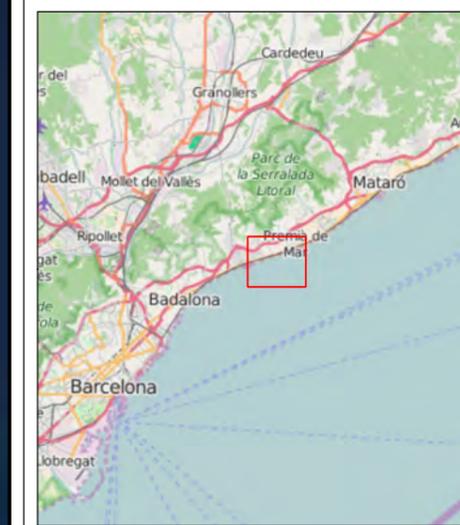
DIN A3 1:15,000

FECHA

JUNIO 2016



MAPA SITUACIÓN



LEYENDA

- Zona de dragado
- Zona de estudio



Información Cartográfica
 Datum de referencia: UTM ETRS89
 Huso geográfico: 31 N



443000

444000

445000

446000

447000

4594000

4593000

4592000

4591000

4590000



TÍTULO DEL PROYECTO

PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MAREMJE; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE



TÍTULO DEL PLANO

TOPO-BATIMETRÍA GENERAL

Nº PLANO

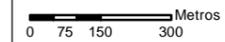
A1.3.1

ESCALA

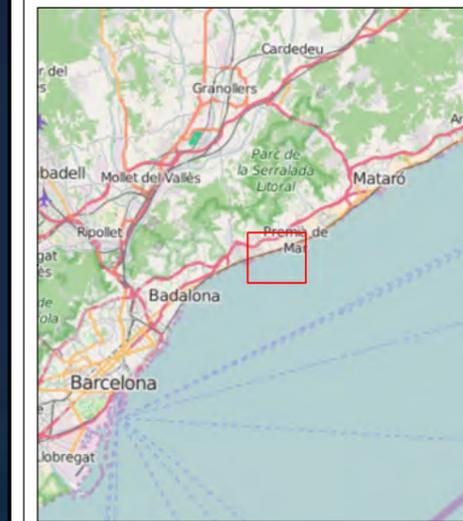
DIN A3 1:15,000

FECHA

JUNIO 2016



MAPA SITUACIÓN



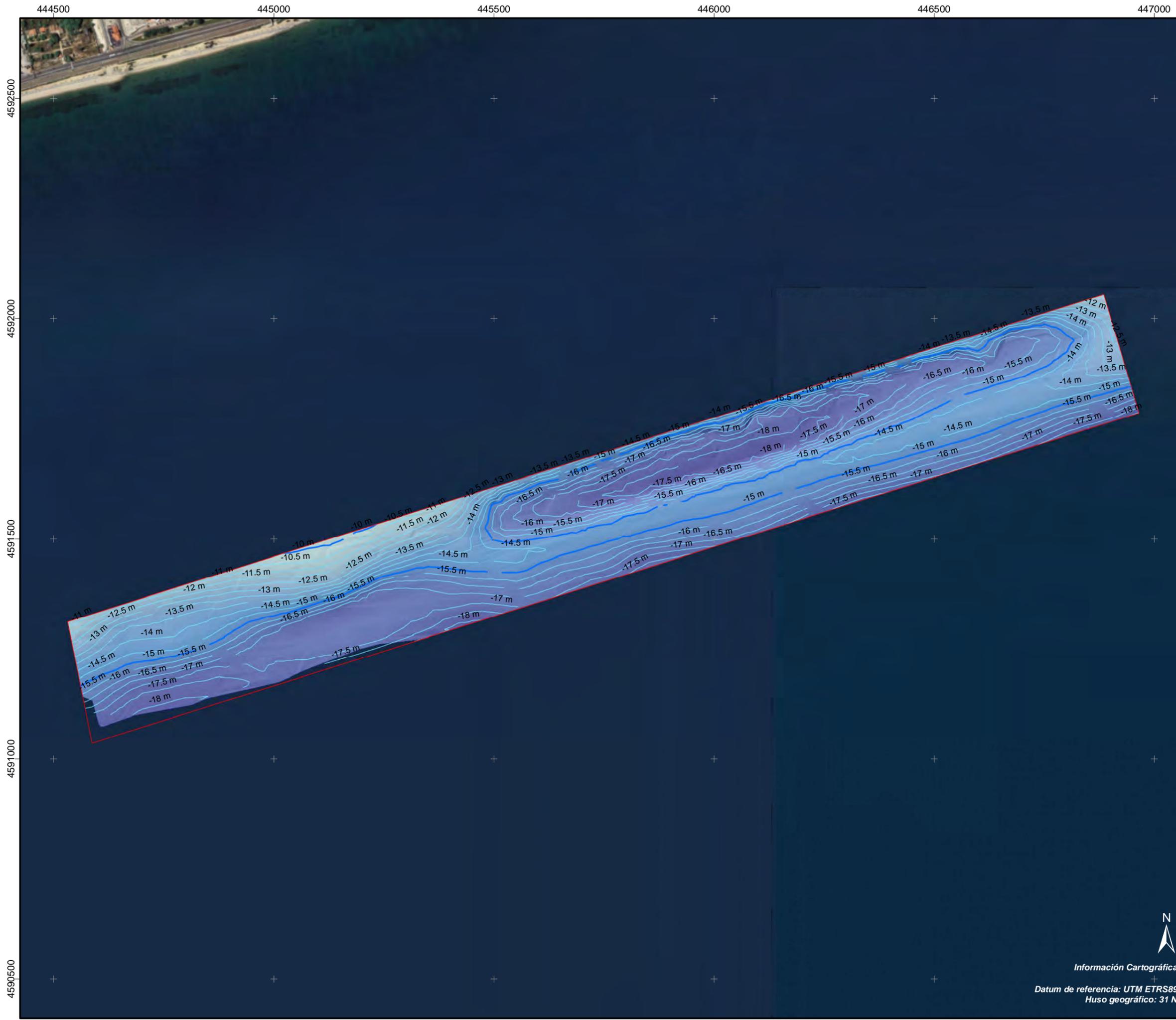
LEYENDA

- Topografía:**
- Isóbatas (0.5 m)
 - Isóbatas (1 m)
 - Línea de costa (cota 0)
- Batimetría:**
- Isóbatas (1 m)
 - Isóbatas (5 m)



Información Cartográfica

Datum de referencia: UTM ETRS89
Huso geográfico: 31 N

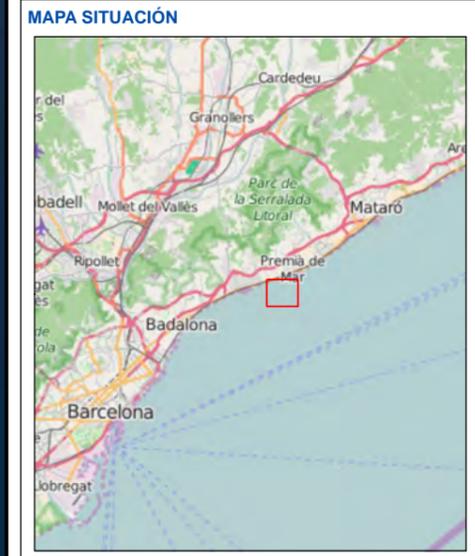


TÍTULO DEL PROYECTO
PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MARESME; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE
 MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
 SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
 Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar
 Demarcación de Costas en Cataluña

TÍTULO DEL PLANO
 BATIMETRÍA EN LA ZONA DE DRAGADO

Nº PLANO A1.3.2	ESCALA DIN A3 1:8,000
FECHA JUNIO 2016	



LEYENDA

- Zona de dragado
- Batimetría:**
- Isóbatas (1 m)
- Isóbatas (5 m)



Información Cartográfica
 Datum de referencia: UTM ETRS89
 Huso geográfico: 31 N

443000

444000

445000

446000

447000

4594000

4593000

4592000

4591000

4590000



TÍTULO DEL PROYECTO

PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MAREME; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE



TÍTULO DEL PLANO

PROYECTO DE LÍNEAS PARA SSS Y SBP

Nº PLANO

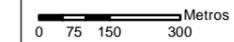
A1.4.1

ESCALA

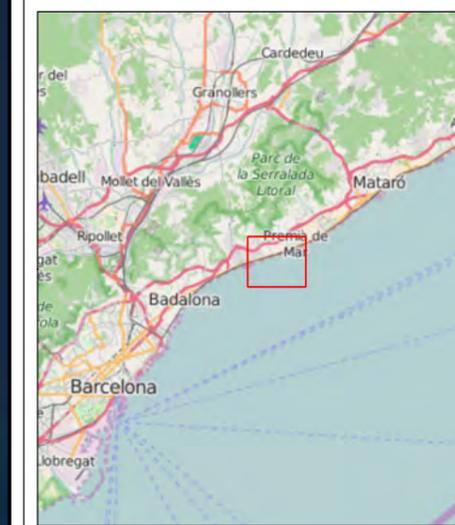
DIN A3 1:15,000

FECHA

JUNIO 2016



MAPA SITUACIÓN



LEYENDA

- Zona de dragado
- Zona de estudio
- Líneas SBP zona dragado
- Líneas SSS
- Líneas SBP y SSS zona dragado



Información Cartográfica
Datum de referencia: UTM ETRS89
Huso geográfico: 31 N

443000

444000

445000

446000

447000

4594000

4593000

4592000

4591000

4590000



TÍTULO DEL PROYECTO

PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MARESME; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar
Demarcación de Costas en Cataluña

TÍTULO DEL PLANO

MOSAICO DE SONOGRAFÍAS DE SSS

Nº PLANO

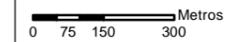
A1.4.2

ESCALA

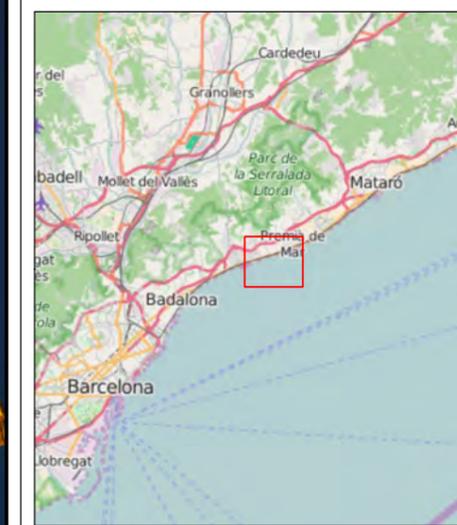
DIN A3 1:15,000

FECHA

JUNIO 2016



MAPA SITUACIÓN



LEYENDA



Información Cartográfica
Datum de referencia: UTM ETRS89
Huso geográfico: 31 N

443000

444000

445000

446000

447000

4594000

4593000

4592000

4591000

4590000



TÍTULO DEL PROYECTO

PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MAREME; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar
Demarcación de Costas en Cataluña

TÍTULO DEL PLANO

GEOMORFOLOGÍA DE FONDO

Nº PLANO

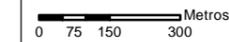
A1.4.3

ESCALA

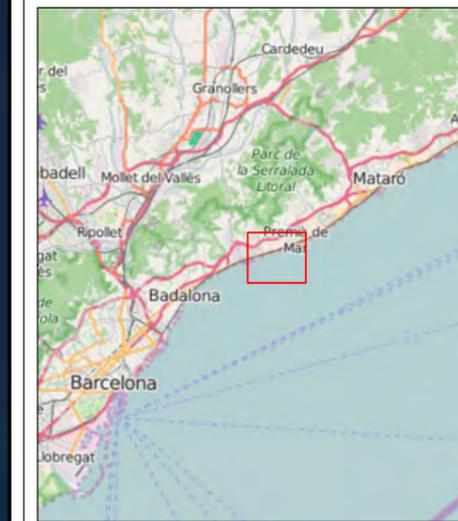
DIN A3 1:15,000

FECHA

JUNIO 2016



MAPA SITUACIÓN



LEYENDA

-  Arenas con ripples
-  Arenas finas
-  Pradera de Cymodocea nodosa
-  Espigón
-  Playa emergida
-  Relleno espigón



Información Cartográfica
Datum de referencia: UTM ETRS89
Huso geográfico: 31 N

444500 445000 445500 446000 446500 447000

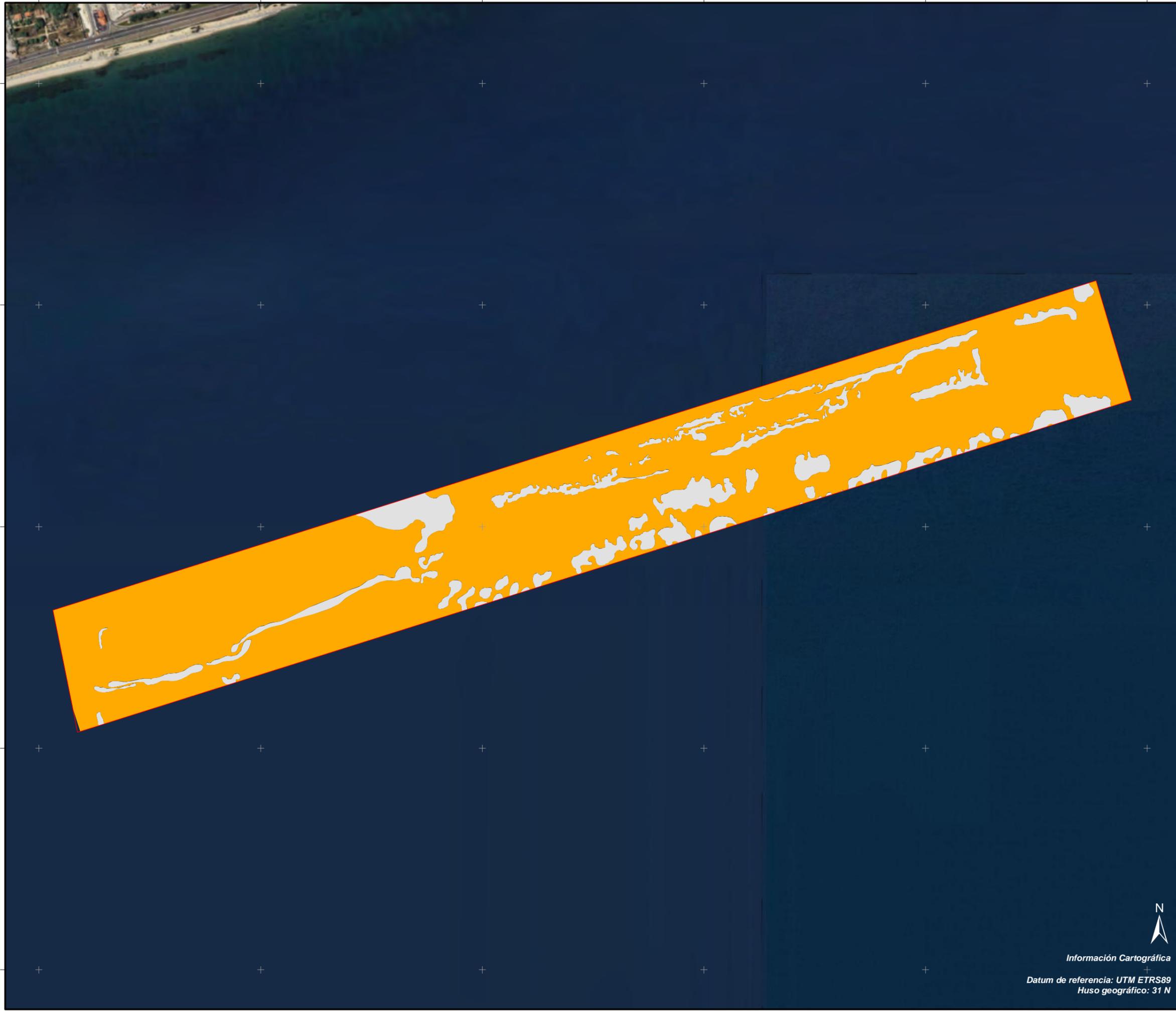
4592500

4592000

4591500

4591000

4590500

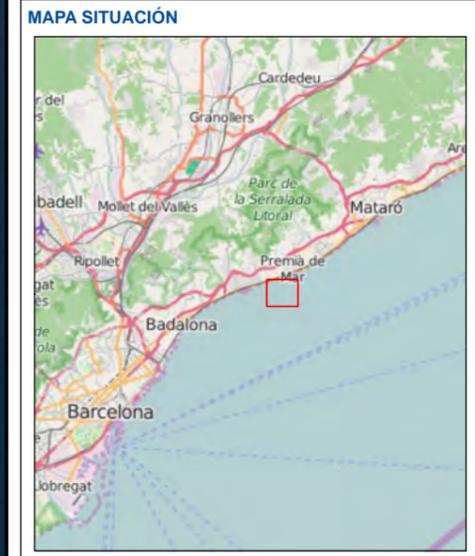


TÍTULO DEL PROYECTO
PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MARESME; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE
 MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
 SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
 Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar
 Demarcación de Costas en Cataluña

TÍTULO DEL PLANO
 GEOMORFOLOGÍA DE FONDO EN LA ZONA DE DRAGADO

Nº PLANO A1.4.4	ESCALA DIN A3 1:8,000
FECHA JUNIO 2016	Metros



LEYENDA

- Zona de dragado
- Arenas con ripples
- Arenas finas



Información Cartográfica
 Datum de referencia: UTM ETRS89
 Huso geográfico: 31 N

443000

444000

445000

446000

447000

4594000

4593000

4592000

4591000

4590000



TÍTULO DEL PROYECTO

PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MARESME; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar
Demarcación de Costas en Cataluña

TÍTULO DEL PLANO

ELEMENTOS ANTRÓPICOS OBSERVADOS EN SSS

Nº PLANO

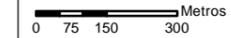
A1.4.5

ESCALA

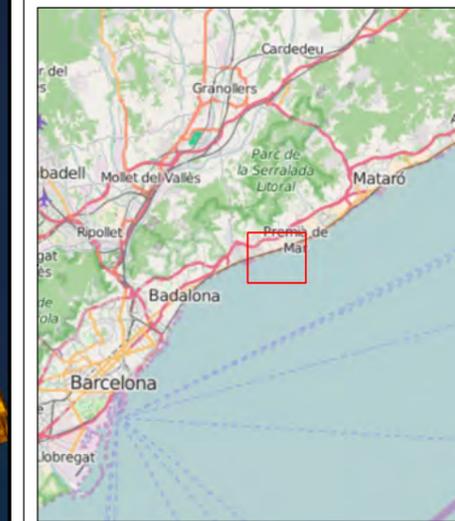
DIN A3 1:15,000

FECHA

JUNIO 2016



MAPA SITUACIÓN



LEYENDA

- Elementos antrópicos puntuales
- Elementos antrópicos lineales
- Cabos



Información Cartográfica

Datum de referencia: UTM ETRS89
Huso geográfico: 31 N

443000

444000

445000

446000

447000

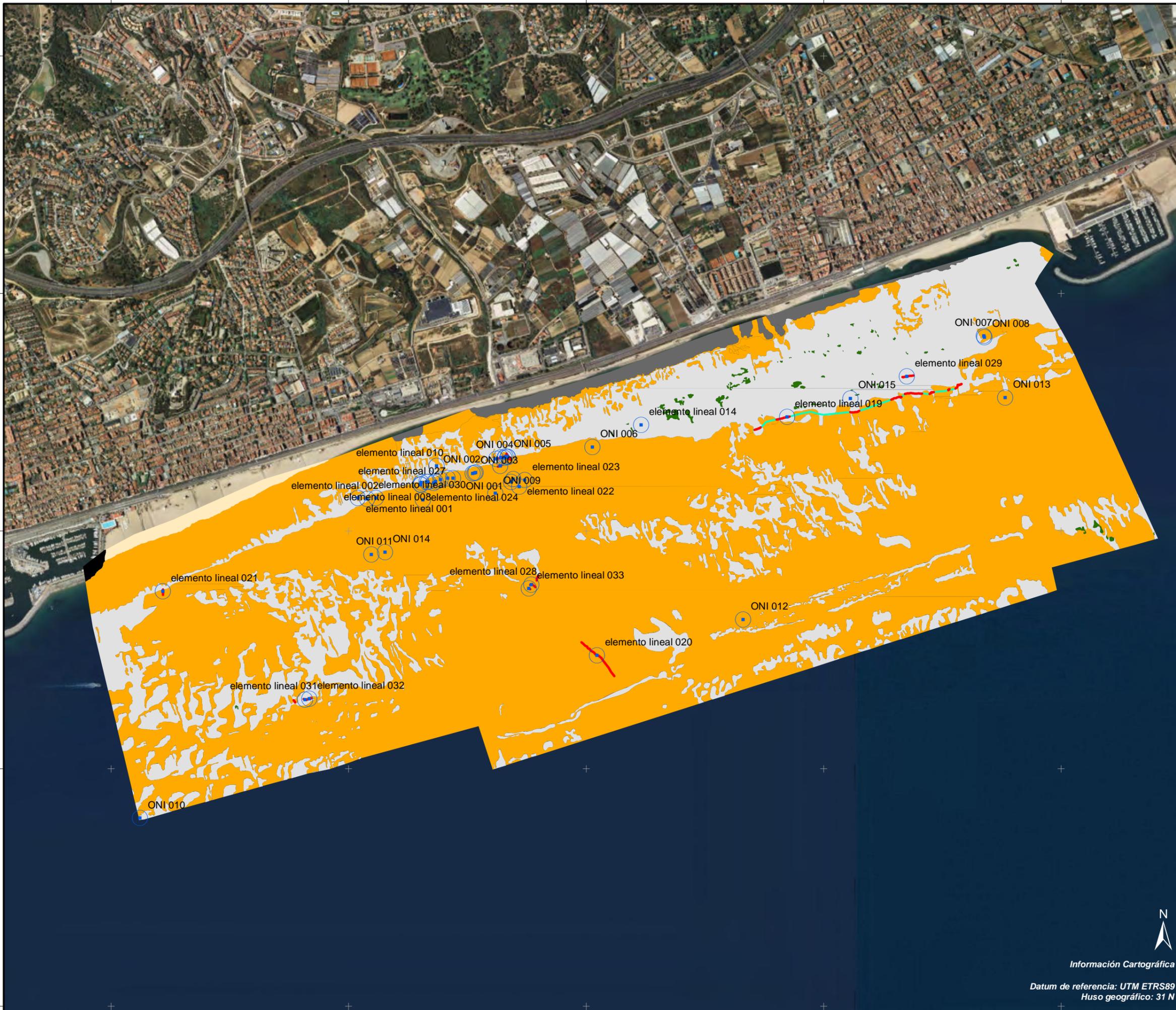
4594000

4593000

4592000

4591000

4590000



TÍTULO DEL PROYECTO

PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MARESME; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE



TÍTULO DEL PLANO

ELEMENTOS ANTRÓPICOS OBSERVADOS EN EL MAPA GEOMORFOLÓGICO

Nº PLANO

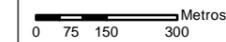
A1.4.6

ESCALA

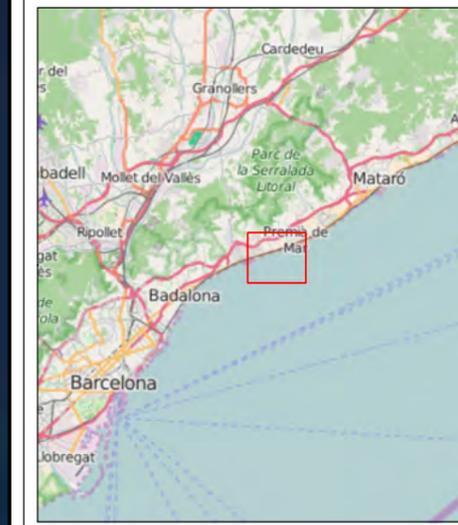
DIN A3 1:15,000

FECHA

JUNIO 2016



MAPA SITUACIÓN



LEYENDA

- Elementos antrópicos puntuales
- Elementos antrópicos lineales
- Cabos
- Arenas con ripples
- Arenas finas
- Pradera de Cymodocea nodosa
- Espigón
- Playa emergida
- Relleno espigón



Información Cartográfica
Datum de referencia: UTM ETRS89
Huso geográfico: 31 N

444500 445000 445500 446000 446500 447000

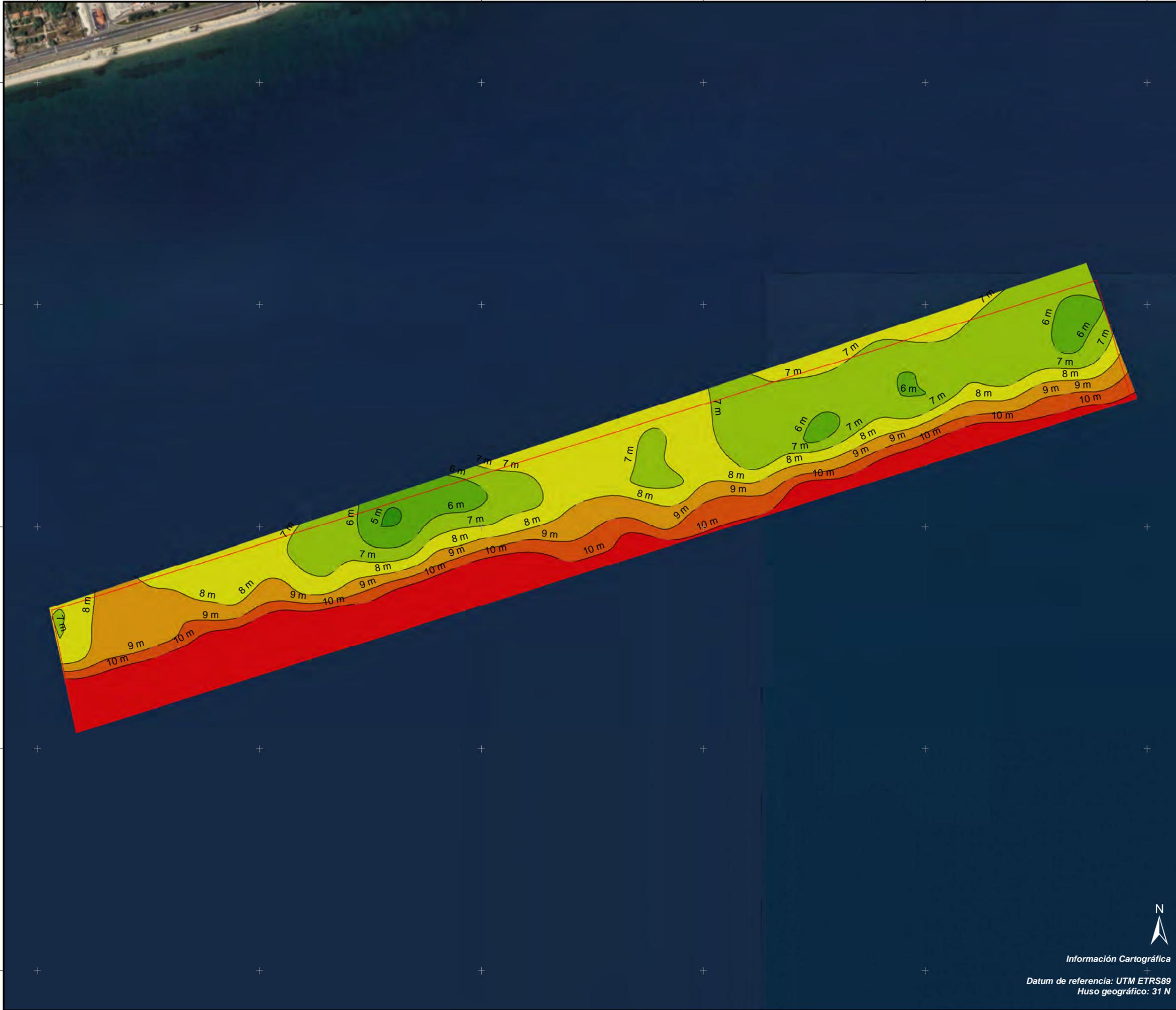
4592500

4592000

4591500

4591000

4590500

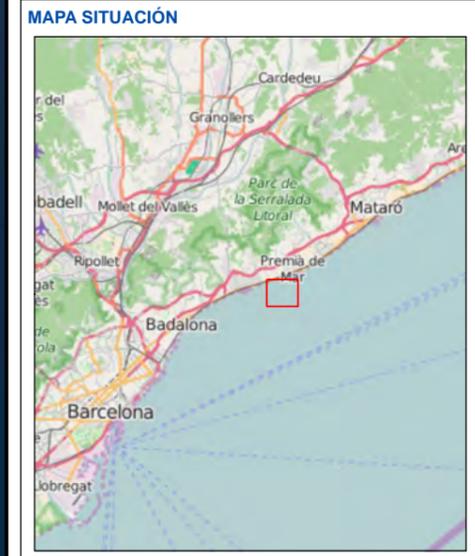


TÍTULO DEL PROYECTO
PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MARESME; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE
 MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
 SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
 Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar
 Demarcación de Costas en Cataluña

TÍTULO DEL PLANO
ESPESOR DE SEDIMENTO TOTAL EN LA ZONA DE DRAGADO

Nº PLANO A1.5.1	ESCALA DIN A3 1:8,000
FECHA JUNIO 2016	Metros



LEYENDA

- Zona de dragado
- Isopacas (m)
- Espeor de sedimento**
- 4 - 5 m
- 5 - 6 m
- 6 - 7 m
- 7 - 8 m
- 8 - 9 m
- 9 - 10 m
- 10 - 11 m

TECNOAMBIENTE
 A TRADEBE COMPANY

MARCIGLOB Maritime & Civil Global Consultancy Solutions



Información Cartográfica
 Datum de referencia: UTM ETRS89
 Huso geográfico: 31 N

444500 445000 445500 446000 446500 447000

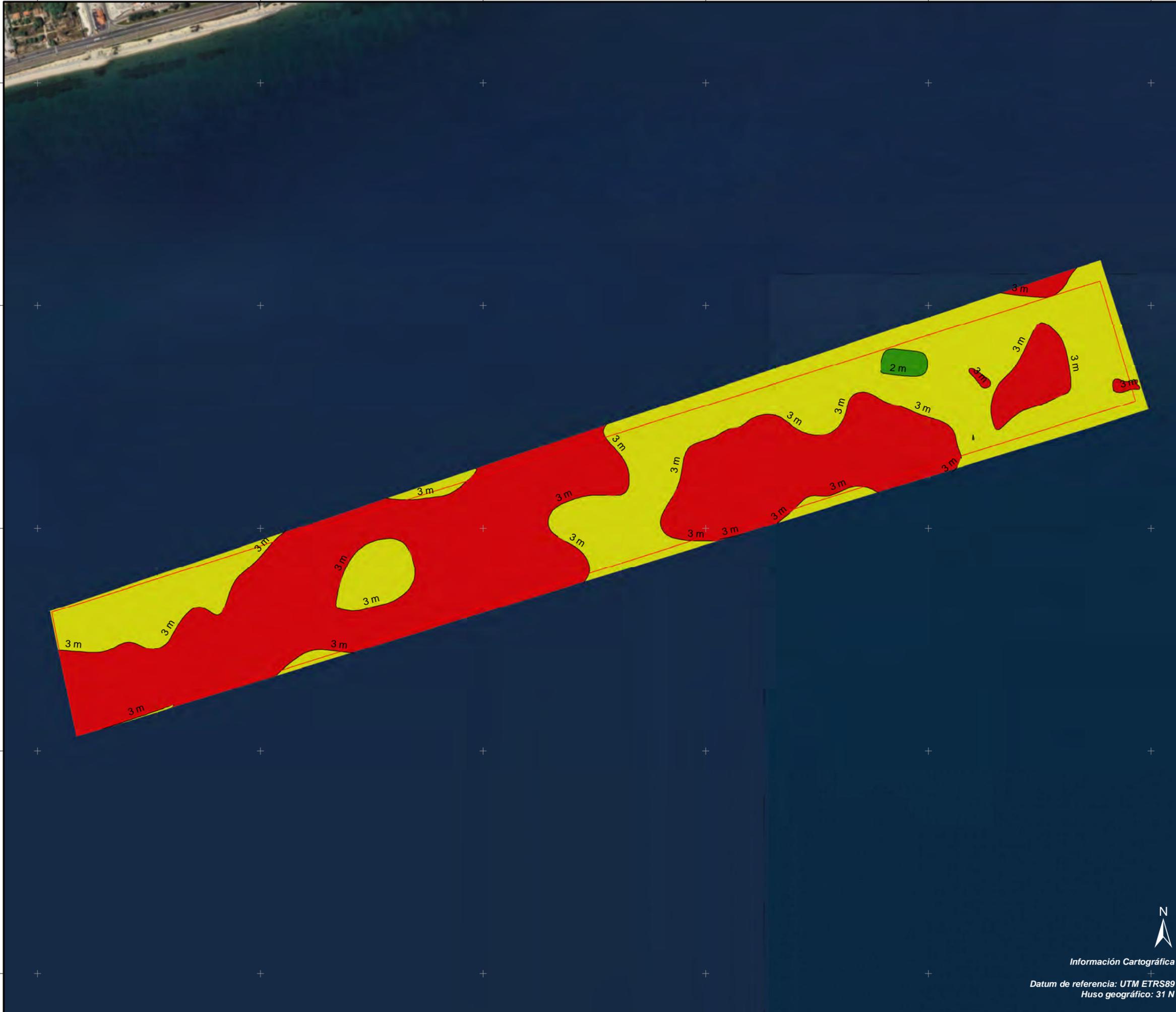
4592500

4592000

4591500

4591000

4590500

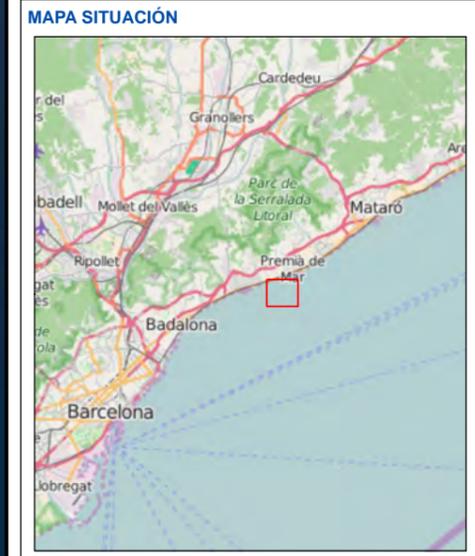


TÍTULO DEL PROYECTO
PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MARESME; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE
 MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
 SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
 Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar
 Demarcación de Costas en Cataluña

TÍTULO DEL PLANO
ESPESOR DE SEDIMENTO ARENOSO EN LA ZONA DE DRAGADO

Nº PLANO A1.5.2	ESCALA DIN A3 1:8,000
FECHA JUNIO 2016	Metros



LEYENDA

- Zona de dragado
- Isopacas (m)
- Espesor de sedimento**
- 1 - 2 m
- 2 - 3 m
- 3 - 4 m

TECNOAMBIENTE
 A TRADEBE COMPANY

MARCIGLOB Maritime & Civil Global Consultancy Solutions

Información Cartográfica
 Datum de referencia: UTM ETRS89
 Huso geográfico: 31 N

442000

443000

444000

445000

446000

447000

4594000

4593000

4592000

4591000

4590000

4589000



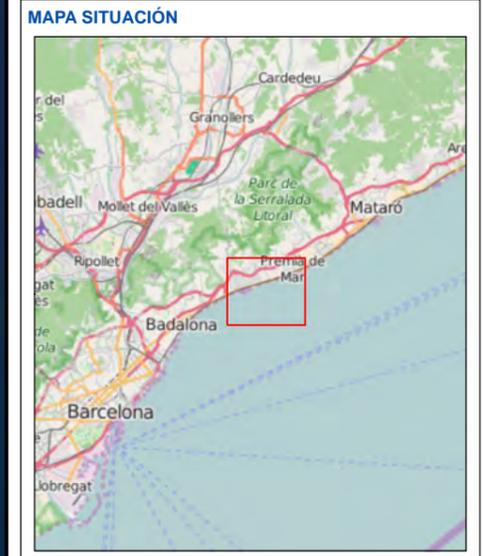
Estación	ETRS 89 31N		Estación	ETRS 89 31N	
	UTM X	UTM Y		UTM X	UTM Y
MG1	443021	4591926	MG27	446800	4593239
MG2	443479	4592104	MG28	443075	4591786
MG3	443927	4592326	MG29	443541	4591993
MG4	444405	4592493	MG3	443927	4592326
MG5	444888	4592619	MG30	443976	4592208
MG6	445362	4592777	MG31	444438	4592380
MG7	445837	4592950	MG32	444929	4592508
MG8	446308	4593140	MG33	445403	4592669
MG9	446790	4593282	MG34	445879	4592820
MG10	443025	4591917	MG35	446344	4593008
MG11	443483	4592097	MG36	446823	4593126
MG12	443934	4592314	MG-D-1	444565	4591290
MG13	444408	4592485	MG-D-2	444610	4591073
MG14	444890	4592614	MG-D-3	445185	4591255
MG15	445365	4592770	MG-D-4	445137	4591473
MG16	445841	4592938	MG-D-5	445728	4591544
MG17	446302	4593137	MG-D-6	446345	4591619
MG18	446794	4593266	MG-D-7	446285	4591834
MG19	443049	4591856	MG-D-8	446863	4592017
MG20	443511	4592060	MG-D-9	446929	4591802
MG21	443949	4592273	GOPRO11	447080	4592009
MG22	444420	4592450	GOPRO13	447149	4592028
MG23	444907	4592565	GOPRO5	445343	4592501
MG24	445380	4592725	GOPRO9	445435	4592480
MG25	445851	4592904	Punto salida emisario	445017	4591260
MG26	446315	4593097	tubería	445076	4591468

TÍTULO DEL PROYECTO
PROYECTO DE ACTUACIONES EN EL MARESME; T.M. DE EL MASNOU PREMIÀ DE MAR (BARCELONA)

CLIENTE
 MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
 SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
 Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar
 Demarcación de Costas en Cataluña

TÍTULO DEL PLANO
 ESTACIONES DE MUESTREO

Nº PLANO A1.6
ESCALA DIN A3 1:20,000
FECHA JUNIO 2016
 0 125 250 500 Metros



LEYENDA

- Zona de dragado
- Zona de estudio
- Estaciones de muestreo

Topografía:

- Isóbatas (0.5 m)
- Isóbatas (1 m)
- Línea de costa (cota 0)

Batimetría:

- Isóbatas (1 m)
- Isóbatas (5 m)



Información Cartográfica
 Datum de referencia: UTM ETRS89
 Huso geográfico: 31 N

ANEJO N° 2. ESTUDIO DE CLIMA MARÍTIMO

ÍNDICE

1.	ANÁLISIS DEL NIVEL DEL MAR	1
1.1	FUENTES DE DATOS.....	1
1.2	RÉGIMEN DE MAREAS.....	1
1.3	NIVELES DE MAR DE CÁLCULO	2
2.	ANÁLISIS DEL OLEAJE EN ALTA MAR	3
2.1	FUENTES DE DATOS.....	3
2.1.1	DATOS DE BOYAS.....	3
2.1.2	DATOS NUMÉRICOS PROCEDENTES DE RETROANÁLISIS HISTÓRICO.....	3
2.2	RÉGIMEN MEDIO DE OLEAJE	3
2.2.1	DIRECCIONES	4
2.2.2	ALTURA DE OLA	5
2.2.2.1	Registros de la boya de Llobregat.....	5
2.2.2.2	Registros de la boya Barcelona II.....	6
2.2.2.3	Datos SIMAR-44 (Punto 2068051)	7
2.2.2.4	Datos WANA (Punto 2114138).....	9
2.2.2.5	Comparación entre las diferentes fuentes de datos	10
2.2.3	PERÍODO DE OLEAJE	10
2.2.3.1	Frecuencias de presentación.....	10
2.2.3.2	Funciones de correlación $H_s - T_p$	11
2.2.4	OLEAJE MORFOLÓGICO	13
2.2.5	FLUJO MEDIO DE ENERGÍA	13
2.2.6	OLEAJE ASOCIADO A UNA EXCEDENCIA DE 12 HORAS/AÑO	14
2.2.7	CONCLUSIONES SOBRE EL RÉGIMEN MEDIO	14
2.3	RÉGIMEN EXTREMAL DE OLEAJE.....	15
2.3.1	INTRODUCCIÓN	15

2.3.2	RÉGIMEN EXTREMAL EN LAS BOYAS.....	15
2.3.3	COEFICIENTES DE DIRECCIONALIDAD	16
2.3.4	RÉGIMEN EXTREMAL EN AGUAS PROFUNDAS	16

Índice de figuras

Figura 1.-	Ubicación de los mareógrafos del Puerto de Barcelona (Fuente: Puertos del Estado, PPEE)	1
Figura 2.-	Niveles medios y extremos del mar en Barcelona (Fuente: PPEE)	1
Figura 3.-	Relación entre el cero REDMAR y el cero del GEOIDE -2013- (Fuente: Autoridad Portuaria de Barcelona)	1
Figura 4.-	Distribución de la frecuencia relativa acumulada del nivel del mar respecto al 0 REDMAR (Fuente: PPEE)	2
Figura 5.-	Función de distribución extremal del nivel del mar -marea total- (Fuente: PPEE)	2
Figura 6.-	Localización de los datos empleados (Fuente: elaboración propia).....	3
Figura 7.-	Direcciones de incidencia del oleaje (Fuente: elaboración propia)	4
Figura 8.-	Comparación de la información direccional de las diferentes fuentes de oleaje (Fuente: elaboración propia)	4
Figura 9.-	Rosas de oleaje: superior izquierda: boya Llobregat (2004-2007); superior derecha: boya Llobregat (2007-2011); central: boya Barcelona II; inferior izquierda: SIMAR 2068051, inferior derecha: WANA 2114138 (Fuente: Generalitat de Catalunya / PPEE)	5
Figura 10.-	Funciones de distribución medias escalar y direccionales de H_s de la boya de Llobregat (Fuente: CIIRC).....	6
Figura 11.-	Función de distribución media escalar de H_s de la boya Barcelona II (Fuente: PPEE)	6
Figura 12.-	Funciones de distribución media de H_s (direcciones ENE y E, boya Barcelona II) (Fuente: PPEE)	7
Figura 13.-	Funciones de distribución media de H_s (direcciones ESE y SE, boya Barcelona II) (Fuente: PPEE).....	7
Figura 14.-	Funciones de distribución media de H_s (direcciones SSE y S, boya Barcelona II) (Fuente: PPEE)	7
Figura 15.-	Funciones de distribución media de H_s (direcciones SSW y SW, boya Barcelona II) (Fuente: PPEE)	7

Figura 16.- Régimen medio de oleaje del punto SIMAR 2068051 (Fuente: PPEE).....	8
Figura 17.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones ENE y E, SIMAR 2068051) (Fuente: PPEE).....	8
Figura 18.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones ESE y SE, SIMAR 2068051) (Fuente: PPEE).....	8
Figura 19.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones SSE, S, SSW y SW, SIMAR 2068051) (Fuente: PPEE).....	9
Figura 20.- Régimen medio de oleaje del punto WANA 2114138 (Fuente: PPEE).....	9
Figura 21.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones ENE y E, WANA 2114138) (Fuente: PPEE).....	10
Figura 22.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones ESE y SE, WANA 2114138) (Fuente: PPEE).....	10
Figura 23.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones SSE y S, WANA 2114138) (Fuente: PPEE).....	10
Figura 24.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones SSW y SW, WANA 2114138) (Fuente: PPEE).....	10
Figura 25.- Funciones de distribución medias escalares de Hs (Fuente: elaboración propia).....	11
Figura 26.- Frecuencias de presentación de Tp. Izquierda: boya Barcelona II; centro: SIMAR 2068051; derecha; WANA 2114138 (Fuente: elaboración propia).....	11
Figura 27.- Funciones de correlación lineal y exponencial Hs – Tp,10%, Hs – Tp,50% y Hs – Tp,90% de la Boya Barcelona II, punto SIMAR y punto WANA (Fuente: elaboración propia).....	12
Figura 28.- Funciones de correlación lineal y exponencial Hs – Tp,50% (Fuente: elaboración propia).....	12
Figura 29.- Variación de Hs,morfológica en aguas profundas en función de la dirección (Fuente: elaboración propia).....	13
Figura 30.- Frecuencias direccionales relativas de presentación del oleaje (Fuente: elaboración propia).....	14
Figura 31.- Variación de Hs12 en aguas profundas en función de la dirección (Fuente: elaboración propia).....	14
Figura 32.- Régimen extremal escalar de Hs de las boyas Llobregat (superior) y Barcelona II (inferior) (Fuente: CIIRC / APB).....	15
Figura 33.- Coeficientes direccionales K_{θ} obtenidos de los registros de la boya Barcelona II y Llobregat(Fuente: elaboración propia).....	16

Índice de tablas

Tabla 1.- Frecuencias de presentación direccionales del oleaje (Fuente: elaboración propia).....	4
Tabla 2.- Parámetros de los ajustes a funciones Weibull (boya Llobregat) (Fuente: CIIRC).....	5
Tabla 3.- Tabla de encuentros Hs – Dirección (boya Barcelona II) (Fuente: PPEE).....	6
Tabla 4.- Parámetros de los ajustes a funciones Weibull (boya Barcelona II) (Fuente: elaboración propia).....	7
Tabla 5.- Tabla de encuentros Hs – Dirección (SIMAR 2068051) (Fuente: PPEE).....	8
Tabla 6.- Parámetros de los ajustes a funciones Weibull (SIMAR 2068051) (Fuente: elaboración propia).....	8
Tabla 7.- Tabla de encuentros Hs – Dirección (WANA 2114138) (Fuente: PPEE).....	9
Tabla 8.- Parámetros de los ajustes a funciones Weibull (WANA 2114138) (Fuente: elaboración propia).....	10
Tabla 9.- Tabla de encuentros Hs – Tp . Superior: boya Barcelona II, central: SIMAR 2068051; inferior: WANA 2114138 (Fuente: PPEE).....	11
Tabla 10.- Características del oleaje morfológico en alta mar (Fuente: elaboración propia).....	13
Tabla 11.- Direcciones del flujo medio de energía del oleaje en aguas profundas.....	13
Tabla 12.- Características del oleaje en alta mar asociado a una probabilidad de excedencia de 12 h/año (Fuente: elaboración propia).....	14
Tabla 13.- Alturas de olas de diseño en las boyas (Fuente: Elaboración propia).....	16
Tabla 14.- Coeficientes direccionales K_{θ} obtenidos de los registros de la boya Barcelona II y Llobregat(Fuente: elaboración propia).....	16
Tabla 15.- Alturas de ola de diseño. Tr = 67,72 años, Estima central (Fuente: elaboración propia).....	17

1. ANÁLISIS DEL NIVEL DEL MAR

1.1 FUENTES DE DATOS

La información de mareas empleada en este ha sido obtenida de los siguientes documentos:

- Informe "Extremos máximos de nivel del mar (nivel medio horario). Mareógrafo de Barcelona", editado por Puertos de Estado (PPEE). Empleó los registros del mareógrafo BARC (ver Figura 1.-) entre 1992 y 2005.
- Informe "Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria. Puerto de Barcelona" editado por Puertos del Estado en octubre de 2014. Empleó los registros de los mareógrafos BARC (hasta diciembre de 2007) y BAR2 (desde enero de 2008). La ubicación de dichos mareógrafos se muestra en la Figura 1.- .



Figura 1.- Ubicación de los mareógrafos del Puerto de Barcelona (Fuente: Puertos del Estado, PPEE)

1.2 RÉGIMEN DE MAREAS

A partir de los registros del mareógrafo se ha obtenido la información sobre los niveles medios y extremos mostrada en la Figura 2.- . Estos niveles están referidos al nivel REDMAR. El Cero de Alicante (CA) o Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA), según el Geoide de 2013, se sitúa 0,10 m por encima del cero REDMAR, tal como se muestra en la Figura 3.- , suministrada por la APB.

Por consiguiente los niveles de marea astronómica más representativos en la zona próxima a Barcelona son:

- Máxima Pleamar Astronómica : PMMA = +0,50 m (r/REDMAR) = +0,40 m (r/NMMA)
- Nivel Medio del Mar : NMM = +0,29 m (r/REDMAR) = +0,19 m (r/NMMA)
- Mínima Bajamar Astronómica : BMMA = +0,07 m (r/REDMAR) = -0,03 m (r/NMMA)

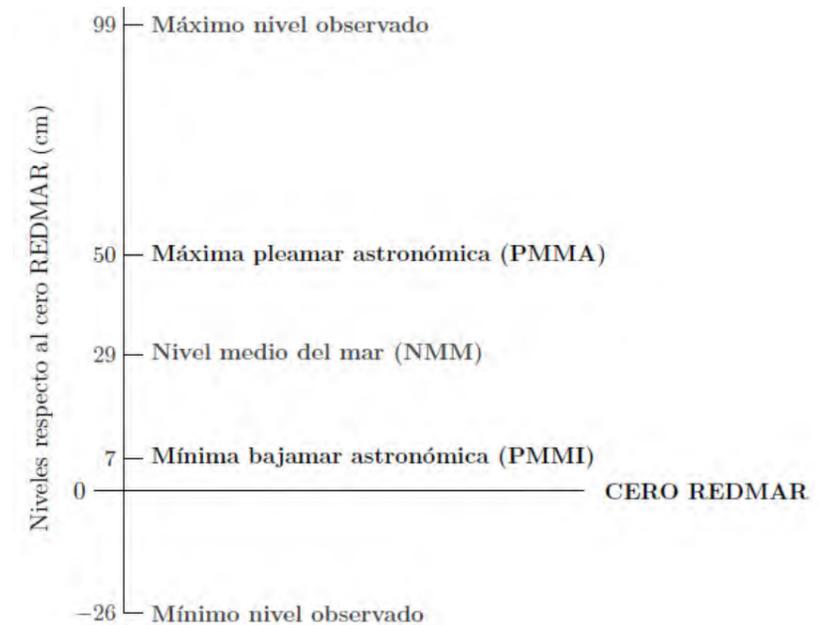


Figura 2.- Niveles medios y extremos del mar en Barcelona (Fuente: PPEE)

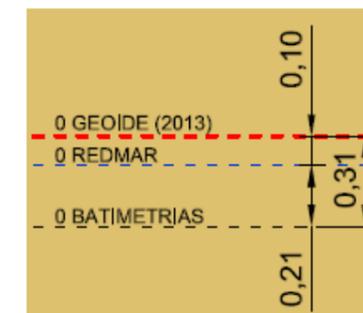


Figura 3.- Relación entre el cero REDMAR y el cero del GEOIDE -2013- (Fuente: Autoridad Portuaria de Barcelona)

Por su parte la Figura 4.- muestra las frecuencias relativas acumuladas de la marea total (nivel horario) que permite determinar los niveles de mar asociados a unas determinadas probabilidades medias de no excedencia. Así, por ejemplo, el nivel del mar asociado a una probabilidad de no excedencia del 99,50 % (o lo que es lo mismo, asociado a una probabilidad de excedencia del 0,50 %) es +0,64 m (REDMAR) = +0,54 m (GEOIDE).

Finalmente la Figura 5.- , obtenida del Informe de extremos de Puertos del Estado, muestra la función de distribución extremal del nivel del mar, siendo el nivel de referencia el REDMAR. Se presenta tanto la Estima Central (EC), es decir, el valor más probable asociado a un determinado período de retorno, como la Banda de Confianza del 90 % (BC90), es decir, el intervalo de valores dentro del cual estaría el valor asociado a un determinado período de retorno con una probabilidad del 90 %.

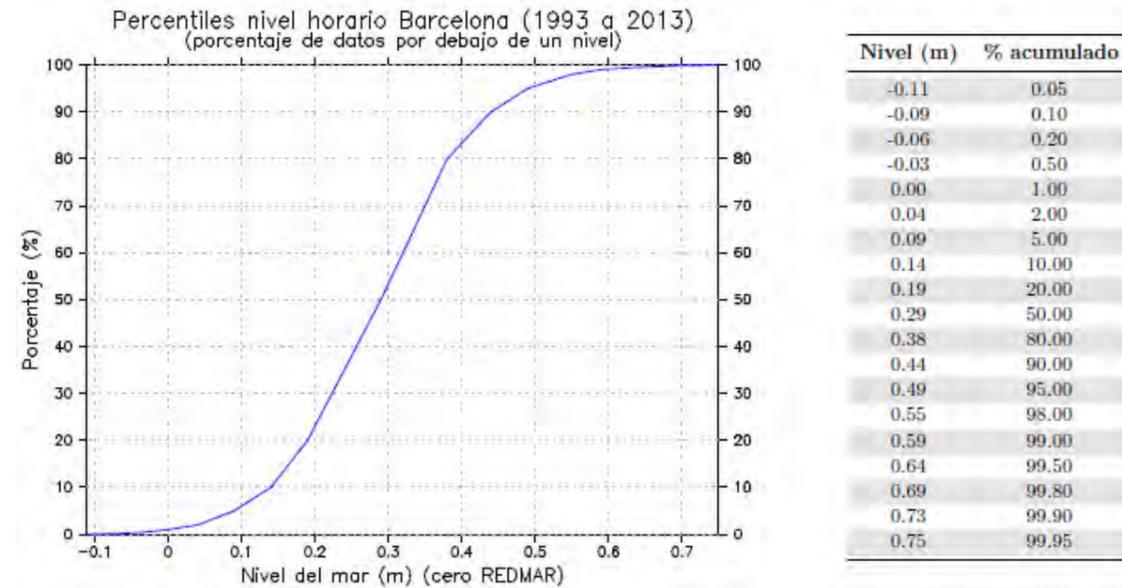


Figura 4.- Distribución de la frecuencia relativa acumulada del nivel del mar respecto el 0 REDMAR (Fuente: PPEE)

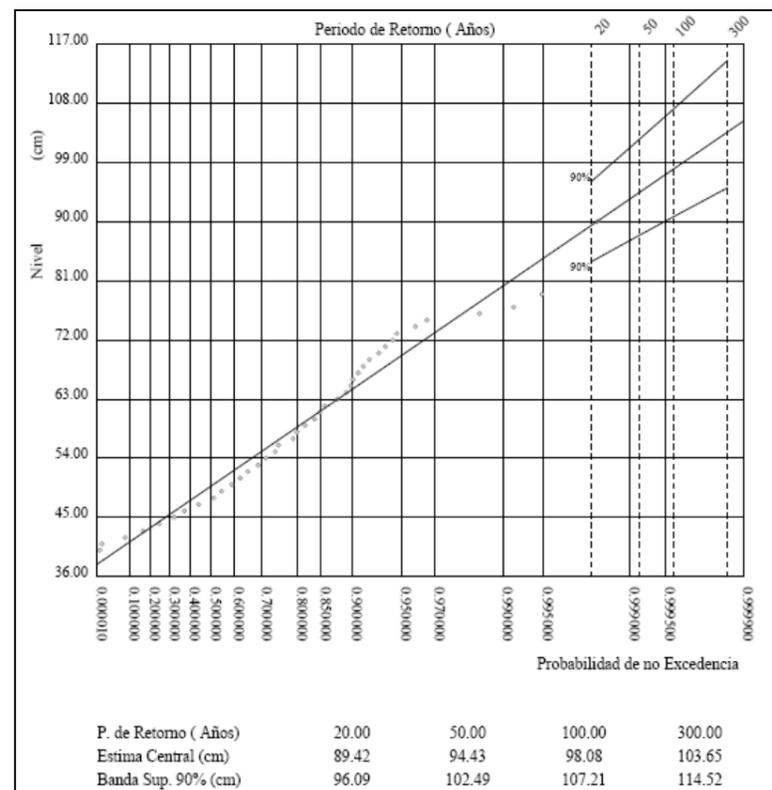


Figura 5.- Función de distribución extrema del nivel del mar. Parámetros de la Distribución Weibull: Alfa = 27.9, Beta = 15.17, Gamma = 1.49. Umbral (cm) = 40.00, Tiempo Entre Picos (Días) = 5.00. (Fuente: PPEE)

De este modo los niveles de mar asociados al período de retorno de diseño, $T_r = 67,7$ años (ver Anejo nº 8) son

- NMAX (EC) = + 0,85 m (r/NMMA)
- NMAX (LSBC90%) = + 0,94 m (r/NMMA)

1.3 NIVELES DE MAR DE CÁLCULO

Generalmente el nivel de mar más desfavorable para el cálculo de obras marítimas es el nivel máximo ya que produce mayores rebases y máximas alturas de olas en el caso que el oleaje rompa por fondo. No obstante para algunas partes de las obras (especialmente las sumergidas) el nivel más desfavorable puede ser el mínimo (especialmente si el oleaje no rompe por fondo, como es el caso), ya que la influencia del oleaje es mayor.

Por todo ello se considerarán los siguientes niveles de mar de cálculo:

- Nivel máximo, NMAX = +0,85 m (r/NMMA)
- Nivel medio, NMM = +0,19 m (r/NMMA)
- Nivel mínimo, NMIN = BMMI = -0,03 m (r/NMMA)

Es cierto que se han registrado niveles por debajo de la BMMI pero estos valores están asociados con sobreelevaciones meteorológicas negativas (descensos del nivel del mar), que son producidas por frentes anticiclónicos, y por tanto incompatibles con las fuertes borrascas que provocan los oleajes de diseño.

2. ANÁLISIS DEL OLAJE EN ALTA MAR

2.1 FUENTES DE DATOS

Los datos de oleaje utilizados para el área de interés proceden de dos fuentes diferentes: datos instrumentales de boyas registradoras de oleaje y datos obtenidos a partir de información meteorológica mediante modelos de generación de oleaje.

La información de oleaje empleada en este estudio ha sido obtenida de los siguientes documentos:

- Informes realizados por Puertos del Estado (PPEE) sobre datos instrumentales y datos obtenidos mediante modelos de generación de oleaje.
- “*Libre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya*”, realizado por el CIIRC por encargo de la Generalitat de Catalunya.

A continuación se describe brevemente las características de cada una de estas fuentes de datos.

2.1.1 DATOS DE BOYAS

En las proximidades de la zona del proyecto existen dos boyas registradoras de oleaje (ver Figura 6.-).

- La boya Llobregat perteneciente a la red del XIOM (*Xarxa d'Instruments Oceanogràfics i Meteorològics*) de la Generalitat de Catalunya, que posee registros desde mayo de 1984. Esta boya se encuentra fondeada a una longitud $2^{\circ} 8,48'$ Este, latitud $41^{\circ} 16,69'$ Norte y a una profundidad de 45 m. Inicialmente era escalar, pero a partir de 2004 pasó a ser direccional.
- La boya Barcelona II perteneciente a la red costera de Puertos del Estado, que es direccional y posee registros desde mayo de 2004. Esta boya se encuentra fondeada a una longitud $2,20^{\circ}$ Este, latitud $41,32^{\circ}$ Norte, y a una profundidad de 68 m.

2.1.2 DATOS NUMÉRICOS PROCEDENTES DE RETROANÁLISIS HISTÓRICO

Dado que la duración de registros direccionales de las boyas es limitado (del orden de 10 años) y que están relativamente alejadas de la zona de estudio, se ha decidido buscar una información adicional, por lo que se emplearán datos procedentes de retro-análisis numérico del oleaje. Son, por tanto, datos simulados por ordenador, que no proceden de medidas directas de la naturaleza pero que en su obtención han sido calibrados con medidas de oleaje reales (boyas, radares...). Las más empleadas actualmente en España son las siguientes:

- Base de datos SIMAR-44, generada por Puertos del Estado en el marco del Proyecto Europeo HIPOCAS, que cubre un amplio periodo temporal: 1958 - 2002 (es decir, 44 años) con un dato cada 3 horas. Para este estudio se ha utilizado información correspondiente al punto SIMAR 2068051, situado a una longitud $2,5^{\circ}$ Este y latitud $41,375^{\circ}$ Norte, en profundidades indefinidas (ver Figura 6.-).

- Base de datos WANA, generada por Puertos del Estado y que va actualizando los datos de manera continuada desde 1996. Por ello también se empleará el punto WANA 2114138, situado a una longitud $2,5^{\circ}$ Este y latitud $41,5^{\circ}$ Norte, muy próximo al punto SIMAR seleccionado.

La ubicación de estos puntos se presenta también en la Figura 6.-.



Figura 6.- Localización de los datos empleados (Fuente: elaboración propia)

2.2 RÉGIMEN MEDIO DE OLAJE

Se puede definir como régimen medio de una serie temporal al conjunto de estados de oleaje que más probablemente se puede encontrar. Habitualmente se describe mediante una distribución teórica de los datos. La distribución elegida para realizar esta descripción es la de Weibull (si bien en algún caso se emplea la de Fréchet). Las condiciones de oleaje características de la zona de estudio son resultado del régimen de oleaje en profundidades indefinidas y la propagación del mismo hasta dicha zona.

Por lo que respecta a la dirección del oleaje, hay que tener en cuenta que no todas las direcciones de la rosa pueden incidir en la zona de estudio. El abanico de direcciones viene limitado por la configuración geométrica de la costa, tal como puede apreciarse en la Figura 7.-. En este caso el delta del Tordera limita los oleaje en el extremo septentrional y el Puerto de Barcelona en el extremo meridional. En consecuencia los únicos oleajes susceptibles de incidir en la zona son los procedentes de las direcciones ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW y SW. Si bien podría parecer que el Puerto de Barcelona limita los oleajes de componente sur a la orientación $217,1^{\circ}$ N, debe tenerse en cuenta que por efecto de la refracción todos los oleajes del sector SW incidirán en la zona de estudio tras refractarse en su propagación hacia la costa.

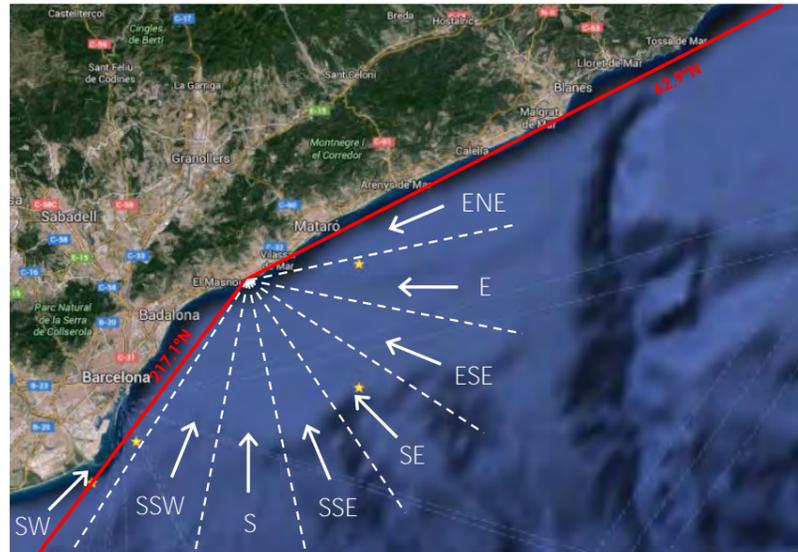


Figura 7.- Direcciones de incidencia del oleaje (Fuente: elaboración propia)

2.2.1 DIRECCIONES

La Tabla 1.- y la Figura 8.- muestran las frecuencias de cada sector direccional del oleaje para las diferentes fuentes de datos, así como el intervalo temporal de los registros empleados en los cálculos. Cabe comentar que los datos direccionales de la boya Llobregat han sido extraídos de dos informes: i) el *“Libre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya”* que cubre el período 2004-07 y ii) uno realizado por el IH Cantabria por encargo de la APB y que cubre el período 2007-11. Por ello se han considerado ambos periodos por separado así como uno total (2004-11) como promedio de los anteriores, si bien el año 2007 estará considerado por duplicado ya que está incluido en ambos intervalos y no se dispone de los registros para poder hacer el procesado común.

Tabla 1.- Frecuencias de presentación direccionales del oleaje (Fuente: elaboración propia)

Dirección	Boya Llobregat (2004-07)	Boya Llobregat (2007-11)	Boya Llobregat (2004-11)	Boya Barcelona II	SIMAR 2068051	WANA 2114138
ENE	11,42%	6,97%	9,19%	7,315%	9,606%	12,299%
E	15,49%	22,85%	19,17%	18,742%	7,125%	9,884%
ESE	12,12%	13,94%	13,03%	15,717%	6,910%	8,785%
SE	9,91%	13,64%	11,78%	13,654%	6,892%	7,689%
SSE	6,65%	7,52%	7,09%	9,770%	4,210%	5,755%
S	9,41%	10,07%	9,74%	12,652%	6,161%	7,991%
SSW	20,35%	15,37%	17,86%	12,630%	18,173%	15,578%
SW	9,41%	8,22%	8,81%	1,042%	7,489%	5,841%

Puede apreciarse que

- Las rosas para ambas boyas son similares, lo cual parece lógico teniendo en cuenta su proximidad (ver Figura 6.-), siendo el sector E el reinante (el de mayor frecuencia), seguido del SSW.

- La rosa de los puntos SIMAR y WANA presentan gran similitud pese a que su intervalo temporal es muy diferente. La principal diferencia es que en el punto SIMAR el sector reinante (de mayor frecuencia) es el NE mientras que en el punto WANA es el ENE. Esto es debido a la posición del punto SIMAR, más al sur, que permite la incidencia de los oleajes de NE sin que el delta del Tordera los limite (ver Figura 7.-, en la que también aparecen los puntos de obtención de datos de oleaje).

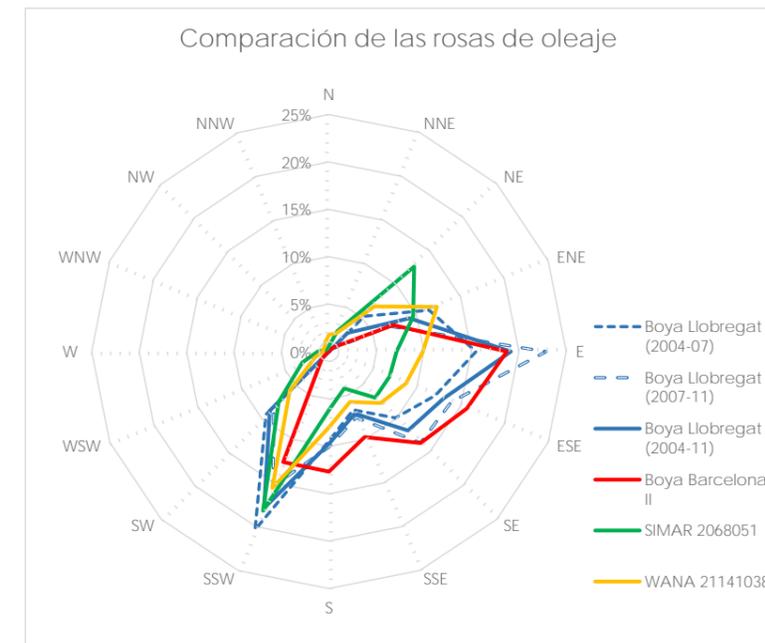


Figura 8.- Comparación de la información direccional de las diferentes fuentes de oleaje (Fuente: elaboración propia)

- Si se comparan las rosas de las boyas con las de los puntos SIMAR y WANA se observa que la principal diferencia radica en que el sector reinante en ambas boyas pasa a ser el E. Mientras que los puntos SIMAR y WANA se han obtenido en aguas profundas, las boyas se ubican en aguas intermedias, de manera que el oleaje registrado por éstas se ha refractado en su propagación hacia la costa que en este caso consiste en un giro horario (pasando de ENE a E). Así si se calcula la frecuencia conjunta de los sectores ENE + E los valores son de 29,82% y 26,06% en las boyas y 22,18% en el punto WANA, es decir, muy similares. Algo similar sucede con la dirección SSW y S: en los puntos SIMAR y WANA y la boya Llobregat el % asociado al SSW es bastante superior al de la boya Barcelona II, ya que la refracción hace que el oleaje gire del SSW al S. La frecuencia conjunta de los sectores S+SSW es del 25,44 % en la boya Llobregat, del 25,28 % en la boya Barcelona II, 23,57 % en el punto WANA y 24,33% en el punto SIMAR, es decir, valores muy similares).

En la Figura 9.- se muestran las rosas de oleaje completas de las 4 fuentes de datos.

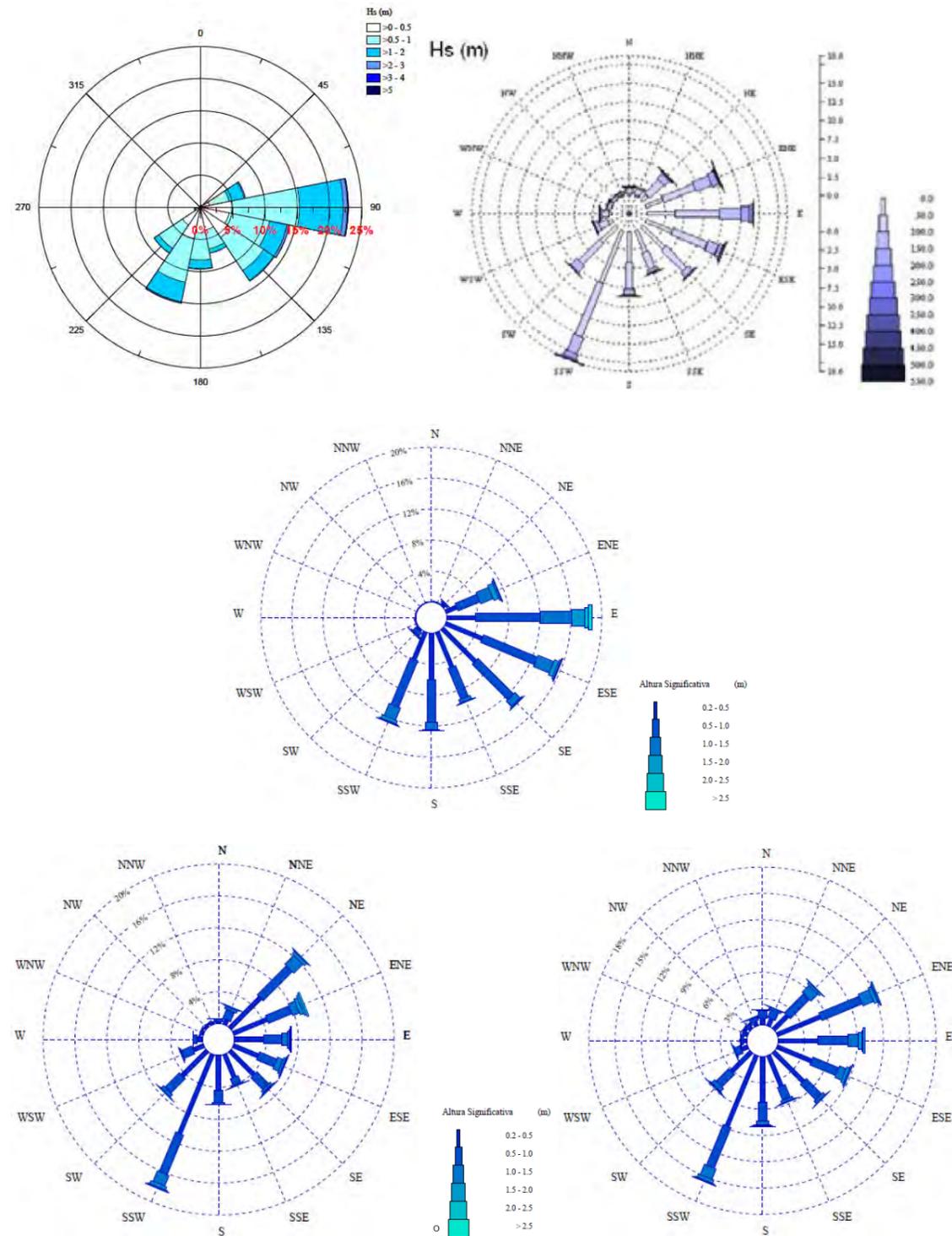


Figura 9.- Rosas de oleaje: superior izquierda: boya Llobregat (2004-2007); superior derecha: boya Llobregat (2007-2011); central: boya Barcelona II; inferior izquierda: SIMAR 2068051, inferior derecha: WANA 2114138 (Fuente: Generalitat de Catalunya / PPEE)

Se concluye, por tanto, que los datos SIMAR y WANA son bastante coherentes con los registros de las boyas, y al tener mayor duración de datos (especialmente los datos SIMAR) resultan aptos para su empleo.

2.2.2 ALTURA DE OLA

Pese a lo comentado anteriormente se van a analizar los datos de las cinco fuentes consideradas.

2.2.2.1 Registros de la boya de Llobregat

En general, los regímenes medios anuales de la altura de ola significativa pueden ser ajustados a unas distribuciones triparamétricas de Weibull cuya expresión es:

$$F(H) = P(H \leq H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H - B}{A}\right)^C\right)$$

Régimen escalar

En cuanto a los datos de esta boya se cuenta con la información del "Libre Verd". Los parámetros obtenidos en su ajuste han sido A = 0,793, B = 0 y C = 1,335. La Figura 10.- muestra la gráfica de la distribución de Weibull.

Regímenes direccionales

La información para obtener los regímenes medios direccionales ha sido obtenida también del "Libre Verd".

En la Tabla 2.- se exponen los parámetros de las distribuciones Weibull de los mejores ajustes (en los que B = 0).

Tabla 2.- Parámetros de los ajustes a funciones Weibull (boya Llobregat) (Fuente: CIIRC)

	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW
A	1.015896	1.039053	0.989785	0.831560	0.831560	0.583173	0.624609	0.735438
C	1.829435	1.482352	1.580309	1.509081	1.509081	1.325323	1.274620	1.267723
F ²	0.986225	0.985119	0.998290	0.996462	0.998729	0.997964	0.992016	0.998051

La Figura 10.- muestra la gráfica de estas distribuciones Weibull.

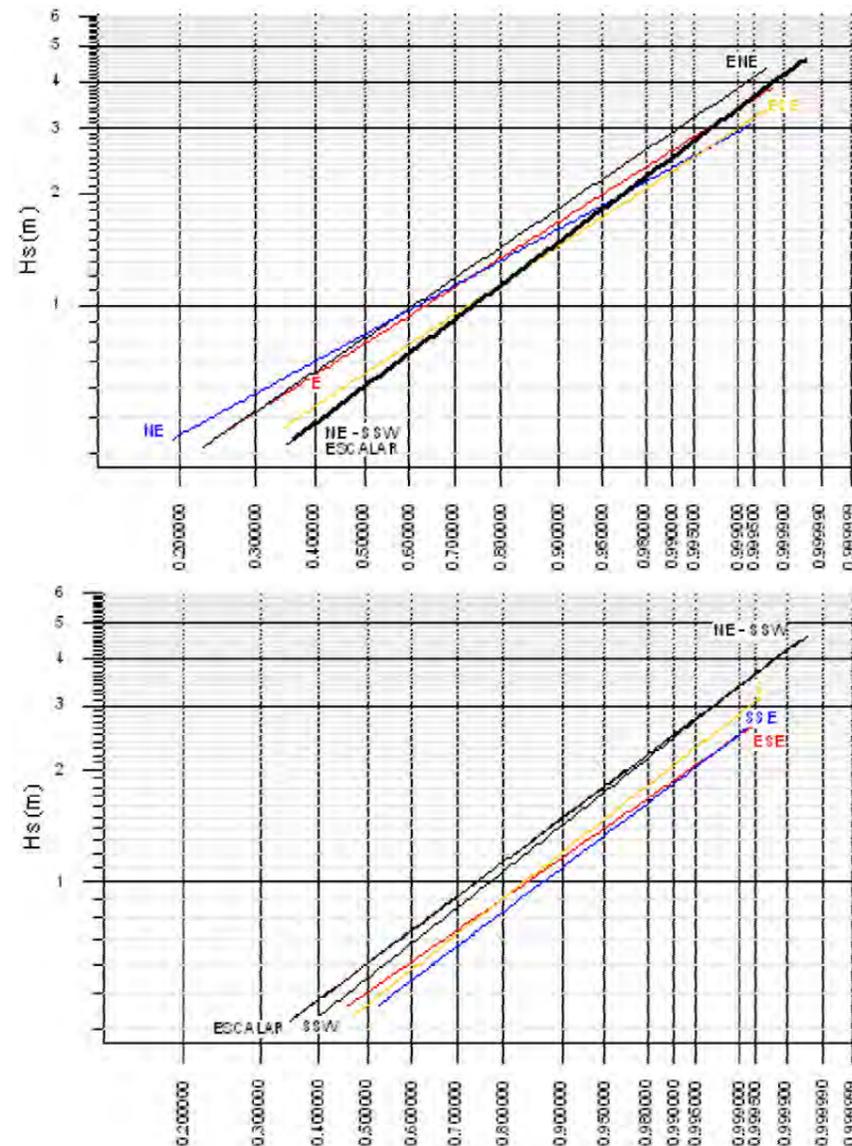


Figura 10.- Funciones de distribución medias escalar y direccionales de Hs, de la boya de Llobregat (Fuente: CIIRC)

2.2.2.2 Registros de la boya Barcelona II

Régimen escalar

En cuanto a los datos de esta boya se cuenta con la información facilitada por Puertos del Estado. Los resultados proporcionados para dicha boya son los que figuran a continuación. Ya se ha comentado que el régimen medio escalar anual de altura de ola significativa puede ser ajustado a una función de distribución Weibull. Los parámetros obtenidos en el ajuste son $A = 0,59$, $B = 0,09$ y $C = 1,12$. La Figura 16.- muestra la gráfica de la distribución de Weibull.

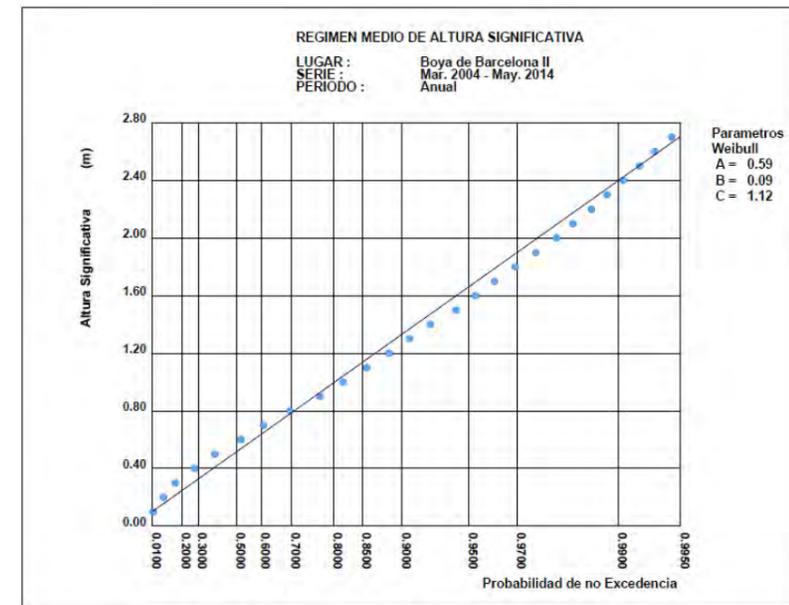


Figura 11.- Función de distribución media escalar de Hs de la boya Barcelona II (Fuente: PPEE)

Regímenes direccionales

La información para obtener los regímenes medios direccionales ha sido obtenida por Puertos del Estado. La relación entre frecuencias, altura de ola y direcciones se muestra en la Tabla 3.-.

Tabla 3.- Tabla de encuentros Hs – Dirección (boya Barcelona II) (Fuente: PPEE)

Dirección	Hs (m)											Total	
	≤ 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0		> 5.0
CALMAS	7.556											7.556	
N 0.0	.022	-	.004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.027
NNE 22.5	.067	.004	.004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.076
NE 45.0	.325	.227	.045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.597
ENE 67.5	1.532	3.034	1.746	.691	.200	.089	.022	-	-	-	-	-	7.315
E 90.0	3.729	8.357	4.094	1.577	.490	.209	.178	.080	.022	.004	-	-	18.742
ESE 112.5	5.083	7.515	2.192	.593	.209	.098	.027	-	-	-	-	-	15.717
SE 135.0	5.996	6.482	.993	.156	.027	-	-	-	-	-	-	-	13.654
SSE 157.5	4.914	4.286	.481	.049	.040	-	-	-	-	-	-	-	9.770
S 180.0	6.019	5.542	.918	.165	.004	.004	-	-	-	-	-	-	12.652
SSW 202.5	3.805	6.504	1.715	.432	.134	.031	.009	-	-	-	-	-	12.630
SW 225.0	.258	.584	.160	.031	.009	-	-	-	-	-	-	-	1.042
WSW 247.5	.053	.067	.009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.129
W 270.0	.022	.027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.049
WNW 292.5	.004	.013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.018
NW 315.0	.018	.004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.022
NNW 337.5	-	.004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.004
Total	7.556	31.848	42.652	12.362	3.693	1.114	.432	.236	.080	.022	.004	-	100 %

En la Tabla 4.- se exponen los parámetros de las distribuciones Weibull de los mejores ajustes.

Tabla 4.- Parámetros de los ajustes a funciones Weibull (boya Barcelona II) (Fuente: elaboración propia)

Direcciones	Parámetros de la distribución Weibull		
	A	B	C
ENE	0,85	0,18	1,48
E	0,80	0,20	1,21
ESE	0,64	0,15	1,29
SE	0,38	0,23	1,22
SSE	0,29	0,24	1,04
S	0,50	0,14	1,51
SSW	0,60	0,18	1,38
SW	0,59	0,21	1,57

A continuación se presentan las gráficas correspondientes a dichos ajustes (Figura 12.- a Figura 15.-).

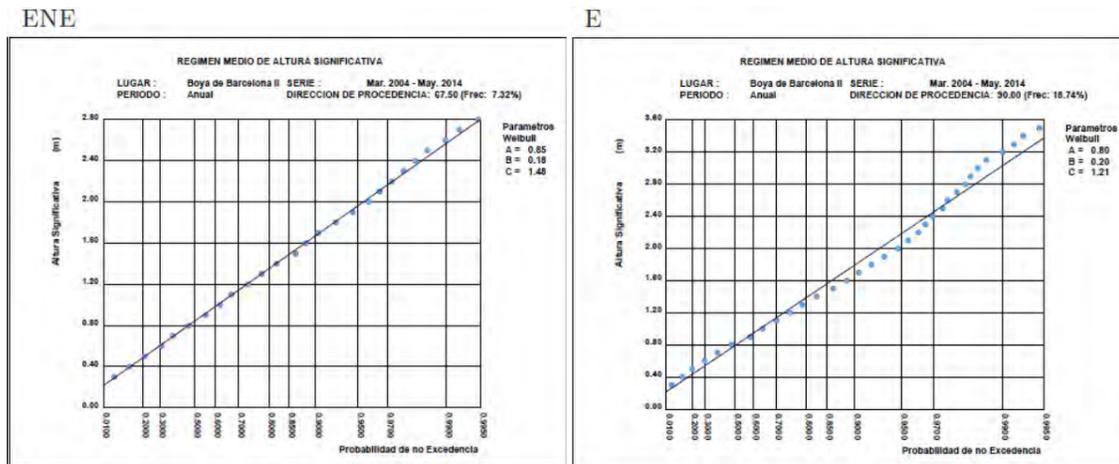


Figura 12.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones ENE y E, boya Barcelona II) (Fuente: PPEE)

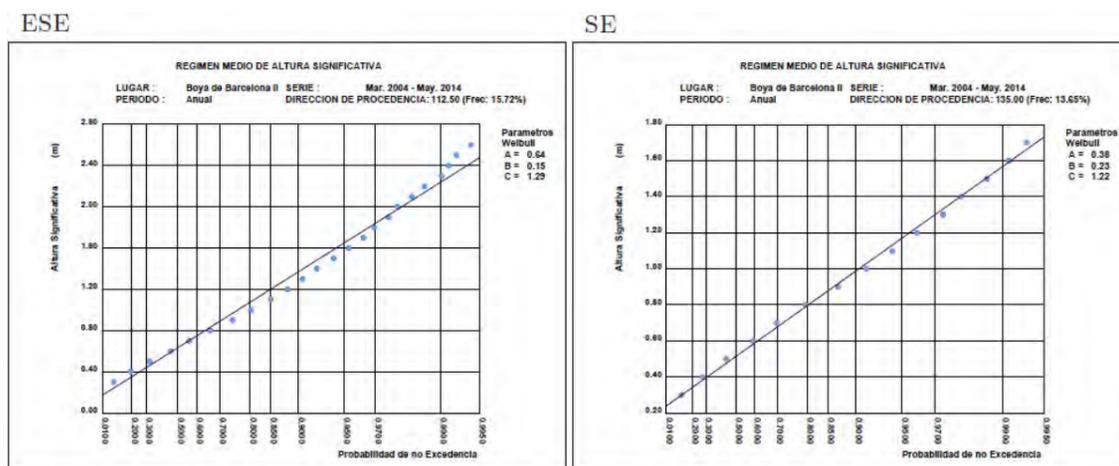


Figura 13.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones ESE y SE, boya Barcelona II) (Fuente: PPEE)

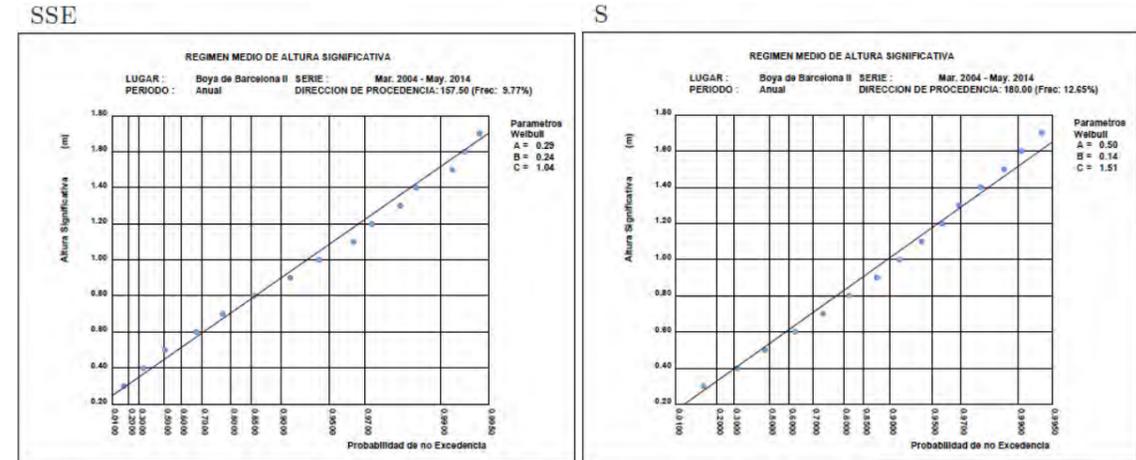


Figura 14.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones SSE y S, boya Barcelona II) (Fuente: PPEE)

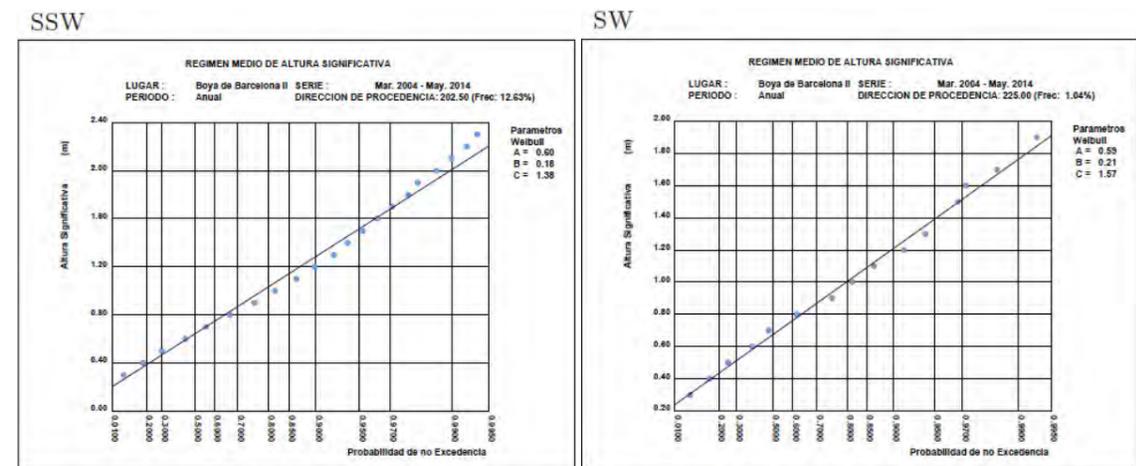


Figura 15.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones SSW y SW, boya Barcelona II) (Fuente: PPEE)

2.2.2.3 Datos SIMAR-44 (Punto 2068051)

Régimen escalar

En cuanto a los datos SIMAR se cuenta con la información facilitada por Puertos del Estado. Los parámetros obtenidos en el ajuste de la distribución triparamétrica de Weibull son $A = 0,16$, $B = 0,33$ y $C = 0,64$. La Figura 16.- muestra la gráfica de la distribución de Weibull.

Regímenes direccionales

La información para obtener los regímenes medios direccionales ha sido facilitada por Puertos del Estado. La relación entre frecuencias, altura de ola y direcciones se muestra en la Tabla 5.-.

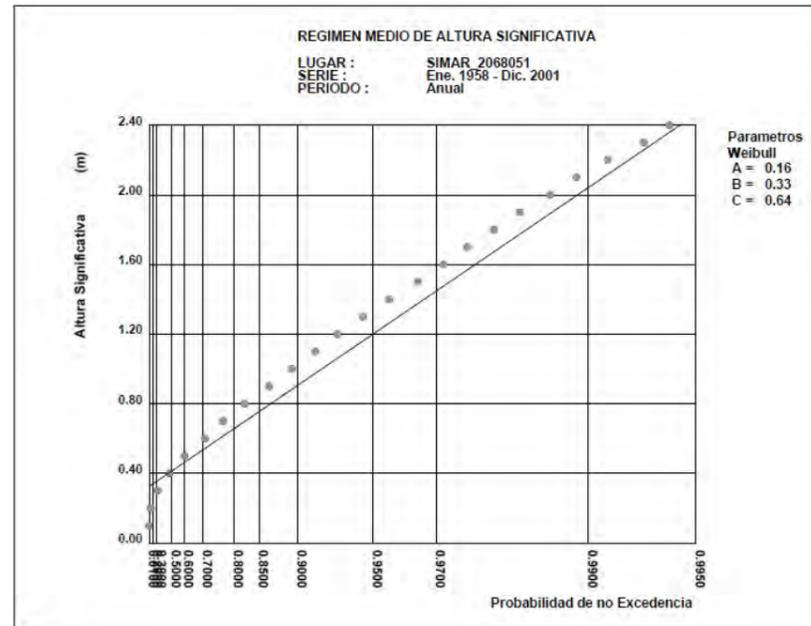


Figura 16.- Régimen medio de oleaje del punto SIMAR 2068051 (Fuente: PPEE)

Tabla 5.- Tabla de encuentros Hs – Dirección (SIMAR 2068051) (Fuente: PPEE)

Dirección	Hs (m)											Total		
	≤ 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0		> 5.0	
CALMAS	12.446													12.446
N 0.0		.261	.300	.043	.008	-	-	-	-	-	-	-	-	.612
NNE 22.5		.645	1.250	.365	.079	.012	.002	-	-	-	-	-	-	2.353
NE 45.0		5.396	5.172	1.604	.383	.105	.016	.003	-	-	-	-	-	12.681
ENE 67.5		4.575	3.175	.914	.461	.257	.101	.058	.027	.016	.005	.017	-	9.606
E 90.0		3.701	2.276	.635	.292	.151	.053	.012	.002	-	.002	-	-	7.125
ESE 112.5		3.360	2.323	.780	.265	.104	.063	.011	.004	-	-	-	-	6.910
SE 135.0		4.244	2.120	.371	.126	.022	.005	-	.002	-	-	-	-	6.892
SSE 157.5		3.116	.934	.131	.021	.005	.002	-	-	-	-	-	-	4.210
S 180.0		4.318	1.576	.210	.033	.019	.005	-	-	-	-	-	-	6.161
SSW 202.5		10.762	5.391	1.429	.394	.142	.040	.009	.002	.003	-	-	-	18.173
SW 225.0		4.429	2.564	.409	.072	.012	.003	-	-	-	-	-	-	7.489
WSW 247.5		1.446	1.403	.171	.022	-	-	-	-	-	-	-	-	3.041
W 270.0		.752	.406	.028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.187
WNW 292.5		.269	.170	.011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.450
NW 315.0		.182	.145	.004	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	.332
NNW 337.5		.176	.146	.009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.332
Total	12.446	47.632	29.352	7.114	2.160	.829	.290	.095	.037	.021	.007	.018		100 %

En la Tabla 6.- se exponen los parámetros de las distribuciones Weibull de los mejores ajustes.

Tabla 6.- Parámetros de los ajustes a funciones Weibull (SIMAR 2068051) (Fuente: elaboración propia)

Direcciones	Parámetros de la distribución Weibull		
	A	B	C
ENE	0,44	0,19	0,78
E	0,60	0,08	1,13
ESE	0,79	-0,05	1,37
SE	0,29	0,21	0,93
SSE	0,21	0,20	0,87
S	0,32	0,11	1,01
SSW	0,40	0,15	1,00
SW	0,37	0,16	1,16

A continuación se presentan las gráficas correspondientes a dichos ajustes (Figura 17.- a Figura 19.-).

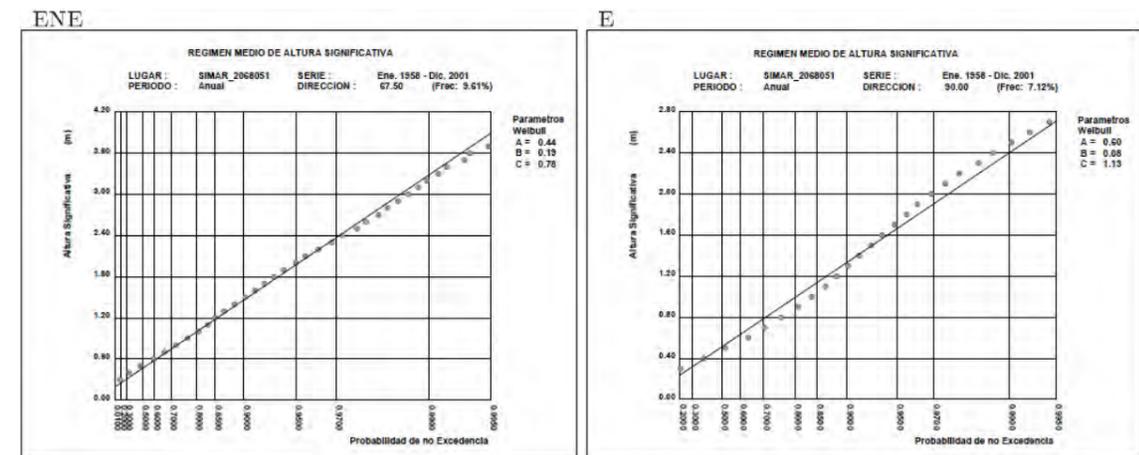


Figura 17.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones ENE y E, SIMAR 2068051) (Fuente: PPEE)

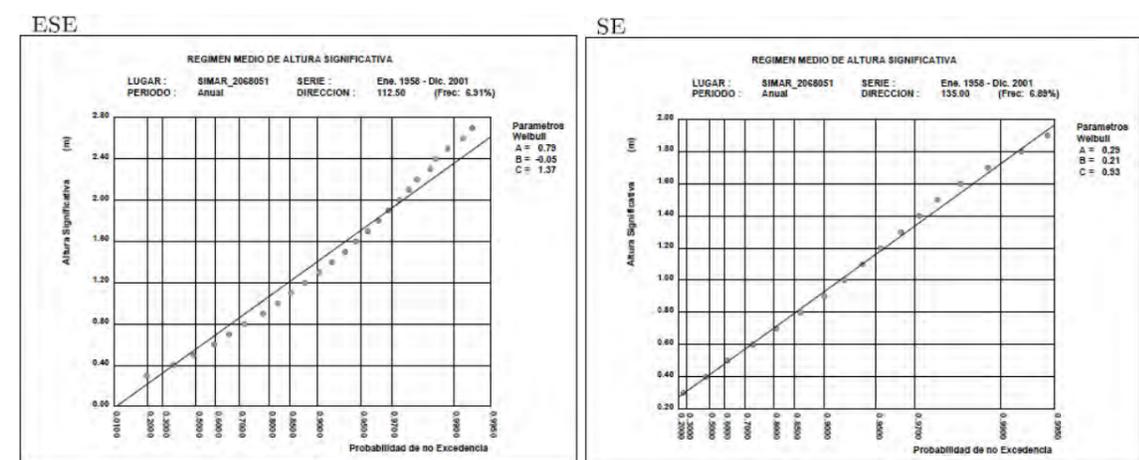


Figura 18.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones ESE y SE, SIMAR 2068051) (Fuente: PPEE)

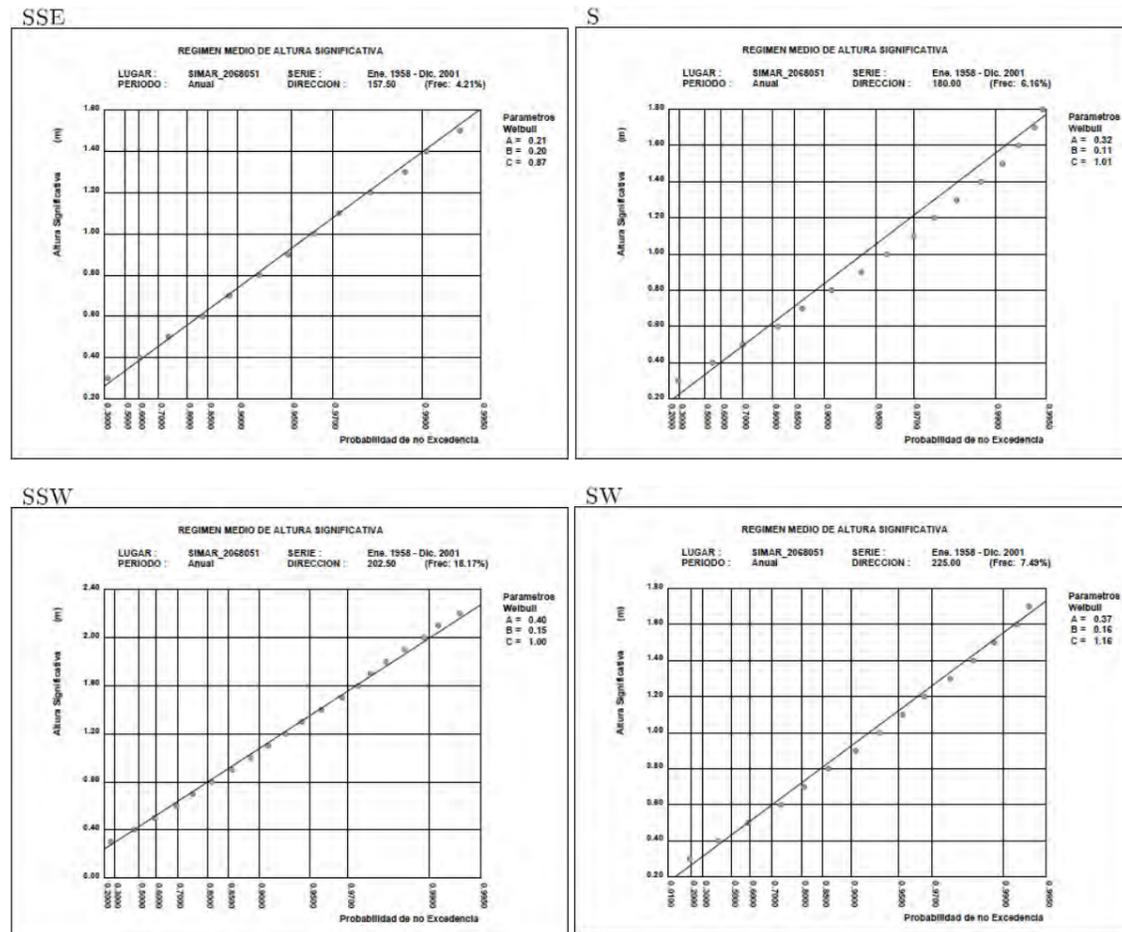


Figura 19.- Funciones de distribución media de Hs (direcciones SSE, S, SSW y SW, SIMAR 2068051) (Fuente: PPEE)

2.2.2.4 Datos WANA (Punto 2114138)

Régimen escalar

En cuanto a los datos WANA se cuenta también con la información facilitada por Puertos del Estado. Los parámetros obtenidos en el ajuste de la distribución triparamétrica de Weibull son $A = 0,29$, $B = 0,21$ y $C = 0,81$. La Figura 20.- muestra la gráfica de la distribución de Weibull.

Regímenes direccionales

La información para obtener los regímenes medios direccionales ha sido facilitada por Puertos del Estado. La relación entre frecuencias, altura de ola y direcciones se muestra en la Tabla 7.- .

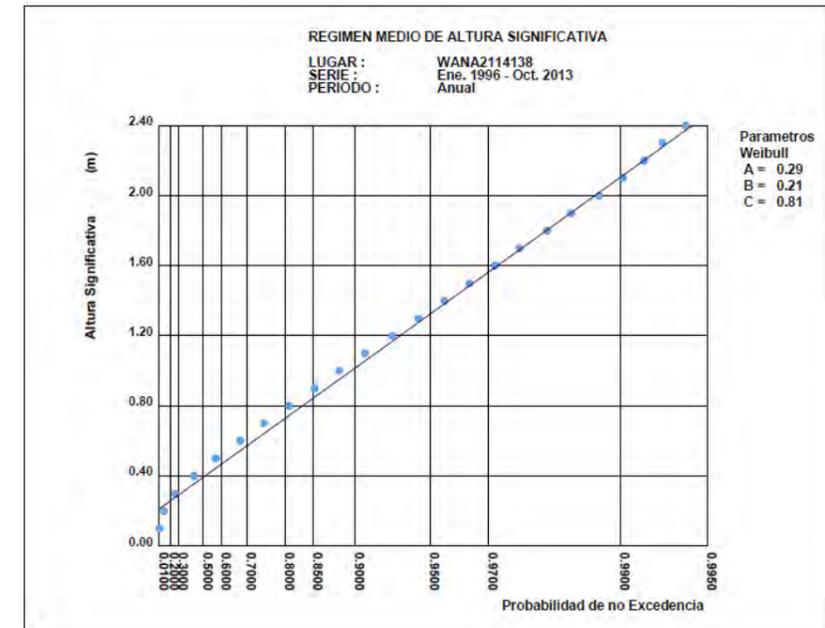


Figura 20.- Régimen medio de oleaje del punto WANA 2114138 (Fuente: PPEE)

Tabla 7.- Tabla de encuentros Hs – Dirección (WANA 2114138) (Fuente: PPEE)

Dirección	Hs (m)											Total	
	< 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0		> 5.0
CALMAS	10.964												10.964
N	0.0	.720	.878	.144	.012	.002	-	-	-	-	-	-	1.756
NNE	22.5	.886	.952	.232	.033	-	.002	.004	-	-	-	-	2.109
NE	45.0	2.214	3.090	1.114	.258	.037	.027	.004	.002	-	-	-	6.746
ENE	67.5	5.355	4.963	1.323	.396	.127	.057	.047	.014	.004	.002	.010	12.299
E	90.0	4.557	3.434	1.120	.447	.166	.094	.031	.027	.006	.002	-	9.884
ESE	112.5	4.237	3.196	.819	.336	.148	.041	.008	-	-	-	-	8.785
SE	135.0	4.776	2.482	.349	.055	.025	.002	-	-	-	-	-	7.689
SSE	157.5	3.806	1.549	.300	.074	.016	.010	-	-	-	-	-	5.755
S	180.0	5.168	2.169	.441	.160	.029	.023	.002	-	-	-	-	7.991
SSW	202.5	8.729	4.996	1.311	.367	.109	.035	.016	.012	.002	-	-	15.578
SW	225.0	3.174	2.031	.488	.111	.033	.004	-	-	-	-	-	5.841
WSW	247.5	.786	.648	.146	.021	.002	-	-	-	-	-	-	1.602
W	270.0	.357	.226	.072	.021	-	-	-	-	-	-	-	.675
WNW	292.5	.316	.222	.080	.006	.002	-	-	-	-	-	-	.626
NW	315.0	.289	.265	.072	.031	-	-	-	-	-	-	-	.657
NNW	337.5	.531	.408	.080	.021	.002	.002	-	-	-	-	-	1.044
Total	10.964	45.900	31.508	8.089	2.349	.698	.297	.113	.055	.012	.004	.010	100%

En la Tabla 8.- se exponen los parámetros de las distribuciones Weibull de los mejores ajustes.

Tabla 8.- Parámetros de los ajustes a funciones Weibull (WANA 2114138) (Fuente: elaboración propia)

Direcciones	Parámetros de la distribución Weibull		
	A	B	C
ENE	0,26	0,34	0,72
E	0,73	-0,01	1,17
ESE	0,61	0,09	1,23
SE	0,27	0,22	0,96
SSE	0,25	0,23	0,87
S	0,39	0,11	1,03
SSW	0,43	0,12	1,00
SW	0,51	0,11	1,30

A continuación se presentan las gráficas correspondientes a dichos ajustes (Figura 21.- a Figura 24.-).

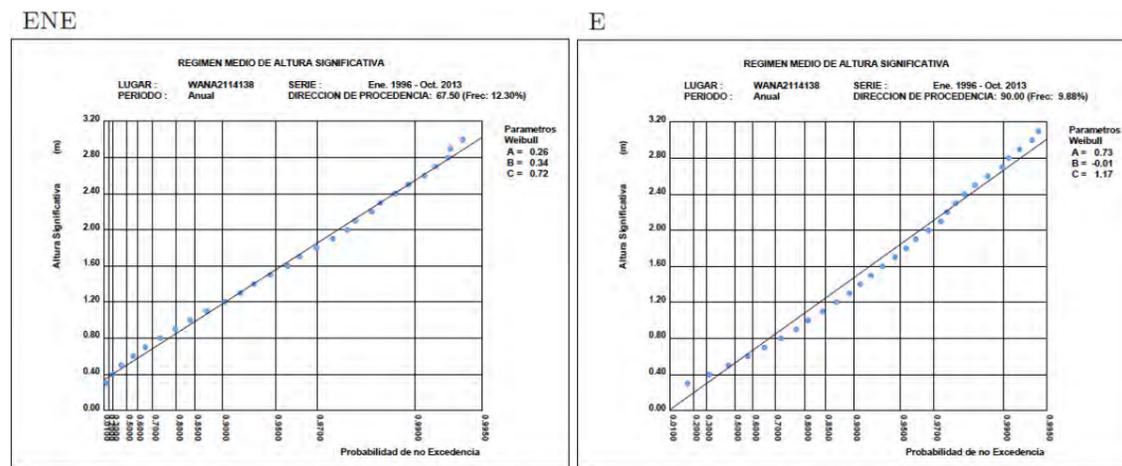


Figura 21.- Funciones de distribución media de H_s (direcciones ENE y E, WANA 2114138) (Fuente: PPEE)

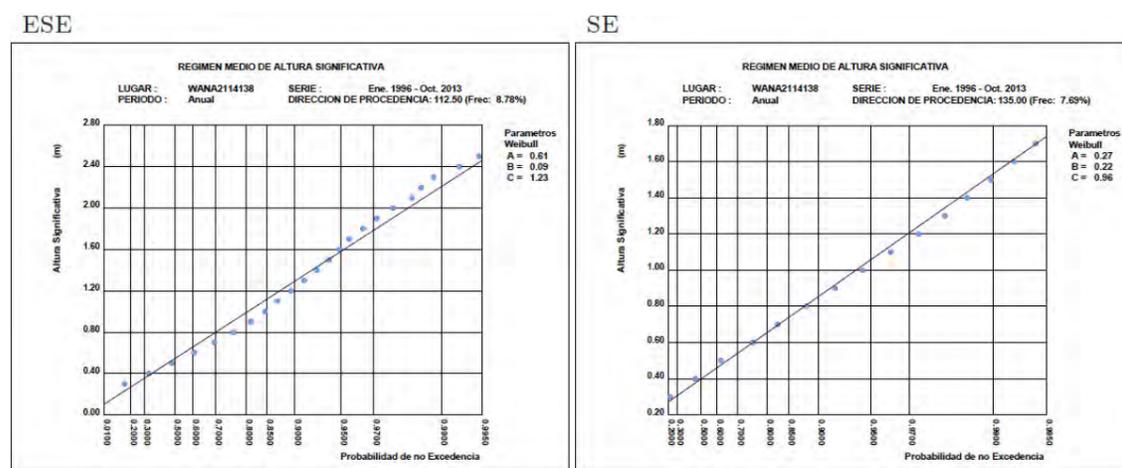


Figura 22.- Funciones de distribución media de H_s (direcciones ESE y SE, WANA 2114138) (Fuente: PPEE)

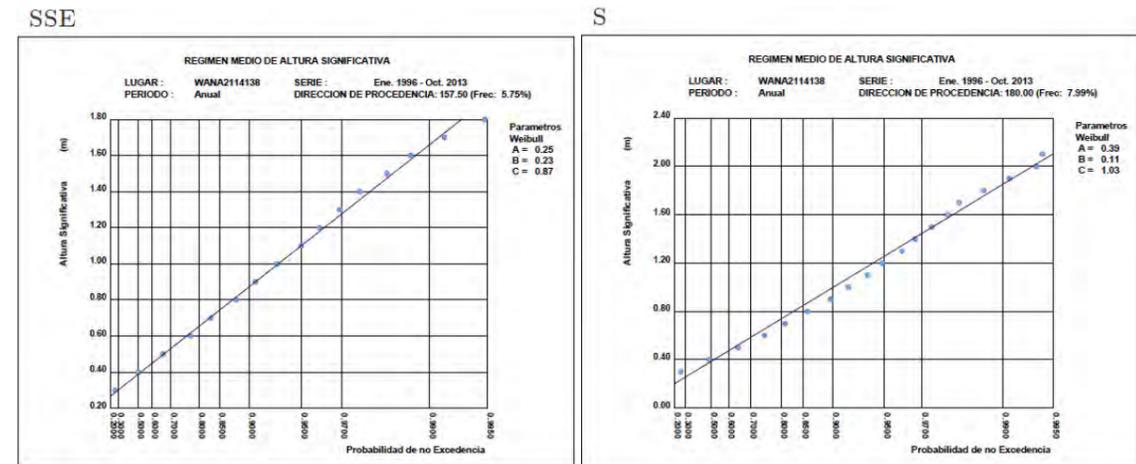


Figura 23.- Funciones de distribución media de H_s (direcciones SSE y S, WANA 2114138) (Fuente: PPEE)

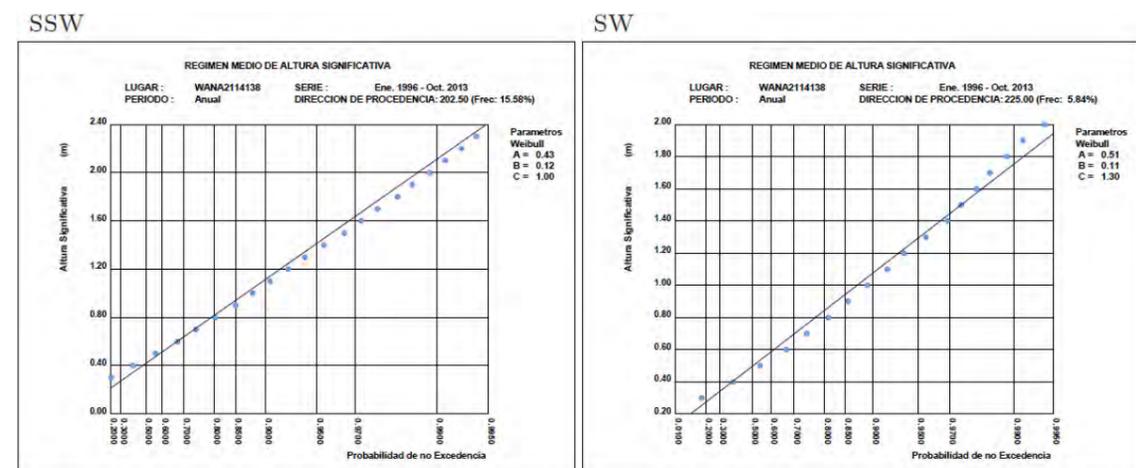


Figura 24.- Funciones de distribución media de H_s (direcciones SSW y SW, WANA 2114138) (Fuente: PPEE)

2.2.2.5 Comparación entre las diferentes fuentes de datos

En la Figura 25.- se presenta la comparación de las funciones medias de distribución escalares de H_s obtenidas para las 4 fuentes de datos. Puede apreciarse que los datos se encuentran en una franja del entorno de 0,50 m en el intervalo $0,50 \leq F \leq 0,999$, lo que implica una gran consistencia entre ellos, siendo las alturas registradas por las boyas ligeramente superiores para $F < 0,998$.

2.2.3 PERÍODO DE OLAJE

2.2.3.1 Frecuencias de presentación

La Figura 26.- muestra las frecuencias de diferentes intervalos del período pico T_p para la boya Barcelona II y los datos SIMAR y WANA. Estos dos últimos tienen gran similitud (con un máximo entre los 3 y 4 s) mientras que la boya presenta frecuencias mayores en el intervalo de 4 a 8 s y frecuencias menores en el resto.

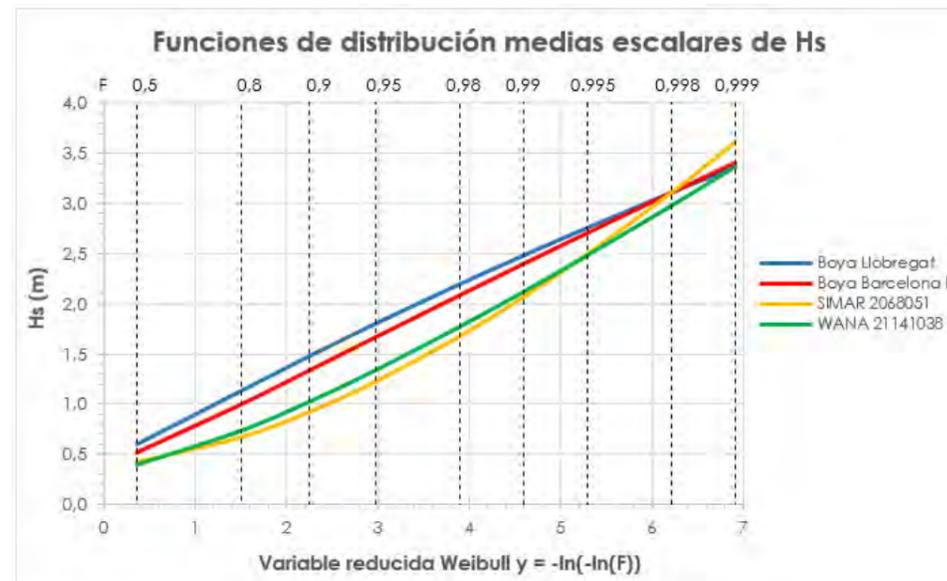


Figura 25.- Funciones de distribución medias escalares de Hs (Fuente: elaboración propia)

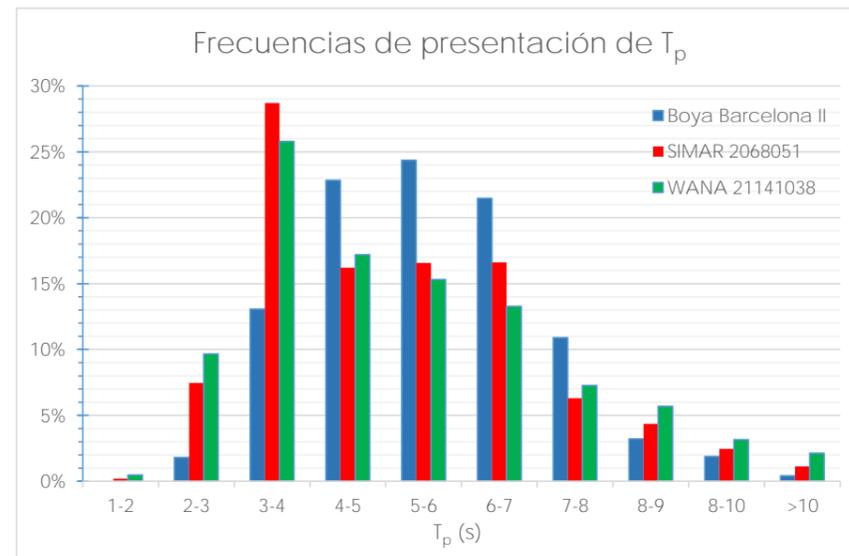


Figura 26.- Frecuencias de presentación de Tp. Izquierda: boya Barcelona II; centro: SIMAR 2068051; derecha: WANA 2114138 (Fuente: elaboración propia)

2.2.3.2 Funciones de correlación Hs - Tp

A partir de la tabla de encuentro Hs – Tp correspondientes a los registros de la boya Barcelona II, del punto SIMAR 2068051 y del punto WANA 2114138 (ver 0) se han obtenido las funciones de correlación entre la altura de ola significativa y el periodo de pico Hs – Tp (ver Figura 27.- y Figura 28.-). Estas funciones han sido calculadas como los mejores ajustes lineal y exponencial de los pares de puntos definidos por el valor central de cada intervalo de Hs (filas en las tablas anteriores) y los valores de Tp

asociados a un 10%, 50% y 90% de dichos intervalos. Así, $T_{p,50\%}$ representa el valor de T_p más probable asociado a H_s , $T_{p,90\%}$ representa el valor de T_p asociado a H_s con un 10% de excedencia y $T_{p,10\%}$ representa el valor de T_p asociado a H_s con un 90% de excedencia.

Tabla 9.- Tabla de encuentros Hs – Tp . Superior: boya Barcelona II, central: SIMAR 2068051; inferior: WANA 2114138 (Fuente: PPEE)

Hs (m)	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
≤ 0.5	-	-	1.443	8.236	10.640	9.010	6.681	2.077	0.620	0.337	0.128	39.172
1.0	-	-	0.363	4.662	10.476	11.915	9.568	3.976	0.890	0.469	0.208	42.528
1.5	-	-	-	0.164	1.621	2.891	3.976	2.674	0.828	0.363	0.004	12.522
2.0	-	-	-	0.004	0.111	0.478	0.974	1.466	0.443	0.314	0.009	3.799
2.5	-	-	-	-	-	0.080	0.226	0.483	0.239	0.137	0.013	1.178
3.0	-	-	-	-	-	-	0.053	0.142	0.106	0.146	0.013	0.460
3.5	-	-	-	-	-	-	0.004	0.071	0.071	0.071	0.018	0.235
4.0	-	-	-	-	-	-	-	0.009	0.018	0.049	0.004	0.080
4.5	-	-	-	-	-	-	-	0.004	-	-	0.018	0.022
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.004	0.004
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	-	1.807	13.066	22.847	24.375	21.483	10.901	3.215	1.886	0.421	100%

Hs (m)	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
≤ 0.5	-	.202	7.260	26.074	11.284	7.879	5.564	1.372	.378	.053	.007	60.073
1.0	-	-	.209	2.609	4.852	7.889	8.061	2.721	1.992	.874	.148	29.355
1.5	-	-	-	.027	.078	.776	2.523	1.509	1.043	.822	.336	7.115
2.0	-	-	-	-	.002	.019	.425	.542	.557	.359	.255	2.160
2.5	-	-	-	-	-	-	.033	.135	.296	.210	.155	.829
3.0	-	-	-	-	-	-	-	.013	.081	.102	.093	.290
3.5	-	-	-	-	-	-	-	.002	.014	.024	.054	.095
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.006	.030	.037
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.020	.021
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.007	.007
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.018	.018
Total	-	.202	7.469	28.710	16.216	16.564	16.607	6.294	4.362	2.451	1.124	100%

Hs (m)	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
≤ 0.5	-	0.476	8.960	19.654	10.930	7.758	4.584	2.195	1.645	0.521	0.137	56.860
1.0	-	-	0.706	5.872	5.199	5.993	6.397	2.934	2.142	1.424	0.843	31.511
1.5	-	-	0.002	0.261	0.931	1.247	1.687	1.529	1.194	0.657	0.583	8.090
2.0	-	-	-	0.002	0.133	0.289	0.478	0.421	0.462	0.345	0.220	2.349
2.5	-	-	-	-	0.004	0.021	0.115	0.131	0.166	0.107	0.154	0.698
3.0	-	-	-	-	-	0.004	0.023	0.057	0.062	0.064	0.088	0.298
3.5	-	-	-	-	-	-	0.002	0.008	0.018	0.031	0.053	0.113
4.0	-	-	-	-	-	-	-	0.002	-	0.006	0.039	0.055
4.5	-	-	-	-	-	-	-	0.002	-	-	0.008	0.012
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.004	0.004
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.008	0.010
Total	-	0.476	9.668	25.788	17.198	15.312	13.289	7.275	5.696	3.160	2.138	100%

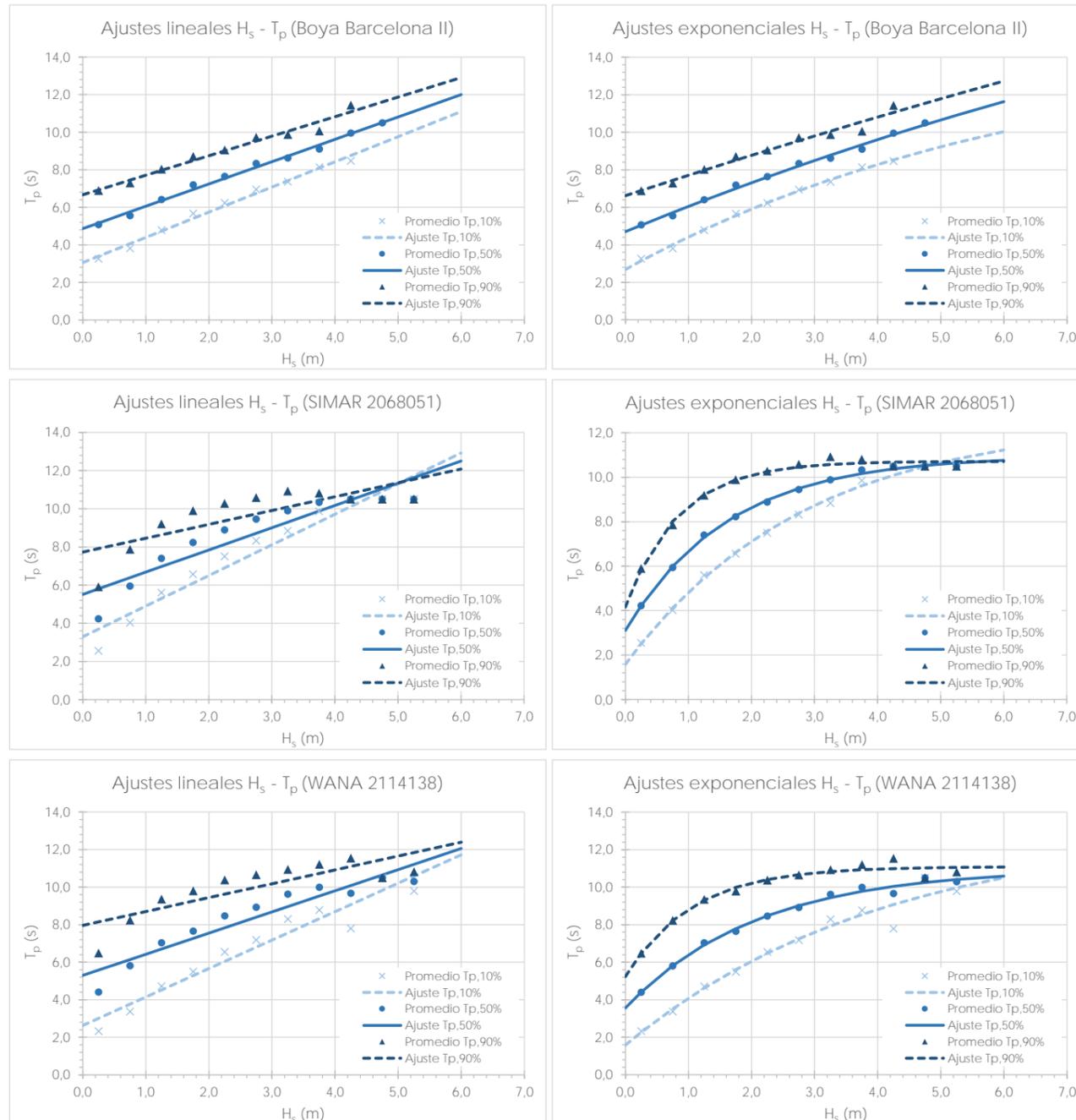


Figura 27.- Funciones de correlación lineal y exponencial $H_s - T_{p,10\%}$, $H_s - T_{p,50\%}$ y $H_s - T_{p,90\%}$ de la Boya Barcelona II, punto SIMAR y punto WANA (Fuente: elaboración propia)

Puede apreciarse que en el caso de $T_{p,50\%}$ las funciones lineales son muy similares para las tres fuentes de datos pero que las exponenciales presentan mayores diferencias. Dado que las funciones exponenciales se ajustan mejor a los datos, se opta por escogerlas. Sus expresiones se presentan a continuación:

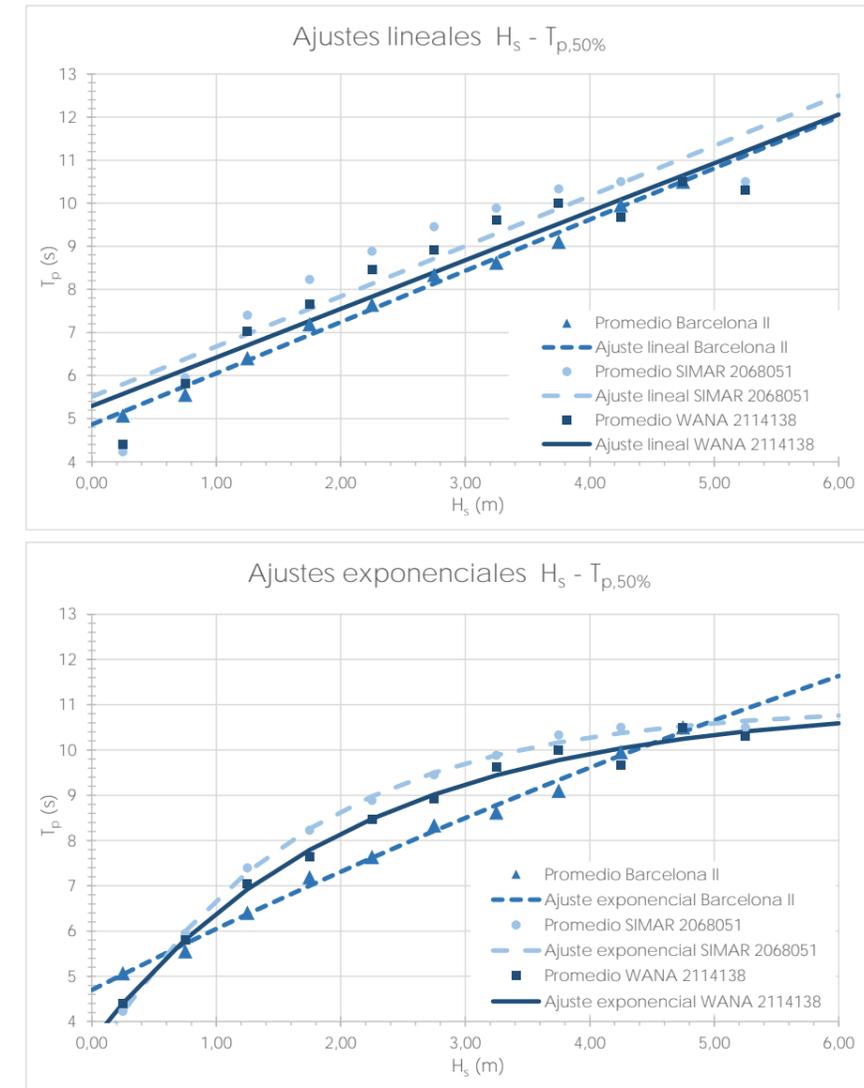


Figura 28.- Funciones de correlación lineal y exponencial $H_s - T_{p,50\%}$ (Fuente: elaboración propia)

Boya Barcelona II:	$T_{p,50\%} = -21,754 \cdot \exp(-0,064 \cdot H_s) + 26,453$
SIMAR 2068051:	$T_{p,50\%} = -7,860 \cdot \exp(-0,612 \cdot H_s) + 10,960$
WANA 2114138:	$T_{p,50\%} = -7,446 \cdot \exp(-0,480 \cdot H_s) + 11,008$
Boya Barcelona II:	$T_{p,90\%} = -38,295 \cdot \exp(-0,029 \cdot H_s) + 44,909$
SIMAR 2068051:	$T_{p,90\%} = -6,562 \cdot \exp(-1,183 \cdot H_s) + 10,716$
WANA 2114138:	$T_{p,90\%} = -5,869 \cdot \exp(-0,955 \cdot H_s) + 11,094$
Boya Barcelona II:	$T_{p,10\%} = -12,293 \cdot \exp(-0,152 \cdot H_s) + 14,975$
SIMAR 2068051:	$T_{p,10\%} = -10,979 \cdot \exp(-0,352 \cdot H_s) + 12,550$
WANA 2114138:	$T_{p,10\%} = -11,669 \cdot \exp(-0,242 \cdot H_s) + 13,244$

2.2.4 OLAJE MORFOLÓGICO

En Ingeniería de Costas es habitual emplear el concepto de "oleaje morfológico", que se define como aquel estado de mar que para un determinado sector direccional tiene la misma energía que todos los oleajes incidentes en dicho sector. Es decir, se trata de reemplazar todos los estados de mar correspondientes a un determinado sector direccional por uno único (caracterizado por una altura de ola significativa $H_{s,morf}$, un período pico $T_{p,morf}$ y la dirección media de dicho sector, D_m) de tal manera que su energía sea la misma.

El flujo de la energía de oleaje es proporcional a $E \cdot c_g$, siendo E la energía del oleaje y c_g la celeridad de grupo. De acuerdo a la teoría de Airy, E es proporcional a H^2 , mientras que cerca de la zona de rotura se tiene que $c_g = (g \cdot h_b)^{1/2}$, siendo h_b la profundidad en la zona de rotura. Como $H_b = \gamma \cdot h_b$, se tiene que el flujo de energía cerca de la zona de rotura (del cual depende el transporte de sedimentos) es proporcional a $H^{5/2}$. Por consiguiente, si la altura de ola morfológica es aquella que energéticamente es equivalente a todas las olas de un determinado sector direccional 'j', se podrá obtener mediante la fórmula

$$H_{s,morfj} = \left(\frac{\sum_{i,j} (H_{s,ij}^{5/2} \cdot f_{ij})}{f_j} \right)^{2/5}$$

donde

- $H_{s,ij}$ es la altura de la significativa del intervalo 'i' en el sector direccional 'j',
- f_{ij} es la frecuencia del intervalo 'i' de H_s en el sector direccional 'j', es decir, $H_{s,ij}$,
- f_j es la frecuencia total del sector direccional 'j', ($f_j = \sum f_{ij}$)

A partir de las tablas de encuentros H_s – dirección de las diferentes fuentes de información¹ se han calculado los valores de $H_{s,morf}$ en los sectores direccionales de interés (ENE a SW), que se muestran en la Tabla 10.-. Asimismo se incluye el período pico asociado a $H_{s,morf}$ obtenido a partir de las correlaciones H_s – $T_{p,50\%}$ exponenciales obtenidas en el apartado 2.2.3.

Tabla 10.- Características del oleaje morfológico en alta mar (Fuente: elaboración propia)

Dirección		ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW
Boya Barcelona II	$H_{s,0}$	1,16 m	1,22 m	0,94 m	0,73 m	0,68 m	0,72 m	0,90 m	0,89 m
	T_p	6,2 s	6,3 s	6,0 s	5,7 s	5,6 s	5,7 s	5,9 s	5,9 s
SIMAR 2068051	$H_{s,0}$	1,10 m	0,92 m	0,93 m	0,70 m	0,58 m	0,61 m	0,77 m	0,67 m
	T_p	7,0 s	6,5 s	6,5 s	5,8 s	5,4 s	5,5 s	6,0 s	5,7 s
WANA 2114138	$H_{s,0}$	0,94 m	1,00 m	0,88 m	0,65 m	0,67 m	0,71 m	0,80 m	0,75 m
	T_p	6,3 s	6,4 s	6,1 s	5,6 s	5,6 s	5,7 s	5,9 s	5,8 s

¹ No se incluye la boya Llobregat ya que no ha podido obtenerse su tabla de encuentros H_s – dirección

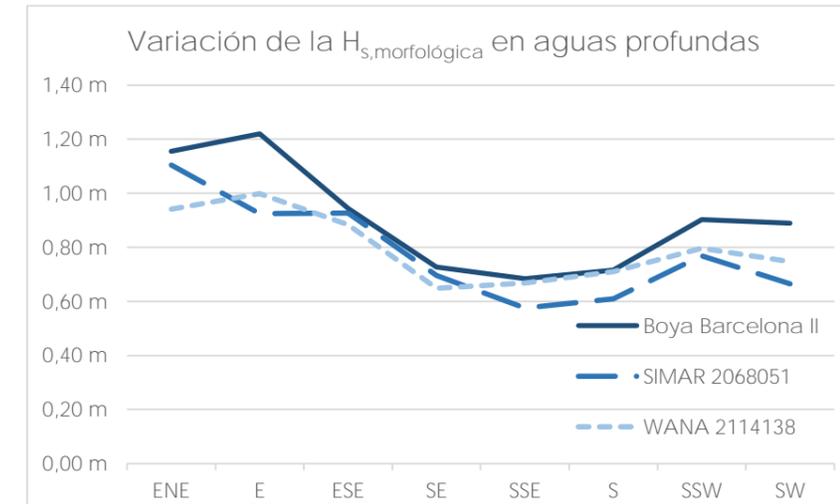


Figura 29.- Variación de $H_{s,morfologica}$ en aguas profundas en función de la dirección (Fuente: elaboración propia)

2.2.5 FLUJO MEDIO DE ENERGÍA

Otro parámetro comúnmente empleado en Ingeniería de Costas es el flujo medio de la energía del oleaje, \vec{F}_p , que se obtiene como la suma vectorial ponderada de los flujos de energía asociados a todas las componentes del oleaje y puede representarse como

$$\vec{F}_p = \frac{\sum_{i,j} (\vec{F}_{i,j} \times p_{i,j})}{\sum_{i,j} p_{i,j}}$$

donde $\vec{F}_{i,j}$ es el flujo de energía del oleaje asociado al intervalo de altura 'i' del sector direccional 'j' y $p_{i,j}$ es el peso asociado, en este caso su probabilidad o frecuencia de presentación (ver Tabla 3.-, Tabla 5.- y Tabla 7.-). Tal como se ha comentado en el apartado anterior el flujo de energía es proporcional a H^2 en aguas profundas y a $H^{2.5}$ en aguas someras. A partir de los valores de p_{ij} presentados en las tablas anteriores y restringiendo el cálculo a los sectores de interés (ENE a SW) se obtienen las siguientes direcciones del flujo medio de energía en aguas profundas.

Tabla 11.- Direcciones del flujo medio de energía del oleaje en aguas profundas

Origen de los datos	Boya Barcelona II	SIMAR 2068051	WANA 2114138
Considerando H^2	118,47° N	132,94° N	129,42° N
Considerando $H^{2.5}$	113,83° N	123,49° N	124,58° N

La diferencia entre el valor obtenido de la boya Barcelona II y de los datos SIMAR o WANA radica en el menor peso que en el primer caso tienen los oleajes del tercer cuadrante (SW), tal como se comentó

en el apartado 2.2.1, y como puede comprobarse en la Figura 30.-, en la que se presentan las frecuencias direccionales relativas² de presentación del oleaje, donde puede apreciarse unos % claramente inferiores de la boya en los oleajes del SSW y unos % mayores en los oleajes del E.

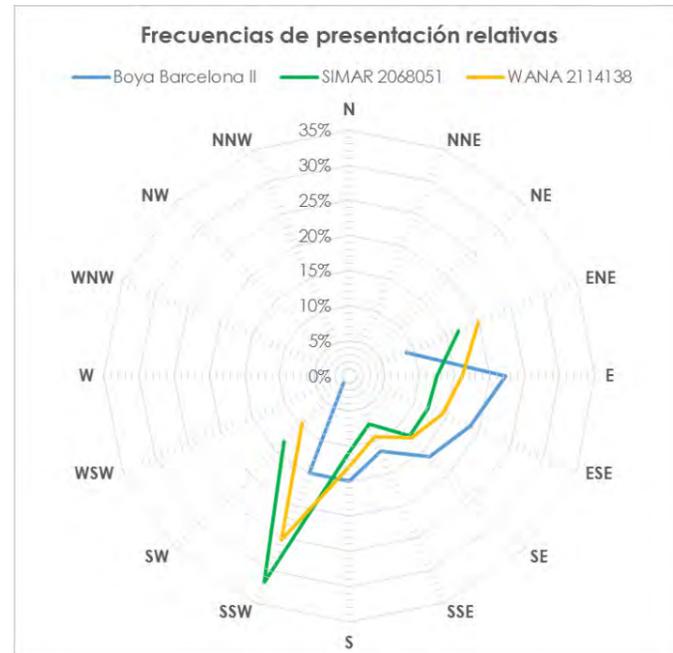


Figura 30.- Frecuencias direccionales relativas de presentación del oleaje (Fuente: elaboración propia)

Teniendo en cuenta la posición de la boya y de los puntos SIMAR y WANA, así como la de la zona de proyecto (en la que el oleaje de del cuarto cuadrante sí puede incidir tras refractarse), se considera que los valores obtenidos de estos últimos serán más similares a los reales en la zona de estudio.

2.2.6 OLAJE ASOCIADO A UNA EXCEDENCIA DE 12 HORAS/AÑO

Otro parámetro que también se emplea de modo habitual en Ingeniería de Costas es la altura de ola asociada a una probabilidad media de excedencia de 12 h/año, ya que es representativa del oleaje correspondiente a un temporal de carácter anual y además es empleada en el cálculo de la profundidad activa³.

A partir de las tablas de encuentros H_s – dirección de las diferentes fuentes de información se han calculado los valores de H_{s12} en los sectores direccionales de interés (ENE a SW), que se muestran en la

² En este caso el término 'relativo' significa que la suma de todas las frecuencias expresadas en las gráficas suman el 100% para las 3 bases de datos sin tener en cuenta las frecuencias correspondientes a los sectores direccionales no representados (del W al ENE).

³ Es decir, la profundidad a partir de la cual el transporte longitudinal de sedimentos (es decir, paralelo a la línea de costa) deja de ser significativo.

Tabla 12.- y en la Figura 31.-. Asimismo se incluye el período pico asociado a H_{s12} obtenido a partir de las correlaciones $H_s - T_p$ exponenciales obtenidas en el apartado 2.2.3.

Tabla 12.- Características del oleaje en alta mar asociado a una probabilidad de excedencia de 12 h/año (Fuente: elaboración propia)

Boya Barcelona II			SIMAR 2068051			WANA 2114138		
Dirección	$H_{s12,0}$	T_{p12}	Dirección	$H_{s12,0}$	T_{p12}	Dirección	$H_{s12,0}$	T_{p12}
ENE	3,22 m	8,8 s	ENE	5,13 m	10,6 s	ENE	3,91 m	9,9 s
E	4,00 m	9,6 s	E	3,26 m	9,9 s	E	3,65 m	9,7 s
ESE	2,91 m	8,4 s	ESE	3,08 m	9,8 s	ESE	2,92 m	9,2 s
SE	2,01 m	7,3 s	SE	2,41 m	9,2 s	SE	2,15 m	8,3 s
SSE	2,02 m	7,3 s	SSE	2,04 m	8,7 s	SSE	2,41 m	8,7 s
S	1,88 m	7,2 s	S	2,18 m	8,9 s	S	2,54 m	8,8 s
SSW	2,53 m	8,0 s	SSW	2,79 m	9,5 s	SSW	2,96 m	9,2 s
SW	2,17 m	7,5 s	SW	2,04 m	8,7 s	SW	2,29 m	8,5 s

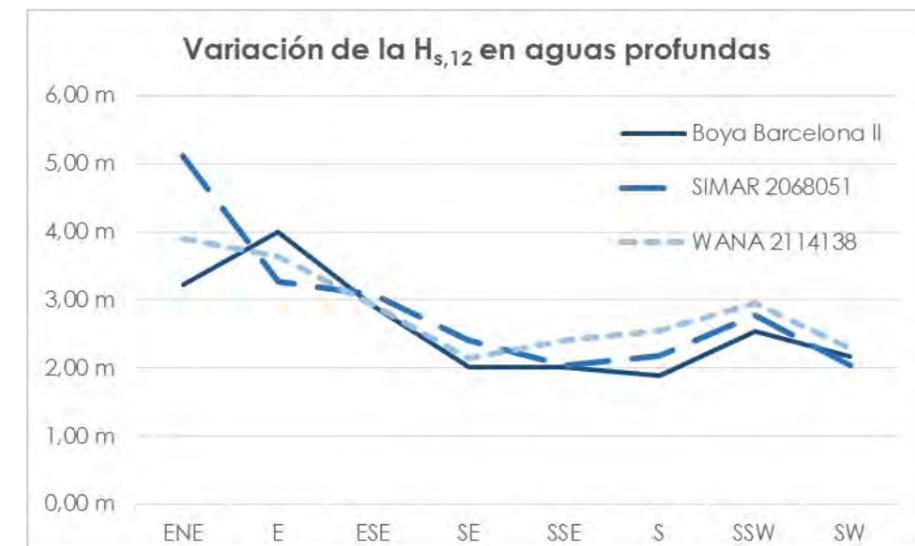


Figura 31.- Variación de H_{s12} en aguas profundas en función de la dirección (Fuente: elaboración propia)

2.2.7 CONCLUSIONES SOBRE EL RÉGIMEN MEDIO

A partir de los resultados anteriores, se concluye que se descarta la boya Llobregat como representativa del oleaje medio (ya que no se dispone de suficiente información) y la boya Llobregat II ya que está ubicada en una posición (aguas intermedias y protegida respecto al SW) tal que modifica el oleaje registrado respecto al de aguas profundas (p.e. puntos SIMAR y WANA). Por tanto estas dos últimas fuentes de datos parecen las más representativas del oleaje medio. Entre estas dos se ha comprobado que los datos SIMAR infravaloran los valores de H_s en el intervalo por debajo de los 2,5 m, por lo que se recomienda, a priori, el empleo de los datos WANA, si bien en algún caso se emplearán simultáneamente las 3 fuentes de datos.

2.3 RÉGIMEN EXTREMAL DE OLAJE

2.3.1 INTRODUCCIÓN

La seguridad y la operatividad de una instalación en la costa pueden estar condicionada por la acción del oleaje en situación de temporal, es decir, en situaciones donde la altura del oleaje alcanza una intensidad poco frecuente.

Con el fin de acotar el riesgo que corre una instalación, debido a la acción del oleaje, es necesario tener una estimación de la frecuencia o probabilidad con la que se presentan temporales que superen una cierta altura significativa de ola. Un régimen extremal de oleaje es, precisamente, un modelo estadístico que describe la probabilidad con la que se puede presentar un temporal de una cierta altura de ola.

En el diseño de estructuras marítimas se utilizan estados de mar extremos con una intensidad tal que solo exista una pequeña probabilidad de que esa intensidad sea superada en la vida prevista de la estructura. Como la vida prevista suele exceder con mucho el periodo de tiempo cubierto por los datos, es necesario realizar extrapolaciones en las funciones de distribución estimadas a partir de las frecuencias de ocurrencia.

Tal como se comenta en el Anejo nº 7, según las recomendaciones ROM 1.0-09 las obras de defensa y regeneración de playa deben diseñarse para una vida útil mínima $V = 15$ años y para una Probabilidad de fallo tanto en Estado Límite Último como en Estado Límite de Servicio $P_{fELU} = P_{fELS} = 0,20$. Esto significa un periodo de retorno $R = T_r = 67,72$ años,

2.3.2 RÉGIMEN EXTREMAL EN LAS BOYAS

En el caso de las boyas Llobregat y Barcelona II (ubicadas en aguas intermedias), la altura de ola significativa en aguas profundas asociada a un determinado periodo de retorno en una dirección determinada, puede obtenerse a partir de los resultados instrumentales disponibles, a través de la siguiente ecuación (ROM 0.2-90):

$$H_{s,0} = H_{s,R} \cdot K_{\alpha} / K_R$$

siendo:

- $H_{s,0}$: Altura de ola significativa en aguas profundas asociada a un periodo de retorno, para una dirección determinada.
- $H_{s,R}$: Altura de ola significativa asociada a un periodo de retorno obtenida del régimen extremal escalar instrumental (boya).
- K_{α} : Coeficiente de direccionalidad para la dirección considerada.
- K_R : Coeficiente de refracción-*shoaling* en el punto de medida (boya) para la dirección considerada, y el periodo asociado a dicha altura de ola. A falta de información específica, en este caso consideraremos $K_R = 1$.

Los valores extremales de las series de oleaje se ajustan generalmente bastante bien a la distribución de probabilidad de Weibull. De la información extraída a partir de esta función, dado su carácter escalar obtenemos únicamente datos referentes a altura de ola asociada a un determinado periodo de retorno. La Figura 32.- muestra las funciones de distribución Weibull extremales de H_s en las boyas Llobregat y Barcelona II, que ajustan bastante bien los valores extremos obtenidos, asociados a los picos de temporales que superan un determinado valor umbral (por lo que el método de obtención se denominad del Pico sobre umbral o *Peak Over Threshold –POT–*).

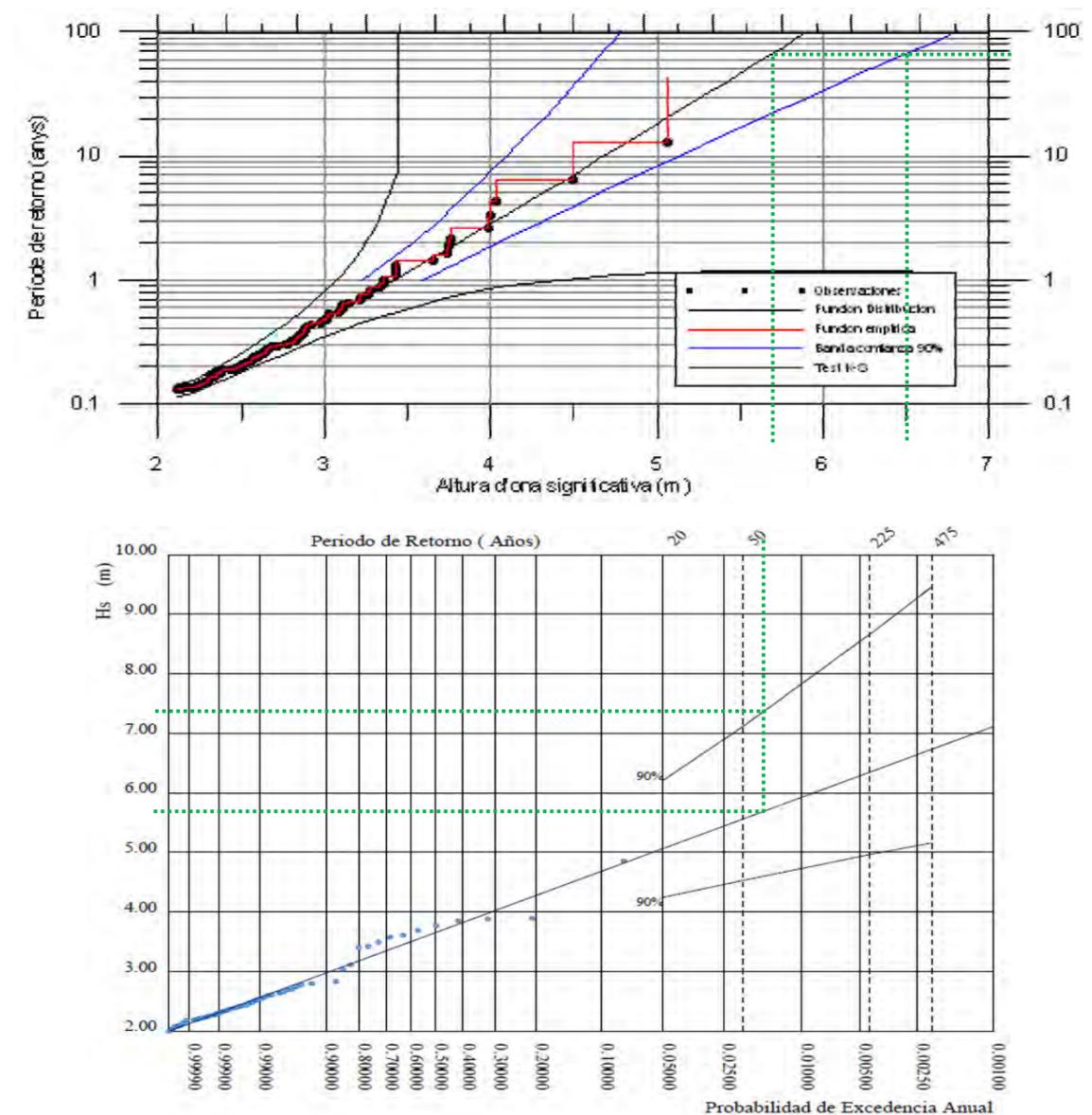


Figura 32.- Régimen extremal escalar de H_s de las boyas Llobregat (superior) y Barcelona II (inferior) (Fuente: CIIRC / APB)

Puede comprobarse que la boya Barcelona II ofrece valores algo superiores de H_s en todo el rango de periodos de retorno (y en particular para el de diseño) tanto para la Estima Central (EC) como para el Límite Superior de la Banda de Confianza del 90 % (LSBC90)⁴. Por todo ello para estar del lado de la seguridad se tomarán los valores obtenidos de la boya Barcelona II.

Tabla 13.- Alturas de olas de diseño en las boyas (Fuente: Elaboración propia)

Fuente	Boya Llobregat	Boya Barcelona II
Estima Central:	$H_{s,R} = 5,65$ m	$H_{s,R} = 5,73$ m
Límite Superior de la Banda de Confianza del 90 %:	$H_{s,R} = 6,52$ m	$H_{s,R} = 7,30$ m

2.3.3 COEFICIENTES DE DIRECCIONALIDAD

Dado que el régimen mostrado es escalar, para obtener información direccional es necesario recurrir, tal como recomienda la ROM 0.3 – 91, a los coeficientes de direccionalidad K_α , es decir, aquellos coeficientes que tienen en cuenta la intensidad de los temporales en cada dirección. Multiplicando el valor de H_s obtenido de la función de distribución extremal escalar por cada valor de K_α se obtiene la altura de ola extremal en cada dirección.

Para la obtención de dichos coeficientes, la ROM 0.3 – 91 propone varios métodos. En este caso se utilizará la obtención de unas alturas de ola representativas, H_s^* , de la cola superior de los regimenes medios direccionales obtenidos en la boya; en particular dicha altura de ola representativa se obtendrá como promedio de las H_s asociadas a unas probabilidades no excedencia de 0,99 y 0,999. Las direcciones consideradas son: NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW y SW, ya que son las que pueden incidir más directamente en las boyas. Según la ROM 0.3 – 91 los coeficientes de direccionalidad se obtendrán dividiendo el valor de H_s^* de cada dirección entre el mayor de todos, al cual se le asignará un valor $K_\alpha = 1$ (la dirección pésima), tal como se muestra en la última columna de la Tabla 14.-. En el caso de la boya Llobregat se han empleado los valores de K_α incluidos en el estudio del CIIRC.

Puede apreciarse que salvo para la dirección E la boya Llobregat ofrece siempre valores mayores de K_α . Por todo ello se tomará finalmente para cada dirección el máximo de los dos valores de K_α , y que en la Tabla 14.- se presenta en negrita.

En la Figura 33.- puede apreciarse que salvo para la dirección E la boya Llobregat ofrece siempre valores mayores de K_α . Por todo ello se tomará finalmente para cada dirección el máximo de los dos valores de K_α , y que en la Tabla 14.- se presenta en negrita.

Tabla 14.- Coeficientes direccionales K_α obtenidos de los registros de la boya Barcelona II y Llobregat(Fuente: elaboración propia)

Dirección	BOYA				
	Barcelona II			K_α	K_α
	H_s (F=0,99)	H_s (F=0,999)	H_s^*		
NE	1,19	1,44	1,31	0,366	0,78
ENE	2,57	3,32	2,94	0,820	1,00
E	3,03	4,15	3,59	1,000	0,89
ESE	2,24	3,01	2,63	0,732	0,78
SE	1,56	2,08	1,82	0,507	0,78
SSE	1,50	2,10	1,80	0,501	0,65
S	1,51	1,94	1,73	0,481	0,73
SSW	1,99	2,61	2,30	0,642	0,87
SW	1,77	2,23	2,00	0,557	0,74 ⁵

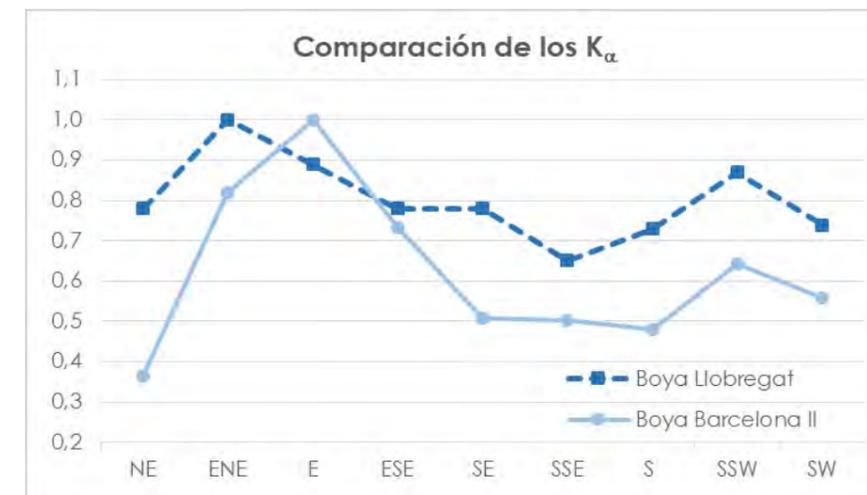


Figura 33.- Coeficientes direccionales K_α obtenidos de los registros de la boya Barcelona II y Llobregat(Fuente: elaboración propia)

2.3.4 RÉGIMEN EXTREMAL EN AGUAS PROFUNDAS

En la Tabla 15.- se presentan los valores de las alturas de ola H_s asociadas al periodo de retorno de diseño ($T_r = 67,72$ años), para la Estima Central y para el Límite Superior de la Banda de Confianza del

⁴ La Banda de Confianza del 90% indica el intervalo de valores entre los cuales se encontrará, con un 90% de probabilidad, la H_s asociada a un determinado periodo de retorno.

⁵ En el caso de la dirección SW, la fuente original (estudio del CIIRC) no ofrecía valor de K_α , por lo que se ha optado por obtener su valor a partir del coeficiente direccional del sector SSW y aplicándole una reducción similar (85%) a la obtenida en la boya Barcelona II ($K_\alpha = 0,642$ y $0,557$ respectivamente). Esta reducción es también coherente con la relación entre las alturas de ola H_{s12} en los sectores SSW y SW de los datos SIMAR y WANA (ver Tabla 12.-).

90% . Los períodos pico asociados son los obtenidos a partir de la función de correlación exponencial $T_p - H_s$ de la boya Barcelona II (ver apartado 2.2.3.2).

Tabla 15.- Alturas de ola de diseño. $T_r = 67,72$ años, Estima central (Fuente: elaboración propia)

Estima central:

Dirección	$H_{s,R}$ (m)	K_α	$H_{s,R,dir}$ (m)	T_p (s)	K_r	$H_{s,0}$ (m)
ENE	5,73	1,00	5,73	11,4	1,00	5,73
E	5,73	1,00	5,73	11,4	1,00	5,73
ESE	5,73	0,78	4,47	10,1	1,00	4,47
SE	5,73	0,78	4,47	10,1	1,00	4,47
SSE	5,73	0,65	3,72	9,3	1,00	3,72
S	5,73	0,73	4,18	9,8	1,00	4,18
SSW	5,73	0,87	4,99	10,6	1,00	4,99
SW	5,73	0,74	4,24	9,9	1,00	4,24

Límite Superior de la Banda de Confianza del 90%:

Dirección	$H_{s,R}$ (m)	K_α	$H_{s,R,dir}$ (m)	T_p (s)	K_r	$H_{s,0}$ (m)
ENE	7,30	1,00	7,30	12,8	1,00	7,30
E	7,30	1,00	7,30	12,8	1,00	7,30
ESE	7,30	0,78	5,69	11,3	1,00	5,69
SE	7,30	0,78	5,69	11,3	1,00	5,69
SSE	7,30	0,65	4,75	10,4	1,00	4,75
S	7,30	0,73	5,33	11,0	1,00	5,33
SSW	7,30	0,87	6,35	12,0	1,00	6,35
SW	7,30	0,74	5,40	11,1	1,00	5,40

Por consiguiente se concluye que las direcciones pésimas, desde el punto de vista del diseño, son el ENE y el E, para las cuales la altura significativa de diseño será $H_{s,0} = 5,73$ m (Estima Central del régimen extremal) y $H_{s,0} = 7,30$ m (Límite Superior de la Banda de Confianza del 90% del régimen extremal). De este modo la altura de ola de diseño en aguas profundas (alta mar) y su período de pico asociado son:

	E.C.	L.S.B.C.90%
$H_{s,0}$ diseño	5,73 m	7,30 m
T_p diseño	11,4 s	12,8 s
Dirección de procedencia	N67,5° (ENE) / N90° (E)	N67,5° (ENE) / N90° (E)

No obstante en el estudio de propagación se analizarán diferentes direcciones de procedencia para comprobar si como consecuencia de los fenómenos de refracción durante la propagación del oleaje hasta la costa se obtiene una altura local mayor asociada a una dirección diferente de las anteriores.

ANEJO N° 3. ESTUDIO DE PROPAGACIÓN DEL OLAJE Y CORRIENTES

ÍNDICE

1. PROPAGACIÓN DE OLAJE.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 MODELO UTILIZADO	1
1.3 PARÁMETROS DE CÁLCULO	3
1.3.1 DATOS DE OLAJE UTILIZADOS.....	3
1.3.2 BATIMETRÍA UTILIZADA.....	4
1.3.3 MALLAS DE CÁLCULO EMPLEADAS	5
1.4 RESULTADOS OBTENIDOS.....	6
2. CORRIENTES.....	10
2.1 INTRODUCCIÓN	10
2.2 SISTEMA DE CORRIENTES LITORALES EN LA PLAYA OBJETO DE ESTUDIO	11

Apéndice 1. Resultados gráficos

Índice de figuras

Figura 1.- Mapa de situación de la zona de estudio junto con sus principales oleajes de afección (Fuente: Elaboración propia)	3
Figura 2.- Batimetría general utilizada de la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia)	4
Figura 3.- Batimetría de detalle utilizada de la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia)	4
Figura 4.- Representación batimétrica resultante o de salida del modelo SMC (Fuente: Elaboración propia)	5
Figura 5.- Mapa de situación de la zona de estudio junto con sus principales oleajes de afección Batimetría de detalle de la zona de estudio (MOPLA), y mallas de aproximación (BB) y de detalle (B1) utilizadas para las propagaciones del E y SE (Fuente: Elaboración propia)	5
Figura 6.- Mapa de situación de la zona de estudio junto con sus principales oleajes de afección Batimetría de detalle de la zona de estudio (MOPLA), y mallas de aproximación (CC) y	

de detalle (C1) utilizadas para las propagaciones del S y SSW (Fuente: Elaboración propia).....	6
Figura 7.- Detalle gráfico de las propagaciones de oleaje (vectores) para los casos de altura de ola morfológica del E (superior izquierda), SE (superior derecha), S (inferior izquierda) y SSW (inferior derecha)(Fuente: Elaboración propia).....	6
Figura 8.- Detalle gráfico de las propagaciones de oleaje (isolineas de altura de ola) para los casos de altura de ola morfológica del E (superior izquierda), SE (superior derecha), S (inferior izquierda) y SSW (inferior derecha)(Fuente: Elaboración propia).....	7
Figura 9.- Ubicación de los puntos donde se ha calculado Kp y Dlocal. (Fuente: elaboración propia).....	7
Figura 10.- Coeficientes de propagación a lo largo de la zona de estudio a una profundidad de 5 m (Fuente: elaboración propia).....	8
Figura 11.- Direcciones locales del oleaje a lo largo de la zona de estudio a una profundidad de 5 m (Fuente: elaboración propia).....	8
Figura 12.- Giros locales del oleaje a lo largo de la zona de estudio a una profundidad de -5 m (Fuente: elaboración propia)	9
Figura 13.- Comparación de Kp a lo largo de la costa en los 5 puntos analizados. (Fuente: elaboración propia)	9
Figura 14.- Gráfica de diferentes sistemas circulatorios en playas (Fuente: Losada, M.A).....	11
Figura 15.- Detalle gráfico de los vectores de corriente para los casos de altura de ola morfológica del E (superior izquierda), SE (superior derecha), S (inferior izquierda) y SSW (inferior derecha)(Fuente: Elaboración propia).....	11
Figura 16.- Detalle gráfico de los vectores de corriente para los casos de Hs,12, De izquierda a derecha y de arriba abajo : E, SE, S y SSW. (Fuente: Elaboración propia).....	12

Índice de tablas

Tabla 1.- Datos de entrada de las propagaciones de altura de ola morfológica (Fuente: elaboración propia)	3
Tabla 2.- Datos de entrada de las propagaciones para Hs12 (Fuente: elaboración propia)	4
Tabla 3.- Datos de entrada de las propagaciones para oleaje de diseño (Fuente: elaboración propia).....	4

1. PROPAGACIÓN DE OLAJE

1.1 INTRODUCCIÓN

Tras la definición de oleaje en aguas profundas (procedentes del Anejo nº 2. Estudio de Clima Marítimo) resulta necesario efectuar una propagación del oleaje hasta profundidades reducidas (borde costero entre los puertos de El Masnou y Premià), para lo cual se recurre a modelos numéricos capaces de incluir los diferentes fenómenos intervinientes, tales como refracción, difracción, asomeramiento, fricción con fondo y rotura de la onda.

El avance en las técnicas numéricas de resolución de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales ha permitido en los últimos años desarrollar una gama de modelos que permiten resolver la propagación de oleaje. La mayoría de ellos proporciona la solución numérica, integrada en la componente vertical, de las ecuaciones de conservación de la masa y cantidad de movimiento en dos direcciones, considerando un fluido incompresible y densidad constante.

1.2 MODELO UTILIZADO

Para el estudio de la propagación del oleaje desde aguas profundas hasta profundidades reducidas se ha utilizado el "Modelo Integral de Propagación de Oleaje, Corrientes y Morfodinámica en Playas" (MOPLA), herramienta para el estudio del oleaje, corrientes y fenómenos sedimentarios, incluido en el programa SMC (Sistema de Modelado Costero) desarrollado por la Universidad de Cantabria para la antigua Dirección General de Costas. El programa MOPLA integra una serie de modelos numéricos que permiten llevar a cabo el análisis a corto plazo de playas.

El MOPLA es una herramienta que permite realizar las siguientes tareas.

- Propagación de oleajes monocromáticos o espectrales desde profundidades indefinidas hasta zonas de playa en la costa. incluyendo las transformaciones debidas a la refracción, asomeramiento, difracción, disipación por fondo, por rotura y post-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.
- Caracterización del sistema circulatorio de corrientes en playas.
- Determinación de las magnitudes de corrientes en playas, condicionada a una calibración previa con información medida en campo.
- Determinación del campo de corrientes para el cálculo de transporte de sedimentos.
- Cálculo del transporte de sedimentos debido al oleaje y a las corrientes.
- Determinación de la tendencia inicial de las zonas de erosión / sedimentación en playas.
- Evolución bidimensional y horizontal de una playa frente a un evento temporal.

El MOPLA se compone de seis módulos numéricos, los cuales 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.

- OLUCA-MC: Modelo parabólico de propagación de oleaje monocromático.
- COPLA-MC: Modelo de Corrientes en playas inducidas por la rotura de ondas monocromáticas.
- EROS-MC: Modelo de erosión – sedimentación y evolución de la batimetría en playas a partir de oleaje monocromático.
- 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).

Estos modelos numéricos se fundamentan en modelos teóricos que tienen una serie de restricciones derivadas de las hipótesis en las cuales están basados.

Hipótesis del modelo parabólico de "Propagación de ondas" (OLUCA-MC/SP)

- Fluido:
 - No viscoso.
 - Incompresible.
 - Densidad constante.
- Flujo:
 - Irrotacional.
 - Estacionario.
- Dinámicas:
 - Presión constante en la superficie libre.
 - No se considera la acción del viento.
 - No se considera la acción de la aceleración de Coriolis.
- Contornos:
 - Fondo con pendiente suave.
 - El desarrollo matemático de las ecuaciones del modelo, se plantean con la hipótesis de que las variaciones del fondo con las coordenadas horizontales son pequeñas en comparación con la longitud de onda. Para el modelo lineal, Berkhoff (1982) realizó una comparación entre un modelo numérico exacto y el de la ecuación de pendiente suave para ondas propagándose sobre una playa. Encontró que hasta pendientes del fondo de 1:3 el modelo

de la pendiente suave es exacto y que para pendientes mayores predice adecuadamente las tendencias.

- Propagación:

- No linealidad débil.
- Dependencia débil de la ecuación de la dispersión con la amplitud de la onda (monocromático) o la altura de olas significativa (espectral); modelo no lineal Stokes – Hedges.
- Aproximación parabólica.
- Las ondas se propagan en una dirección principal (x), con lo cual se desprecian términos $\partial^2(\)/\partial x^2$. La solución es tanto más aproximada cuanto menor variación haya respecto a la dirección x .

- Limitaciones de aplicación del modelo:

- Las pendientes del fondo deben ser menores que 1:3, para garantizar la condición de pendiente suave.
- El ángulo de propagación en la primera fila ($x = 0$) de la malla, debe estar dentro del rango $\pm 55^\circ$, con respecto al eje de propagación principal, eje x .
- Se debe tener especial cuidado para que la zona de estudio no se encuentre dentro de ángulos de propagación mayores a $\pm 55^\circ$ con respecto al eje x , dado que los errores comienzan a ser importantes para estos ángulos.
- El modelo ha sido diseñado principalmente para ser aplicado en zonas costeras y playas, donde los fenómenos de propagación dominantes son la refracción, asomeramiento, difracción y rotura en playas. No es aplicable en casos donde la reflexión es un fenómeno importante, como es el caso de resonancia y agitación en puertos.
- Evitar cambios bruscos de profundidad en la batimetría (pendientes mayores a 1:3), principalmente en la zona de estudio.
- En la primera fila en ($x = 0$) se definen las condiciones iniciales del oleaje. En esta primera fila se asume el oleaje incidente igual para todos los puntos (amplitud, período y dirección), en la medida de lo posible se debe tratar que las profundidades en dicha fila no presenten variaciones muy fuertes.
- Como en todos los modelos numéricos, es necesario imponer unas condiciones de contorno laterales, estas condiciones nunca son perfectas e involucran ruidos numéricos en el sistema. El modelo Mopla impone unas condiciones de contorno laterales reflejantes o abiertas aplicando la ley de Snell, por lo que se debe intentar mantener el efecto de los contornos laterales lo más alejado posible de la zona de estudio y dentro de lo posible, intentar que la batimetría en dichos contornos sea lo más paralela al eje (y).
- Evitar los contornos laterales que alternan agua-tierra-agua, porque pueden generar ruidos numéricos en la ejecución.

- Debido a limitaciones del modelo numérico en los contornos, el modelo propaga las ondas en profundidades mayores a 0.30 m. Intentar modelar ensayos de laboratorio con profundidades menores a ésta, da lugar a errores numéricos.
- Por efectos del modelo numérico, internamente el programa limita las batimétricas en tierra a (-7.0 m).

Existen limitaciones en los tamaños máximos y mínimos de los elementos (D_x , D_y) en las mallas del dominio de cálculo. Se debe de tener especial cuidado en las cercanías de diques exteriores, en grandes profundidades ($h > 20$ m), donde existe un tamaño mínimo de malla relacionado también con el período del oleaje y la profundidad.

Hipótesis del modelo bidimensional de "Corrientes en playas" (COPLA-MC/SP)

- Fluido:

- Fluido homogéneo.
- Incompresible.
- Densidad constante.

- Flujo:

- La variación del fondo del mar con respecto a la horizontal es lenta (aceleraciones verticales muy pequeñas), lo que implica que las principales características del sistema de corrientes en playas estén contenidos en la variación horizontal de las propiedades integradas en la profundidad, por lo que la velocidad de corriente (U , V) es independiente de la profundidad.
- Los movimientos asociados a las corrientes de playa son permanentes, permitiendo esto promediar las ecuaciones que los representan en el tiempo (período del oleaje), lo cual significa que para períodos de tiempo mayores al del período del oleaje las variaciones temporales son despreciables. Cada tren de ondas incidente crea su propio sistema circulatorio de corrientes.
- Los efectos de viscosidad molecular son débiles, excepto en contornos, en consecuencia, se puede admitir que el movimiento oscilatorio es esencialmente irrotacional, Longuet – Higgins y Stewart (1962).
- Las fluctuaciones turbulentas debidas al oleaje son despreciables.
- Las corrientes son suficientemente débiles como para considerarse su interacción con el tren de ondas.

- Dinámicas:

- Presión constante en la superficie libre.
- No se considera la acción del viento.
- No se considera la acción de la aceleración de Coriolis.

- Contornos:

- Dado que los modelos COPLA-(MC/SP) se ejecutan a partir de los resultados del modelos OLUCA-(MC/SP), éste emplea como contornos los mismos definidos en la malla de propagación.
- Limitaciones por dimensionamiento del código del programa de corrientes:
 - Dado que el Copla se encuentra ligado al OLUCA; este último define las dimensiones máximas de las mallas. Existiendo versiones con dimensiones de nodos de malla semejantes a los descritos anteriormente.

La técnica de resolución numérica utilizada es la de diferencias finitas y, específicamente, esquemas de tipo implícito, dado que éstos reducen las inestabilidades numéricas.

El modelo resuelve las ecuaciones del movimiento y de continuidad integradas en vertical sobre una malla y como resultado se obtienen niveles y las dos componentes horizontales de la velocidad.

1.3 PARÁMETROS DE CÁLCULO

1.3.1 DATOS DE OLAJE UTILIZADOS

A partir de la caracterización del clima marítimo en aguas profundas se han obtenido los datos de entrada para las modelizaciones del oleaje.

Las direcciones consideradas se corresponden con aquellos sectores del oleaje (con amplitud de 22,5°) que realmente pueden llegar al tramo de litoral objeto del estudio y que en este caso son ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW y SW, tal como se puede observar en la Figura 1.-

De todo este abanico de direcciones de oleaje en aguas profundas ENE-SW, las que se han seleccionado (bien por presentar una mayor probabilidad o ser representativas de diferentes escenarios climáticos) y que darán una idea del comportamiento morfodinámico del sistema ante los estados más típicos de "Levantes" y "Ponientes", son las siguientes (los resultados para el resto de direcciones podrán ser obtenidos a partir de interpolaciones o extrapolaciones.):

- E (90°N), con una frecuencia de presentación del 9,88 % (según los datos WANA).
- SE (135°N), con una frecuencia de presentación del 7,69 %.
- S (180°N), con una frecuencia de presentación del 7,99 %.
- SSW (202,5°N), con una frecuencia de presentación del 15,58 %.

Para estas cuatro direcciones se han propagado 3 tipos de oleaje: el oleaje morfológico (es decir, aquel que tiene la misma energía que todos los oleajes de un determinado sector direccional), el asociado a una probabilidad de excedencia de 12 h/año ($H_{s,12}$) y que puede considerarse un temporal de carácter anual y el oleaje de diseño y, cuyos valores de H_s y T_p fueron obtenidos en el estudio de clima marítimo.

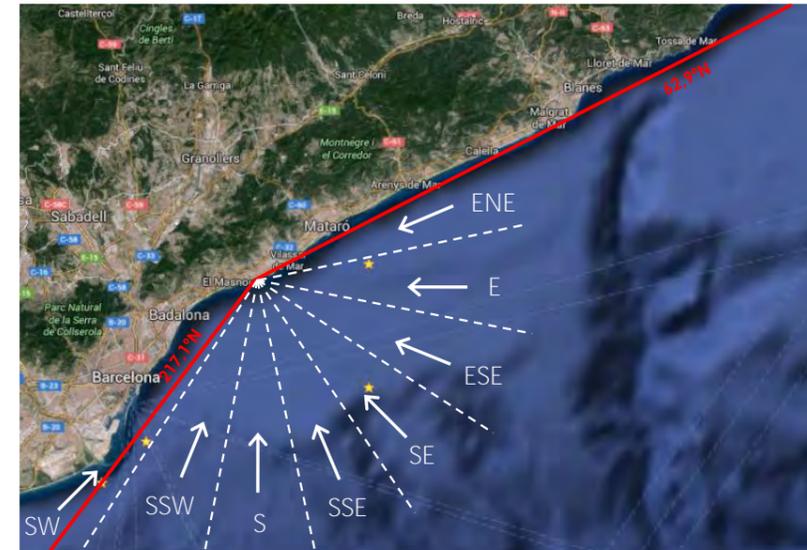


Figura 1.- Mapa de situación de la zona de estudio junto con sus principales oleajes de afección (Fuente: Elaboración propia)

Inicialmente, para el desarrollo de la caracterización del oleaje en la zona de estudio, se ha utilizado como referencia la altura de ola morfológica, aquella que concentra el total de la energía del oleaje. Su cálculo pasa por realizar una discretización del dominio de influencia del oleaje sobre la zona de estudio, tanto en dirección como en magnitud, en función de las probabilidades de ocurrencia de cada oleaje. De esta manera se obtiene una determinada altura de ola característica para cada dirección de incidencia, que contiene toda la energía del oleaje en ese sector. Los datos de entrada al modelo correspondientes a estas propagaciones se presentan en la Tabla 1.- ,

Tabla 1.- Datos de entrada de las propagaciones de altura de ola morfológica (Fuente: elaboración propia)

DIRECCIÓN	H_{s0} (m)	T_p (s)	Frec. (Hz)	Nombre del caso
E	1,00	6,4	0,1562500	B103
SE	0,65	5,6	0,1785714	B106
S	0,71	5,7	0,1754386	C109
SSW	0,80	5,9	0,1694915	C112

Por otra parte, se han propagado los oleajes asociados a una frecuencia de presentación anual de 12 h al año ($H_{s,12}$), cuyos valores de altura de ola y periodo de pico pueden verse en la Tabla 2.- . Dichos oleajes representan aproximadamente el comportamiento en la zona de rompientes de un temporal de una presentación de tipo anual y sirve para analizar la morfodinámica ante eventos más energéticos que el oleaje medio,

Tabla 2.- Datos de entrada de las propagaciones para H_{s12} (Fuente: elaboración propia)

DIRECCIÓN	H_{s12} (m)	T_p (s)	Frec. (Hz)	Nombre del caso (propagada altura de ola unitaria)	Nombre del caso (propagada altura de ola real)
E	3,65	9,7	0,10309278	B105	B115
SE	2,15	8,3	0,12048193	B108	B116
S	2,54	8,8	0,11363636	C111	C117
SSW	2,96	9,2	0,10869565	C114	C118

Finalmente se ha realizado la propagación del oleaje extremal desde aguas profundas hasta una profundidad somera en las cercanías de la zona de estudio, para identificar el comportamiento hidrodinámico ante estadios energéticos importantes (temporales de diseño). Para estos casos, cuyos resultados son importantes fundamentalmente para el dimensionamiento de las obras que se definan en el proyecto, se han empleado alturas de ola unitarias en lugar de las H_s de diseño, para inhibir el efecto de la rotura del oleaje, el cual será analizado a posteriori a partir de fórmulas empíricas. La Tabla 3.- describe los datos de oleaje utilizados para esta modelización extremal.

Tabla 3.- Datos de entrada de las propagaciones para oleaje de diseño (Fuente: elaboración propia)

DIRECCIÓN	H_{s0} (m)	H_{s0} propagada (m)	T_p (s)	Frec. (Hz)	Nombre del caso
E	5,73	1	11,4	0,0877193	B104
SE	4,47	1	10,1	0,0990099	B107
S	4,18	1	9,8	0,1020408	C110
SSW	4,99	1	10,6	0,0943396	C113

1.3.2 BATIMETRÍA UTILIZADA

La batimetría base utilizada es la procedente del levantamiento realizado *ex profeso* para este proyecto complementada con las cartas náuticas 48C, 49A y 4892 del Instituto Hidrográfico de la Marina. El conjunto se muestra en la Figura 2.-, Figura 3.- y Figura 4.-

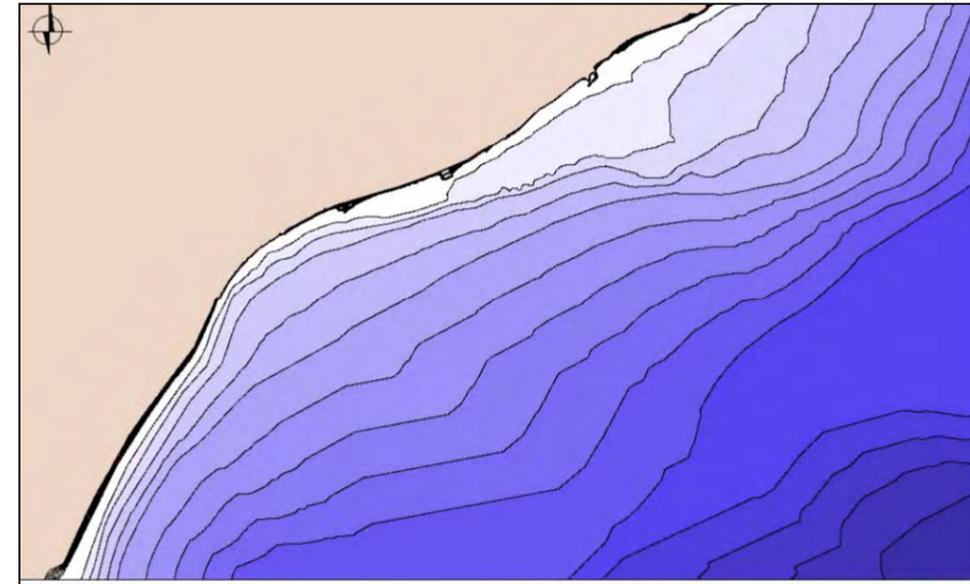


Figura 2.- Batimetría general utilizada de la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia)

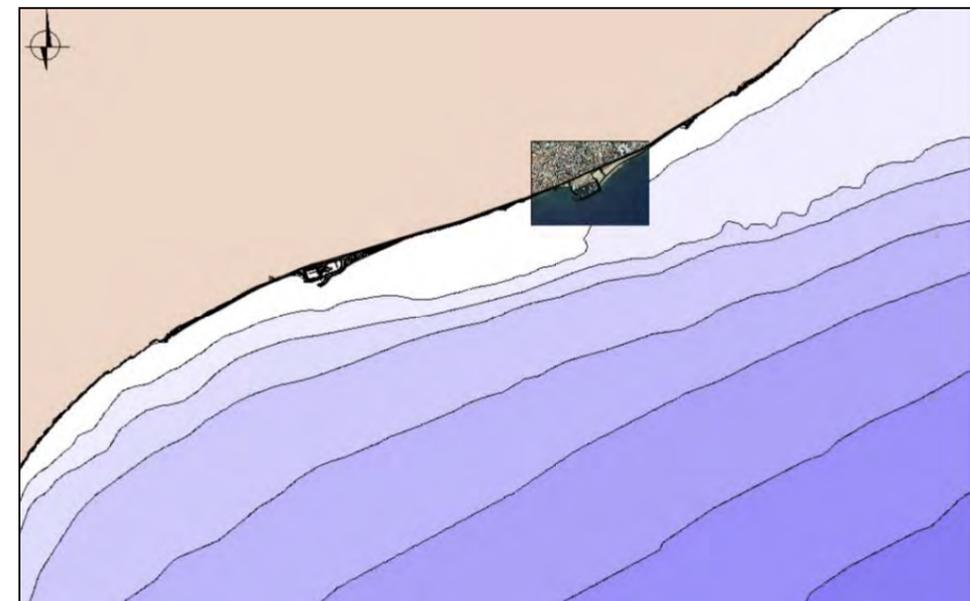


Figura 3.- Batimetría de detalle utilizada de la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia)

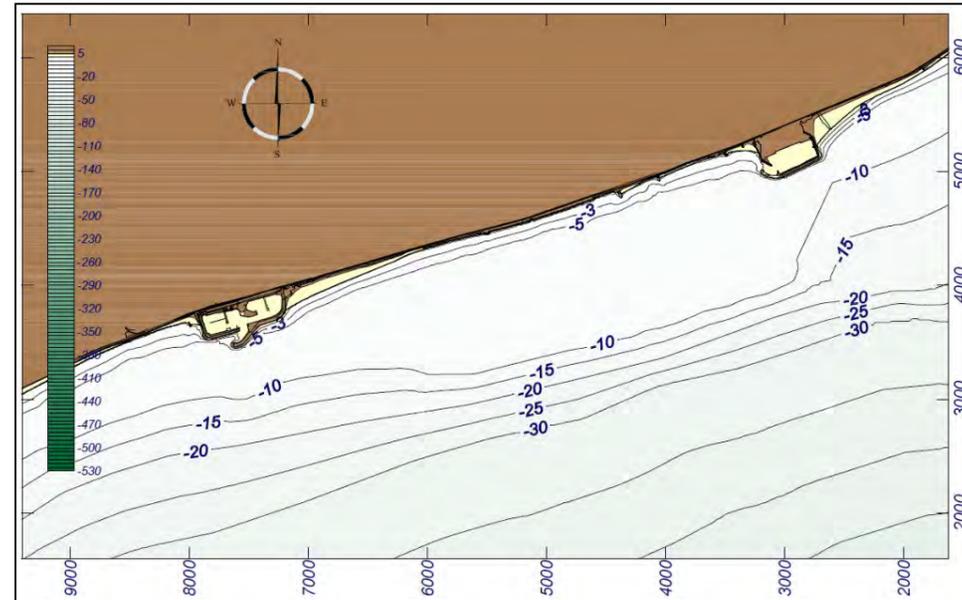


Figura 4.- Representación batimétrica resultante o de salida del modelo SMC (Fuente: Elaboración propia)

Todas las profundidades se han referenciado al cero hidrográfico y las coordenadas X, Y está referido al sistema ETRS89.

1.3.3 MALLAS DE CÁLCULO EMPLEADAS

Tras realizar un análisis de las condiciones de partida, se ha considerado que la mejor opción es utilizar dos mallas encadenadas para el conjunto de propagaciones, intentando minimizar por un lado el ángulo formado entre la orientación de la malla (eje X) y la perpendicular a las curvas batimétricas de la playa, y por otro, el ángulo formado entre la orientación de la malla (eje X) y la dirección del frente de oleaje a propagar.

Los dos pares de mallas anidadas utilizadas tienen las características que se detallan a continuación. En primer lugar, para las mallas de propagación de los oleajes del E y SE (BB y B1):

- Malla de aproximación BB:
 - Origen (x,y): 465643.72, 4591864.76
 - 178 filas equiespaciadas 64,83 metros por 291 columnas equiespaciadas 64,34 metros.
 - Orientación de la malla respecto a su eje x (ref. modelo para rumbos Este): 140°.
- Malla de detalle B1 (encadenada a la malla BB):
 - Origen (x,y): 452718.12, 4594311.49
 - 524 filas equiespaciadas 16,01 metros por 629 columnas equiespaciadas 16,09 metros.
 - Orientación de la malla respecto a su eje x (ref. modelo para rumbos Este): 140°.



Figura 5.- Mapa de situación de la zona de estudio junto con sus principales oleajes de afección Batimetría de detalle de la zona de estudio (MOPLA), y mallas de aproximación (BB) y de detalle (B1) utilizadas para las propagaciones del E y SE (Fuente: Elaboración propia)

En el caso de las mallas de propagación de los oleajes del S y SSW (CC y C1):

- Malla de aproximación CC:
 - Origen (x,y): 453512.31, 4575259.58
 - 202 filas equiespaciadas 64,87 metros por 242 columnas equiespaciadas 64,98 metros.
 - Orientación de la malla respecto a su eje x (ref. modelo para rumbos Este): 90°.
- Malla de detalle C1 (encadenada a la malla CC):
 - Origen (x,y): 450263.44, 4588298.28
 - 439 filas equiespaciadas 16,01 metros por 685 columnas equiespaciadas 16,24 metros.
 - Orientación de la malla respecto a su eje x (ref. modelo para rumbos Este): 90°.

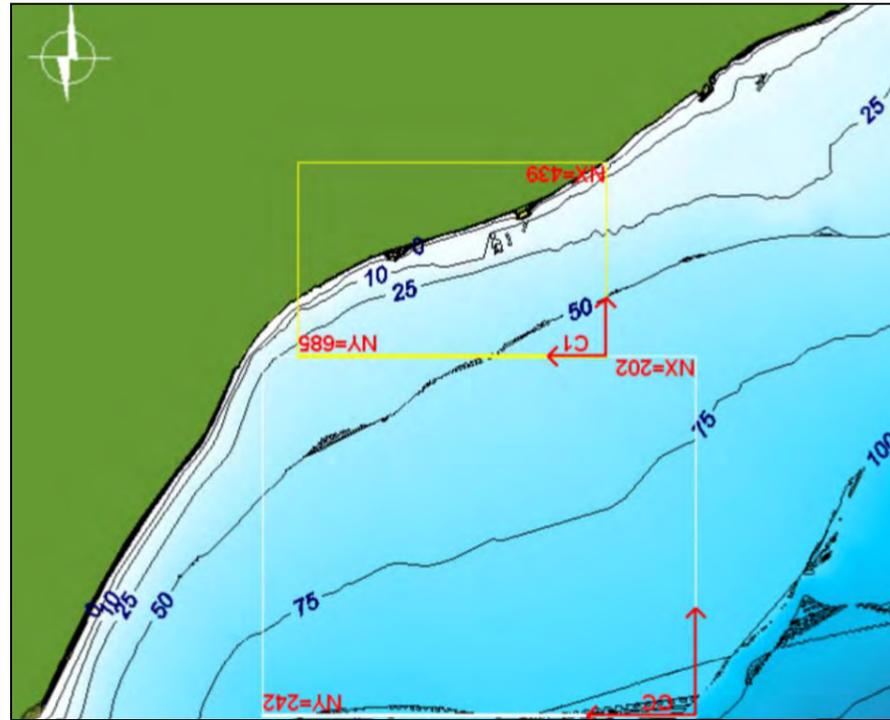


Figura 6.- Mapa de situación de la zona de estudio junto con sus principales oleajes de afección Batimetría de detalle de la zona de estudio (MOPLA), y mallas de aproximación (CC) y de detalle (C1) utilizadas para las propagaciones del S y SSW (Fuente: Elaboración propia)

1.4 RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos en las propagaciones del oleaje morfológico y oleaje asociado a las 12 h/año son los vectores de los frentes del oleaje, las gráficas de isóneas de altura de ola y los vectores de las corrientes inducidas por la rotura del oleaje. En el caso de las propagaciones de oleaje extremal los resultados se restringen a los gráficos de vectores y de isóneas de altura de ola.

En el Apéndice 1 de este Anejo se muestran los resultados gráficos obtenidos.

Tal como se presenta de manera gráfica en la Figura 7.- y Figura 8.- los efectos de asomeramiento, refracción y difracción conviven de diferente manera según la procedencia del oleaje en aguas profundas, desde el oleaje del E (el más modificado hasta llegar a la playa), o el SSW (en segundo lugar), siendo el S y SE los más inalterados. Independientemente de que este comportamiento es bastante regular y uniforme en todo el frente litoral, tal como se analiza en profundidad a lo largo de este capítulo por medio de 5 puntos de control, merece la pena señalar el efecto de concentración energética que se produce entre los puntos C y D, que si bien no alteran esa dinámica regular en el frente, sí suponen ciertas alteraciones locales del patrón que pueden generar efectos o episodios erosivos puntualmente. Lo mismo sucede en lo referente a la altura de ola a pie de playa en esta zona de concentración, lo que se traduce en incrementos puntuales asociados en los valores de K_p .

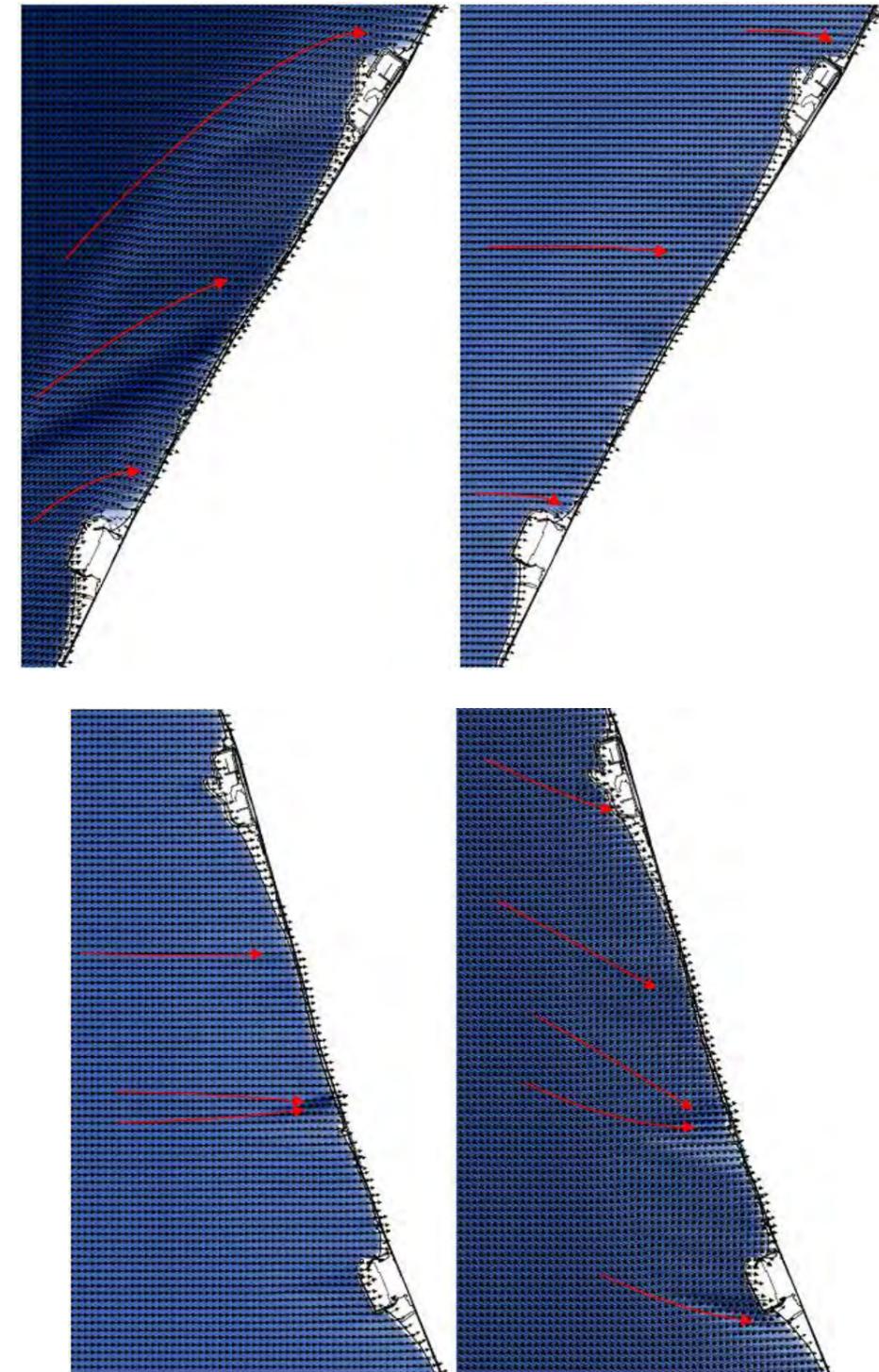


Figura 7.- Detalle gráfico de las propagaciones de oleaje (vectores) para los casos de altura de ola morfológica del E (superior izquierda), SE (superior derecha), S (inferior izquierda) y SSW (inferior derecha)(Fuente: Elaboración propia)

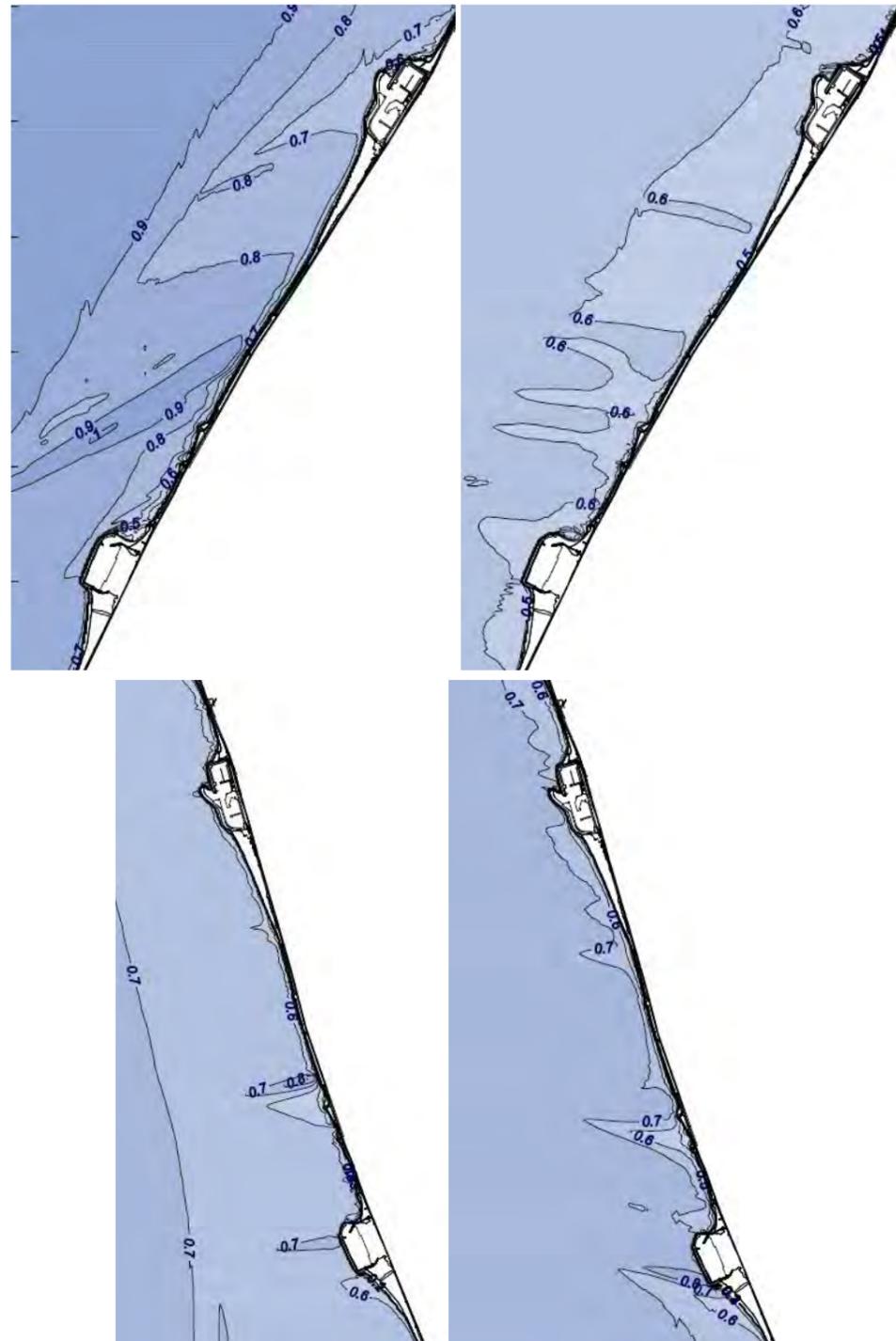


Figura 8.- Detalle gráfico de las propagaciones de oleaje (isolíneas de altura de ola) para los casos de altura de ola morfológica del E (superior izquierda), SE (superior derecha), S (inferior izquierda) y SSW (inferior derecha) (Fuente: Elaboración propia)

Se han obtenido los coeficientes de propagación K_p (es decir relación entre la altura local y la altura en aguas profundas) y las direcciones locales del oleaje en cinco puntos a lo largo de la zona de estudio a una profundidad de -5 metros (ver Figura 9.-).



Figura 9.- Ubicación de los puntos donde se ha calculado K_p y D_{local} . (Fuente: elaboración propia)

Los resultados gráficos se muestran en la Figura 10.- a Figura 12.-.

En cuanto a los valores de K_p se aprecia que los valores mínimo se obtienen para la dirección E y los máximos para la dirección SE o S según el punto de análisis. Asimismo los valores de K_p son mínimos en las direcciones SE, S y SSW para los valores menores de T_p , mientras que para la dirección E sucede lo contrario (mínimos valores de K_p para los mayores periodos, salvo en el punto D).

Por lo que respecta a las direcciones locales, los oleajes que más cambian su dirección (es decir, que más giran) son los del E, seguidos de los de SSW y los que menos el SE y el S. Asimismo los giros máximos en cada dirección se producen para los valores mayores de T_p .

En la Figura 13.- se muestra la comparación de K_p a lo largo de la costa en los 5 puntos analizados para las diferentes direcciones de incidencia. Puede apreciarse que las diferencias son poco significativas salvo para la dirección E, en la que llega a haber diferencias superiores al 15%, siendo el punto C el que registra valores de K_p superiores.

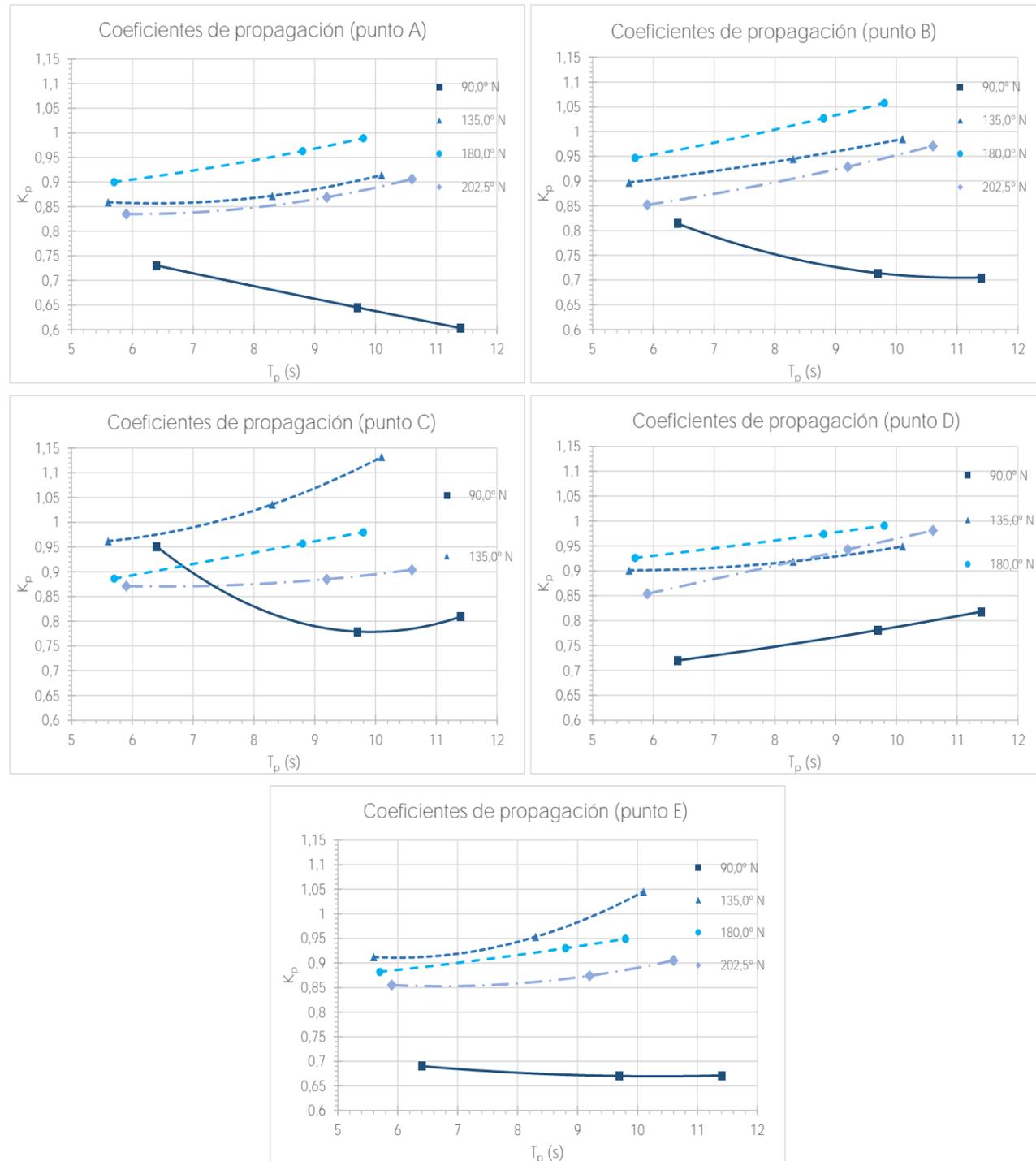


Figura 10.- Coeficientes de propagación a lo largo de la zona de estudio a una profundidad de -5 m (Fuente: elaboración propia)

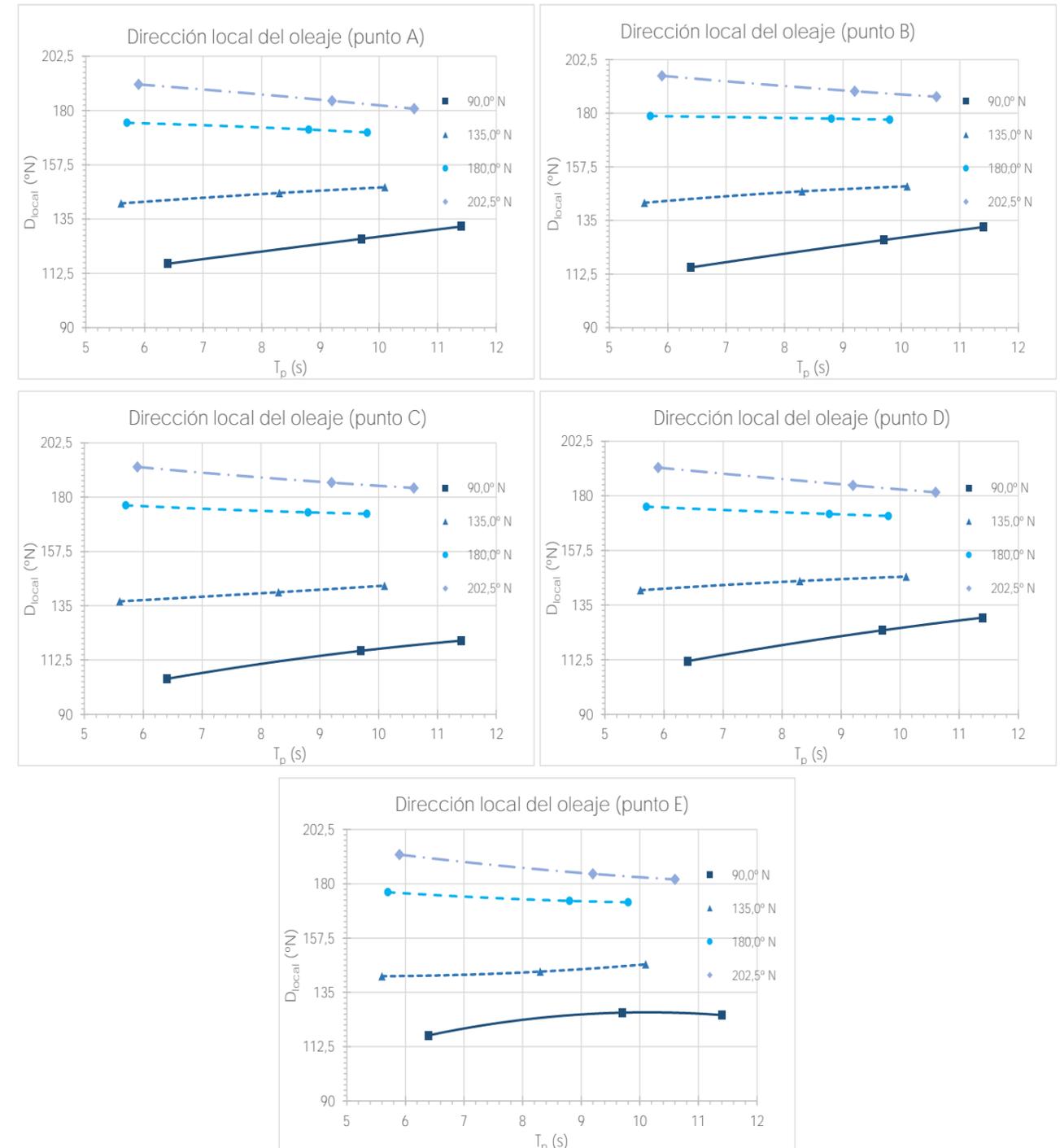


Figura 11.- Direcciones locales del oleaje a lo largo de la zona de estudio a una profundidad de -5 m (Fuente: elaboración propia)

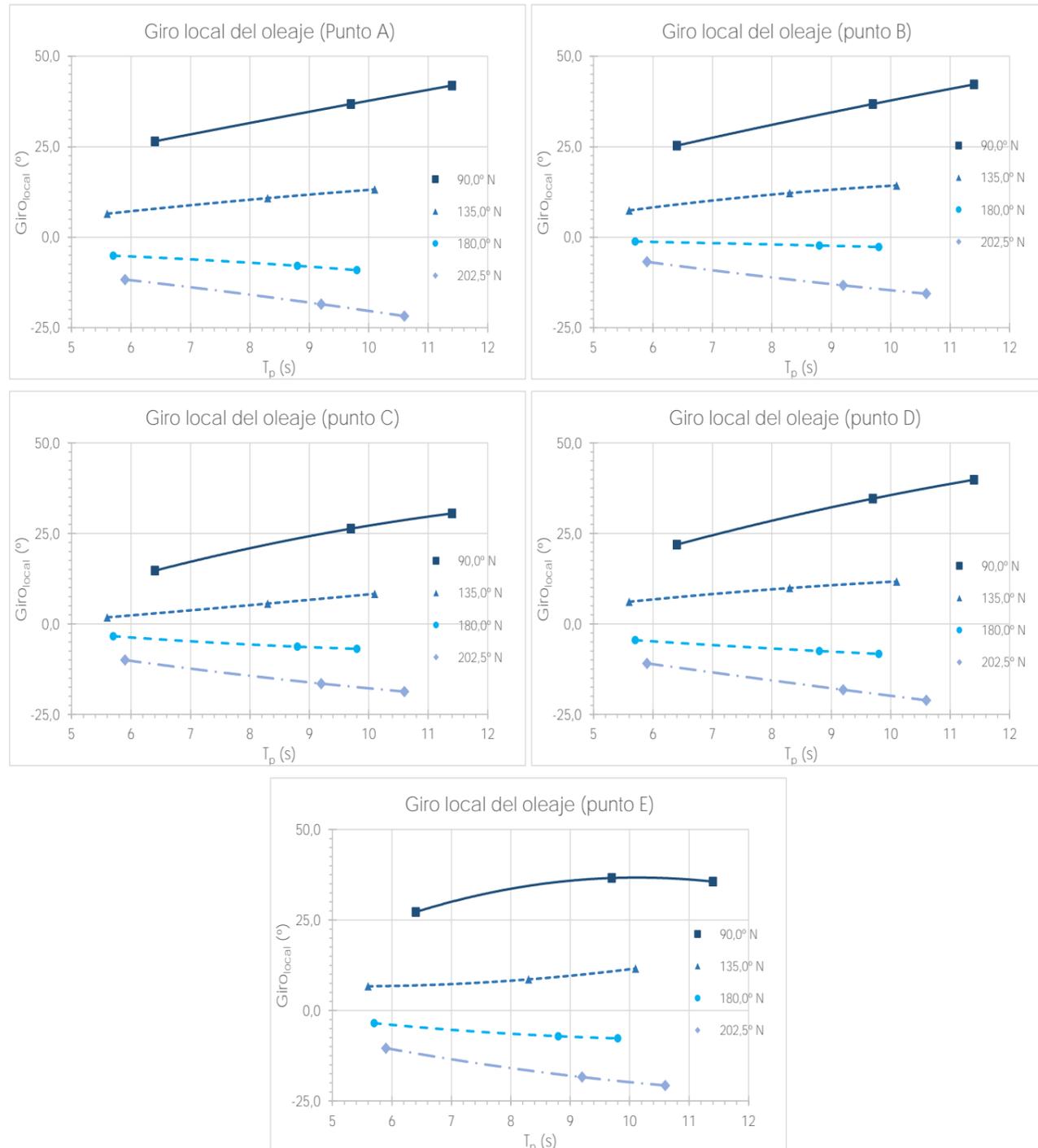


Figura 12.- Giros locales del oleaje a lo largo de la zona de estudio a una profundidad de -5 m (Fuente: elaboración propia)

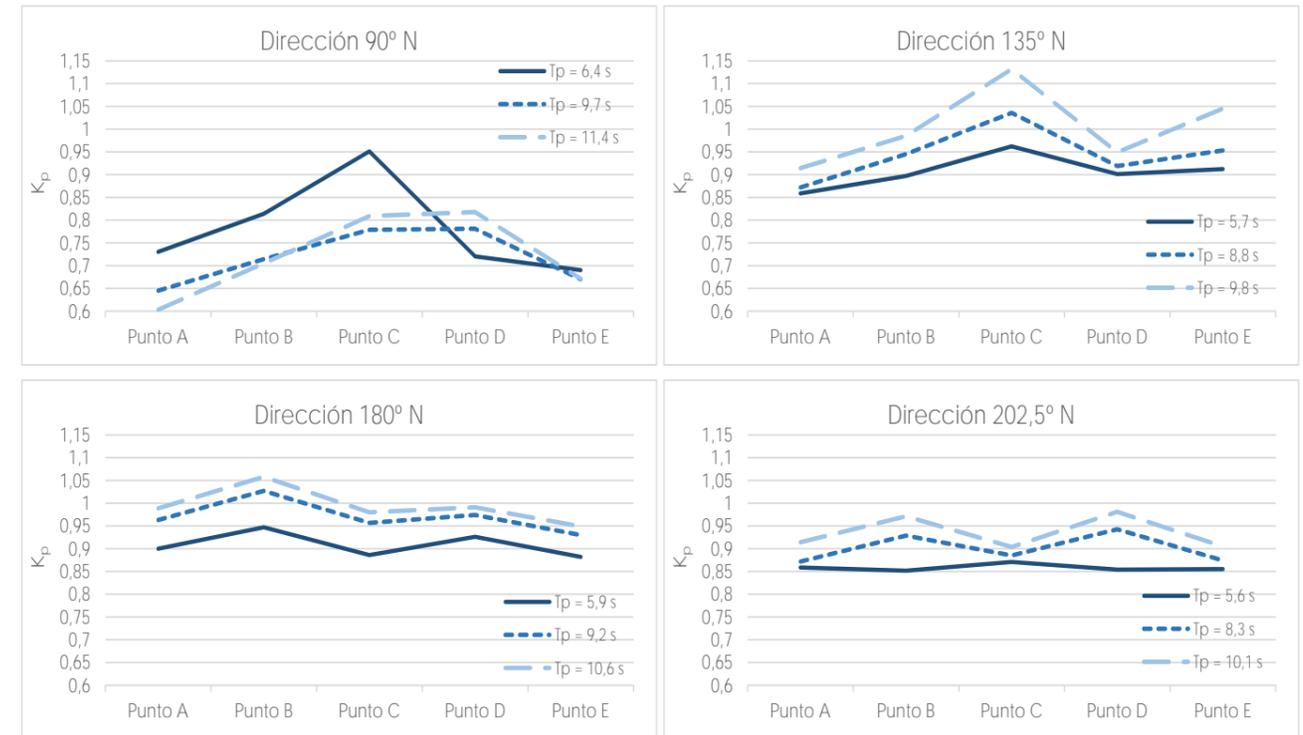


Figura 13.- Comparación de K_p a lo largo de la costa en los 5 puntos analizados. (Fuente: elaboración propia)

2. CORRIENTES

2.1 INTRODUCCIÓN

Las corrientes son movimientos generalmente no periódicos, de masas de agua de mar. Estos movimientos pueden tener lugar en distintas capas a diferentes profundidades o bien entre ellas.

Los agentes generadores de las corrientes marinas son diversos: la acción del viento sobre la superficie del agua, las diferentes densidades de masas líquidas en contacto (especialmente en estuarios y en general en salidas al mar de aguas continentales), las sobreelevaciones locales del nivel medio, la influencia de la topografía costera...

Atendiendo al proceso de generación se pueden clasificar las corrientes en cinco tipos:

- Corrientes generales.
- Corrientes locales inducidas por el viento.
- Corrientes inducidas por el oleaje.
- Corrientes de marea.
- Corrientes inducidas por la desembocadura de aguas continentales.

La determinación de las intensidades de las corrientes es sumamente difícil debido a las múltiples variaciones en tiempo y profundidad. Únicamente es posible obtener un valor medio significativo tras una campaña especial con instrumentación precisa, o bien a través de complejos modelos numéricos que para su calibrado necesitan de todos modos resultados de una campaña.

Los parámetros principales que definen las características de una corriente son su dirección o rumbo, que indican el lugar hacia donde se dirigen y la deriva o velocidad diaria.

Desde el punto de vista de la ingeniería de costas y puertos, las corrientes más importantes son las que tienen lugar en la zona próxima a la costa, dado que son las únicas susceptibles de afectar sensiblemente a las playas, bahías, estuarios y a las obras en ellas presentes. Las corrientes generales (de gran escala) y las inducidas por la desembocadura de aguas continentales carecen de importancia por tanto en este proyecto. Los otros tres tipos se describen en los siguientes puntos.

Los únicos agentes capaces de producir corrientes importantes en esta zona son las corrientes locales inducidas por el viento y las inducidas por el oleaje. Sin embargo, la intensidad de las primeras es poco notoria en lo relativo a la dinámica litoral ya que se limitan a la parte superior de la columna de agua. En cambio, las producidas por el oleaje son aquí más importantes.

Las corrientes de rotura, afectan de manera importante a la evolución y al estado actual de equilibrio de una playa, en cuanto a su forma en planta y en perfil (especialmente respecto a la primera). La

rotura del oleaje genera unas corrientes, fundamentalmente paralelas a la playa, que están condicionadas por el ángulo con que el oleaje incide en la playa y por los gradientes longitudinales de altura de ola a lo largo de la playa.

Su importancia radica en la alta capacidad que este tipo de corrientes tiene de transportar y movilizar, en dirección paralela a costa, sedimentos que el oleaje ha puesto previamente en suspensión en la zona de rotura (por efecto de la turbulencia). De esta forma, son unos agentes de peso a la hora de modelar la forma de una playa y proporcionarle cierta estabilidad.

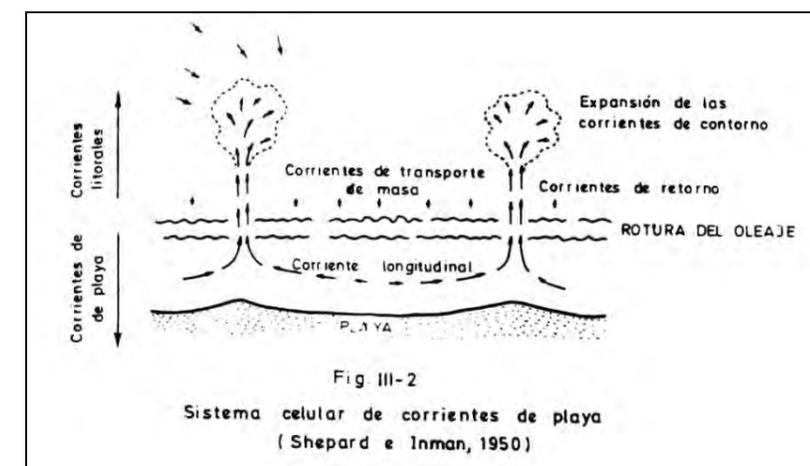
Para que una forma en planta esté en equilibrio es necesario, o bien que no existan corrientes longitudinales, o bien que el gradiente del transporte generado por éstas sea nulo.

Para la determinación de estas corrientes longitudinales, se pueden utilizar ciertas expresiones analíticas, en el caso de que las geometrías de playa sean simples. De no ser así, como es el caso, la utilización de modelos numéricos se muestra como la única alternativa razonable.

Fundamentalmente, para este proyecto, se ha utilizado el COPLA, un modelo de cálculo numérico de corrientes en playas, desarrollado por el GIOC; éste se basa en la determinación del tensor de radiación del oleaje, a partir de los resultados obtenidos en la propagación del mismo desde aguas profundas; así, calcula el campo de corrientes y niveles debido a dichos tensores de radiación, mediante un modelo no lineal que resuelve las ecuaciones integradas de Navier – Stokes.

El concepto de tensor de radiación, fue introducido por Longuet – Higgins y Stewart, en 1962, y se define como el exceso de flujo medio de cantidad de movimiento debido a la presencia de la onda, en la dirección de avance de la misma. La variación del tensor de radiación en la dirección x (perpendicular a la línea de costa), está balanceada por una variación del nivel medio del mar.

En la Figura 14.- se presentan unos esquemas de los sistemas circulatorios más característicos en playas.



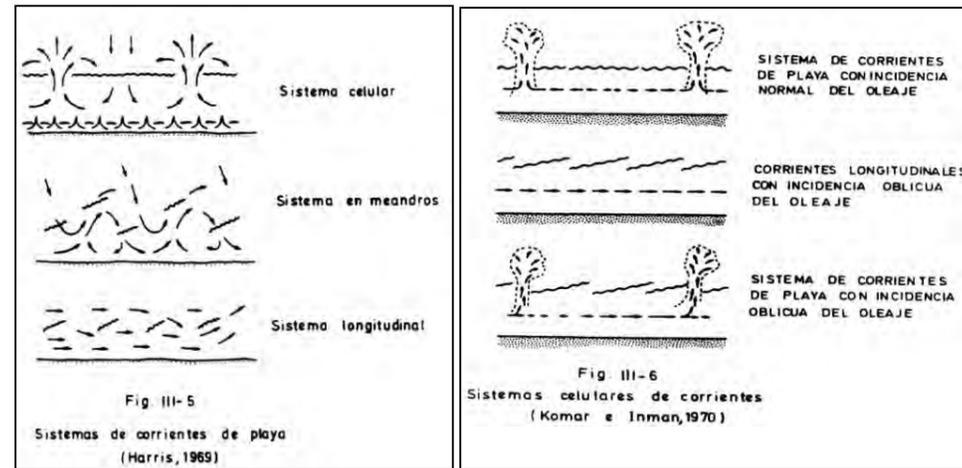


Figura 14.- Gráfica de diferentes sistemas circulatorios en playas (Fuente: Losada, M.A)

2.2 SISTEMA DE CORRIENTES LITORALES EN LA PLAYA OBJETO DE ESTUDIO

Para cada caso de oleaje morfológico y oleaje asociado a 12 h/año se calcularon las corrientes de rotura correspondientes. Los resultados se muestran en el Apéndice 1 de este anejo. Para el primer análisis se han utilizado las alturas de ola morfológicas, puesto que, tal como se comentó, recogen toda la energía de los oleajes incidentes. En los cuatro casos modelizados de ola morfológica, se aprecia el siguiente patrón y magnitudes (ver Figura 15.-):

- corriente en sentido E a W a lo largo de todo el frente litoral del orden de 0,04 a 0,05 m/s para oleajes del E, llegando puntualmente a valores máximos de 0,08 m/s.
- para oleajes del SE, se aprecia una corriente en sentido E a W, salvo inversión de sentido local (de W a E) por la parte exterior del primer tramo del dique de Levante del puerto de El Masnou, y de manera más regular (de W a E) a Poniente de dicho puerto. En general, las magnitudes son inferiores a 0,03 m/s, incrementándose a Poniente del puerto de El Masnou hasta 0,05 a 0,06 m/s.
- para los oleajes del S y SSW, se produce una corriente longitudinal por todo el frente litoral de W a E, salvo la existencia de una zona local de divergencia de corrientes producida por la concentración de energía entre los puntos de análisis C y D. Magnitudes inferiores a 0,03 m/s en todo el ámbito para oleajes del S y algo superiores (del orden de 0,05 m/s) para los del SSW.

En los casos de los oleajes asociados a H_{s12} , el patrón de corrientes cambia considerablemente respecto a las condiciones simuladas de oleaje morfológico tan solo para los oleajes del SE, en los que el sentido de la corriente se invierte a Poniente del puerto de El Masnou (sentido hacia el E) y a Levante del puerto de Premià (sentido hacia el W). En el tramo comprendido entre ambos puertos se mantiene básicamente hacia el Oeste (ver Figura 16.-). Se puede observar también en las figuras como en el caso del S, el incremento en la intensidad energética de la corriente hacia el E "barre" los dos pequeños bucles que se formaban a nivel local en la zona de concentración energética situada entre los puntos de análisis C y D.

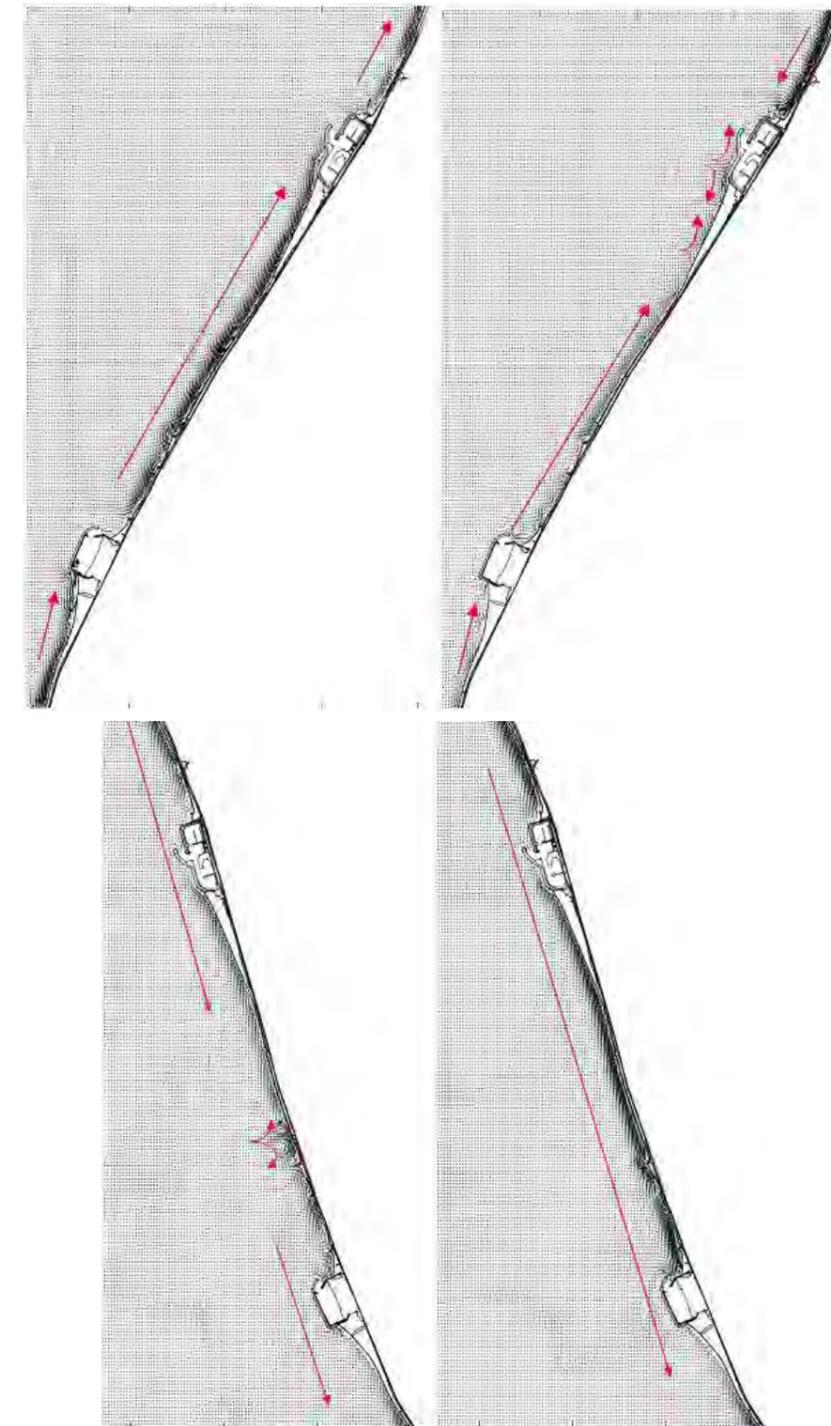


Figura 15.- Detalle gráfico de los vectores de corriente para los casos de altura de ola morfológica del E (superior izquierda), SE (superior derecha), S (inferior izquierda) y SSW (inferior derecha)(Fuente: Elaboración propia)



Figura 16.- Detalle gráfico de los vectores de corriente para los casos de $H_{s,12}$. De izquierda a derecha y de arriba abajo : E, SE, S y SSW. (Fuente: Elaboración propia)

APÉNDICE 1. RESULTADOS GRÁFICOS DE LA PROPAGACIÓN DEL OLEAJE Y CORRIENTES

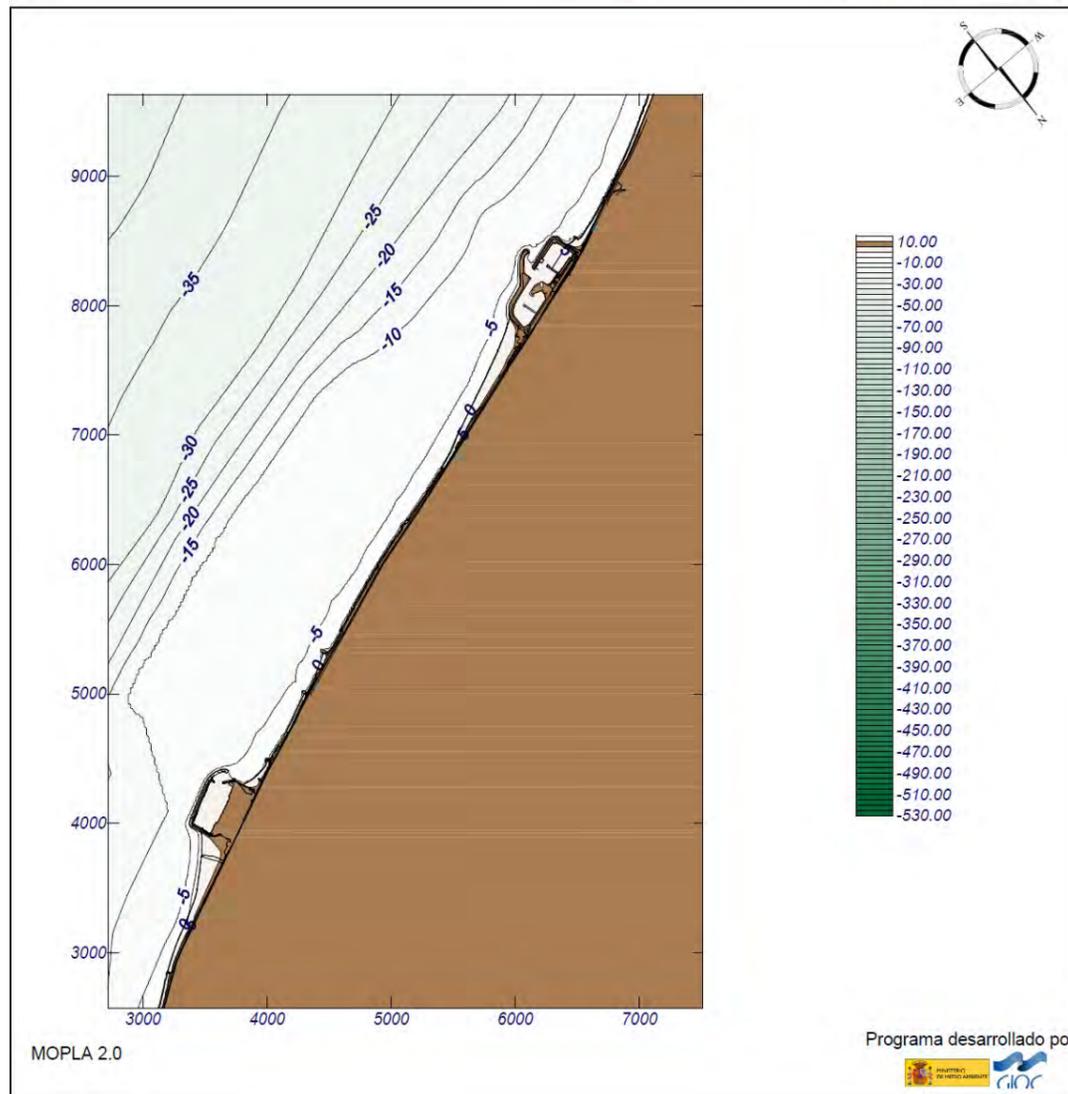
Se presenta a continuación un listado de las salidas gráficas extraídas del modelo numérico:

- Topografía 2D correspondiente al sistema de mallas BB/B1 (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Isolíneas de altura de ola significativa (Este, altura de ola morfológica) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de altura de ola significativa (Este, altura de ola morfológica) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de corriente (Este, altura de ola morfológica) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Isolíneas de altura de ola significativa (Este, Hs12) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de altura de ola significativa (Este, Hs12) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de corriente (Este, Hs12) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Isolíneas de altura de ola significativa (Este, altura de ola de diseño) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de altura de ola significativa (Este, altura de ola de diseño) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Isolíneas de altura de ola significativa (SE, altura de ola morfológica) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de altura de ola significativa (SE, altura de ola morfológica) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de corriente (SE, altura de ola morfológica) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Isolíneas de altura de ola significativa (SE, Hs12) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de altura de ola significativa (SE, Hs12) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de corriente (SE, Hs12) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Isolíneas de altura de ola significativa (SE, altura de ola de diseño) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de altura de ola significativa (SE, altura de ola de diseño) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Topografía 2D correspondiente al sistema de mallas CC/C1 (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Isolíneas de altura de ola significativa (Sur, altura de ola morfológica) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de altura de ola significativa (Sur, altura de ola morfológica) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de corriente (Sur, altura de ola morfológica) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Isolíneas de altura de ola significativa (Sur, Hs12) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de altura de ola significativa (Sur, Hs12) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de corriente (Sur, Hs12) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Isolíneas de altura de ola significativa (Sur, altura de ola de diseño) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de altura de ola significativa (Sur, altura de ola de diseño) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Isolíneas de altura de ola significativa (SSW, altura de ola morfológica) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de altura de ola significativa (SSW, altura de ola morfológica) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de corriente (SSW, altura de ola morfológica) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Isolíneas de altura de ola significativa (SSW, Hs12) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de altura de ola significativa (SSW, Hs12) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de corriente (SSW, Hs12) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Isolíneas de altura de ola significativa (SSW, altura de ola de diseño) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)
- Vectores de altura de ola significativa (SSW, altura de ola de diseño) (Fuente: Elaboración propia y MOPLA)

Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Topografía 2D (mallas BB/B1)

B1: malla detalle Levantes



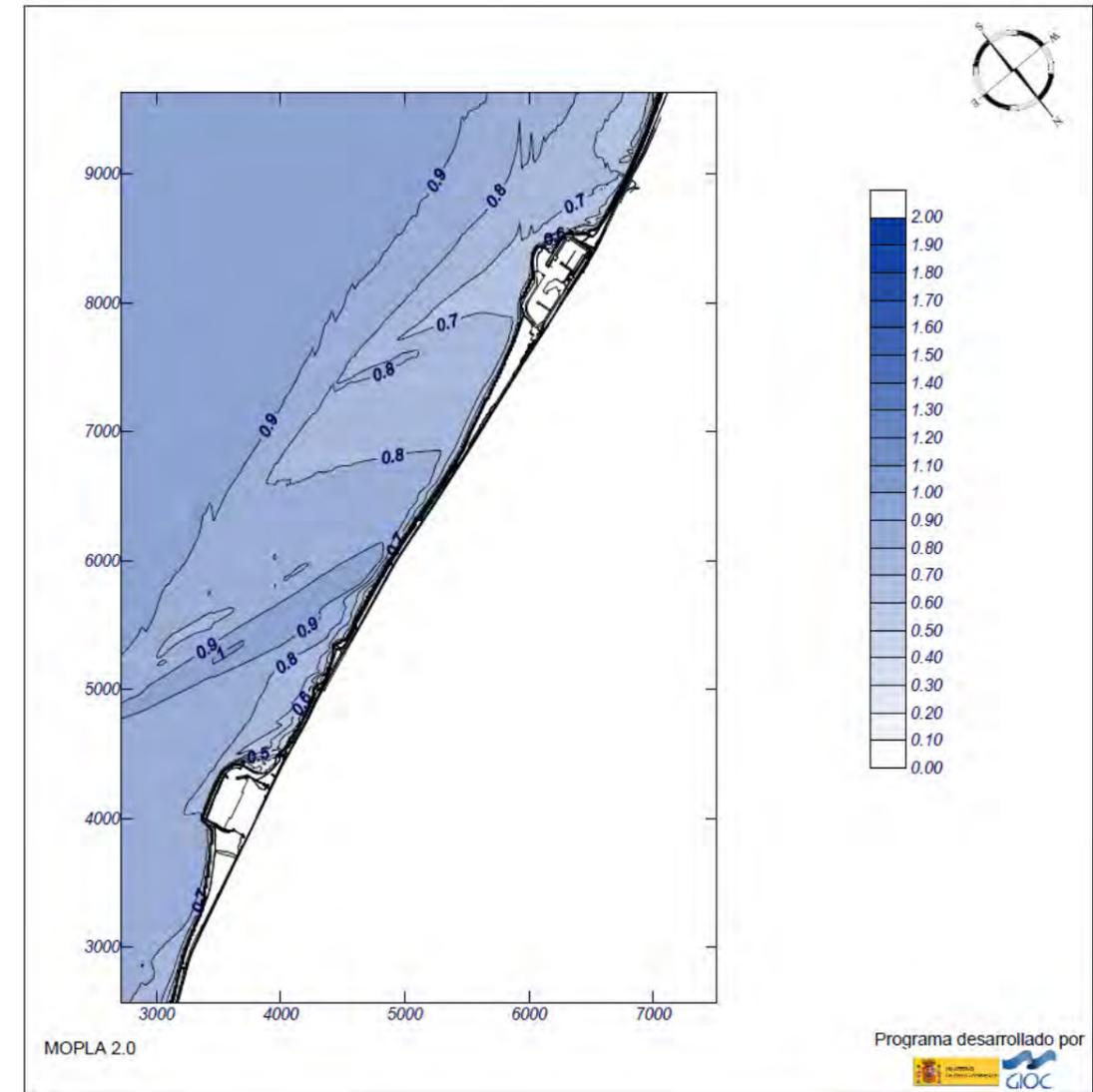
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Altura de ola significativa

Caso espectral: B103
B1: detalle levantes
03: Hs morf E

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 1 m h: 10 m fp: 0.15625 Hz (Tp: 6.4 s) y: 3.3 Nº Comp.: 7		
Espectro direccional θm: 40° (E) α: 5° - Nº Comp.: 5		



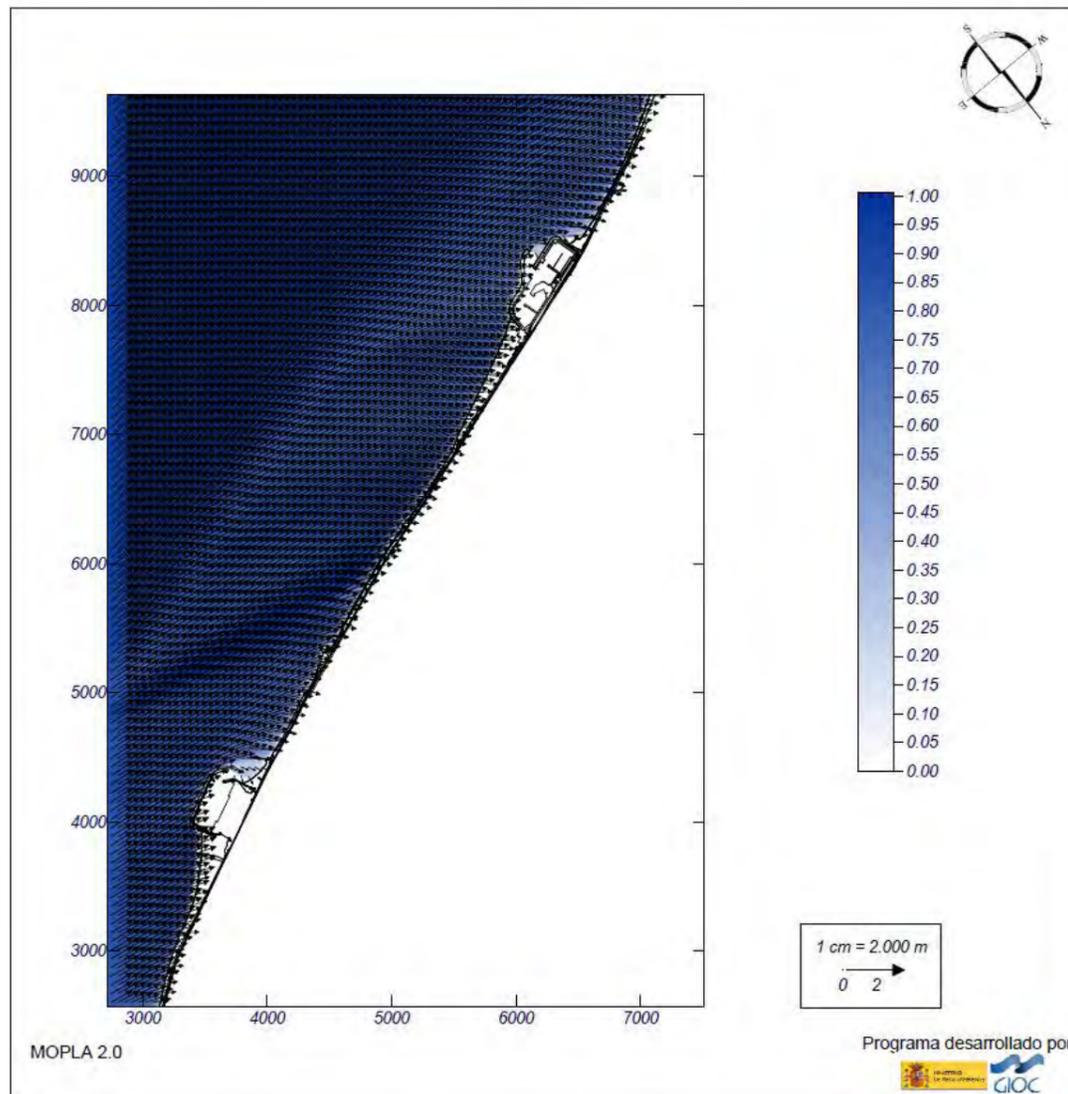
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa+Magnitud

Caso espectral: B103
B1: detalle levantes
03: Hs morf E

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 1 m h: 10 m fp: 0.15625 Hz (Tp: 6.4 s) y: 3.3 Nº Comp.: 7 Espectro direccional θm: 40° (E) α: 5° - Nº Comp.: 5		



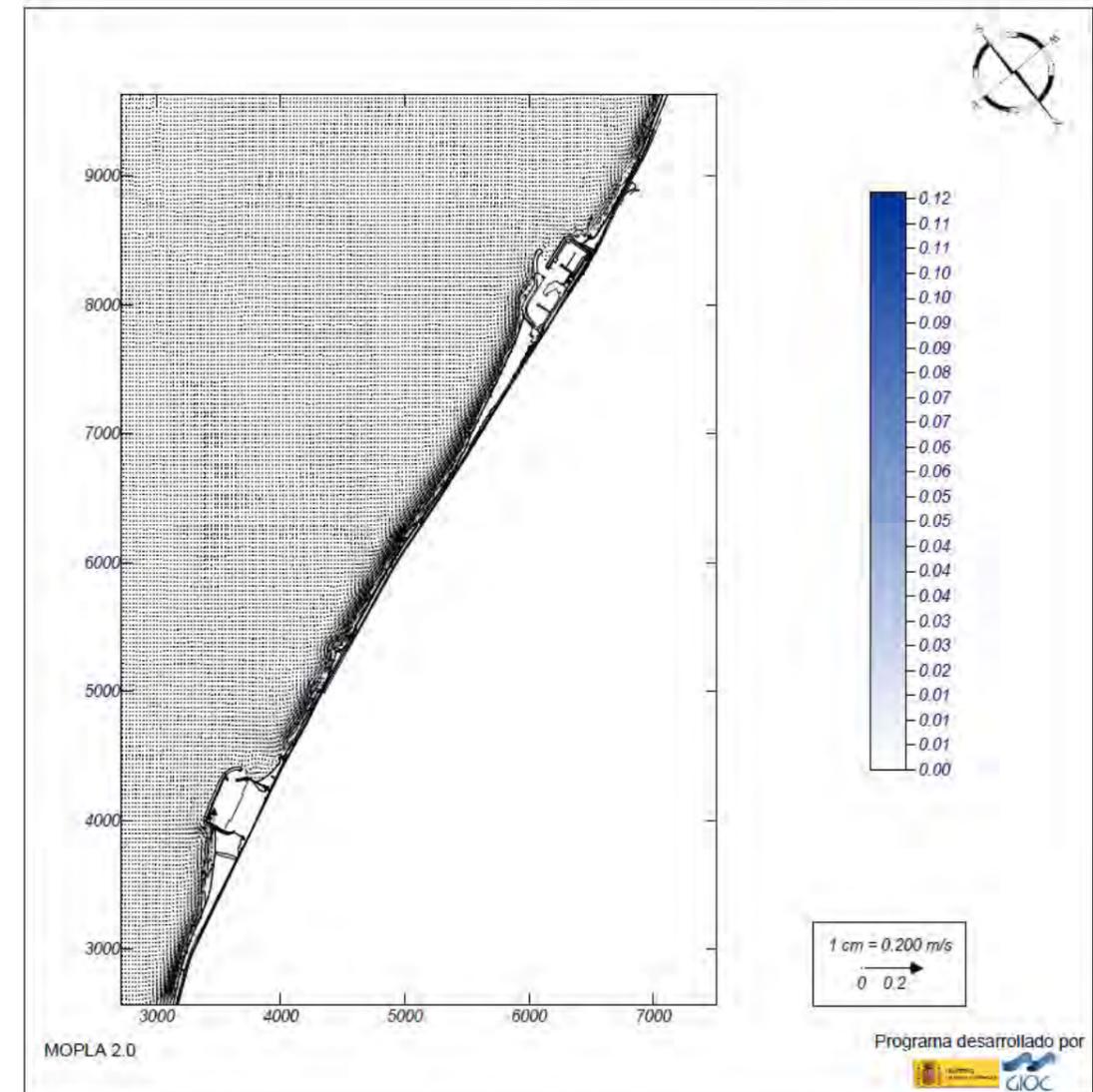
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores corriente

Caso espectral: B103
B1: detalle levantes
03: Hs morf E

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 1 m h: 10 m fp: 0.15625 Hz (Tp: 6.4 s) y: 3.3 Nº Comp.: 7 Espectro direccional θm: 40° (E) α: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse Ksw: 1 m Viscosidad de remolino s: 8 m ² /s	



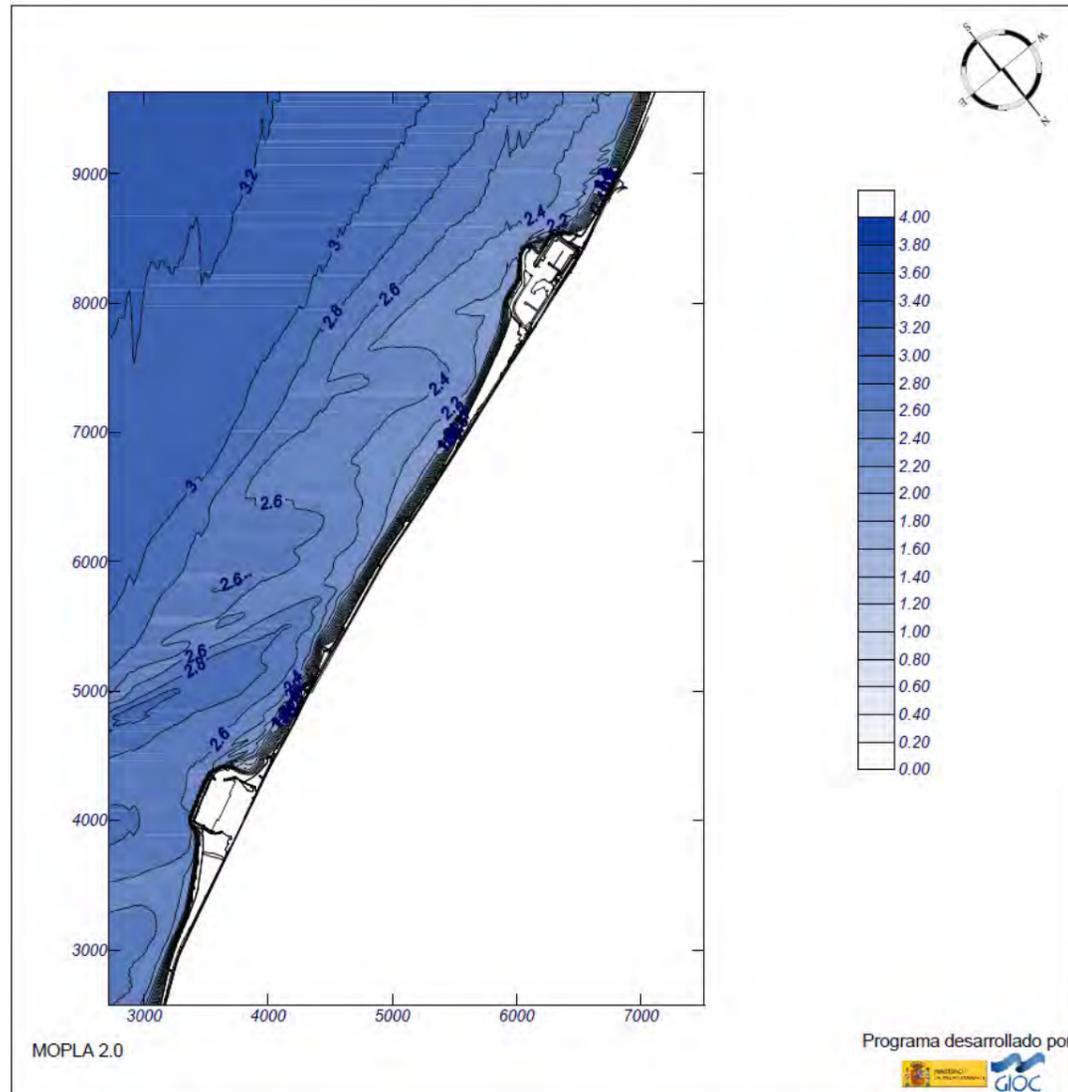
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Altura de ola significativa

Caso espectral: B115
B1: detalle levantes
15: Hs12 E

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 3.65 m h: 10 m fp: 0.103093 Hz (Tp: 9.70001 s) y: 3.3 Nº Comp.: 7 Espectro direccional θm: 40° (E) σ: 5° - Nº Comp.: 5		



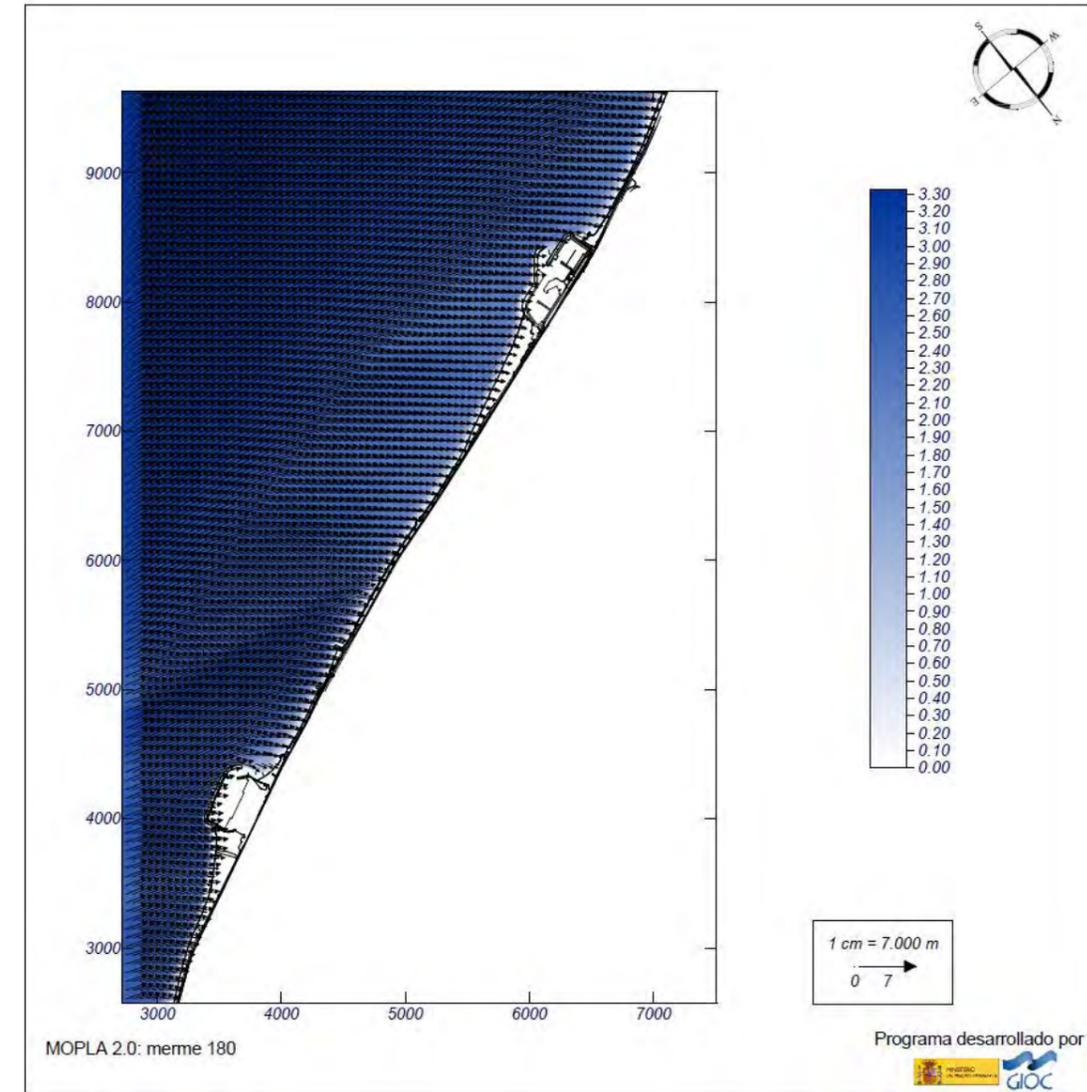
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa+Magnitud

Caso espectral: B115
B1: detalle levantes
15: Hs12 E

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 3.65 m h: 10 m fp: 0.103093 Hz (Tp: 9.70001 s) y: 3.3 Nº Comp.: 7 Espectro direccional θm: 40° (E) σ: 5° - Nº Comp.: 5		



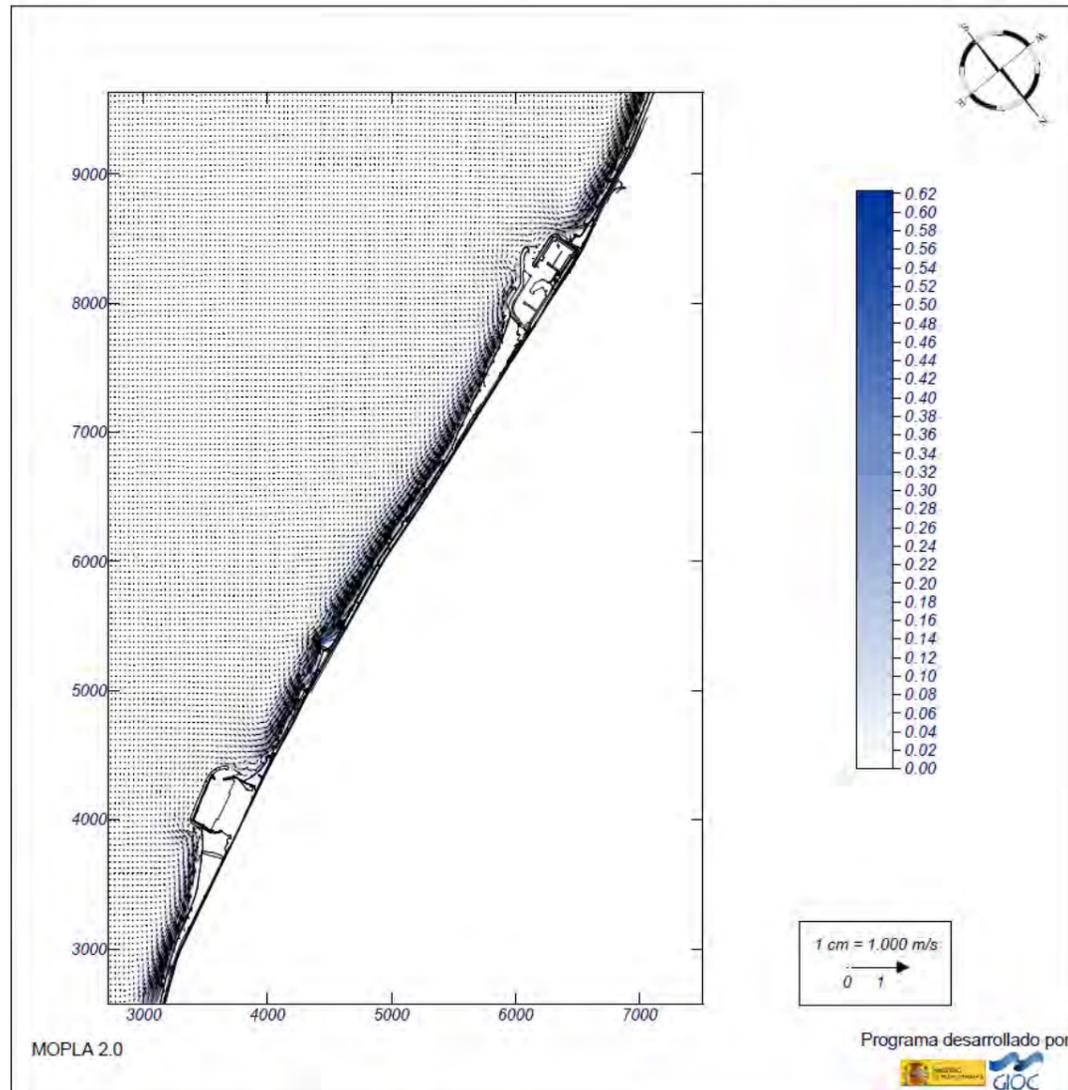
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores corriente

Caso espectral: B115
B1: detalle levantes
15: Hs12 E

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 3.65 m h: 10 m fp: 0.103093 Hz (Tp: 9.70001 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 7 Espectro direccional θm: 40° (E) σ: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse Kswc: 1 m Viscosidad de remolino ν: 8 m ² /s	



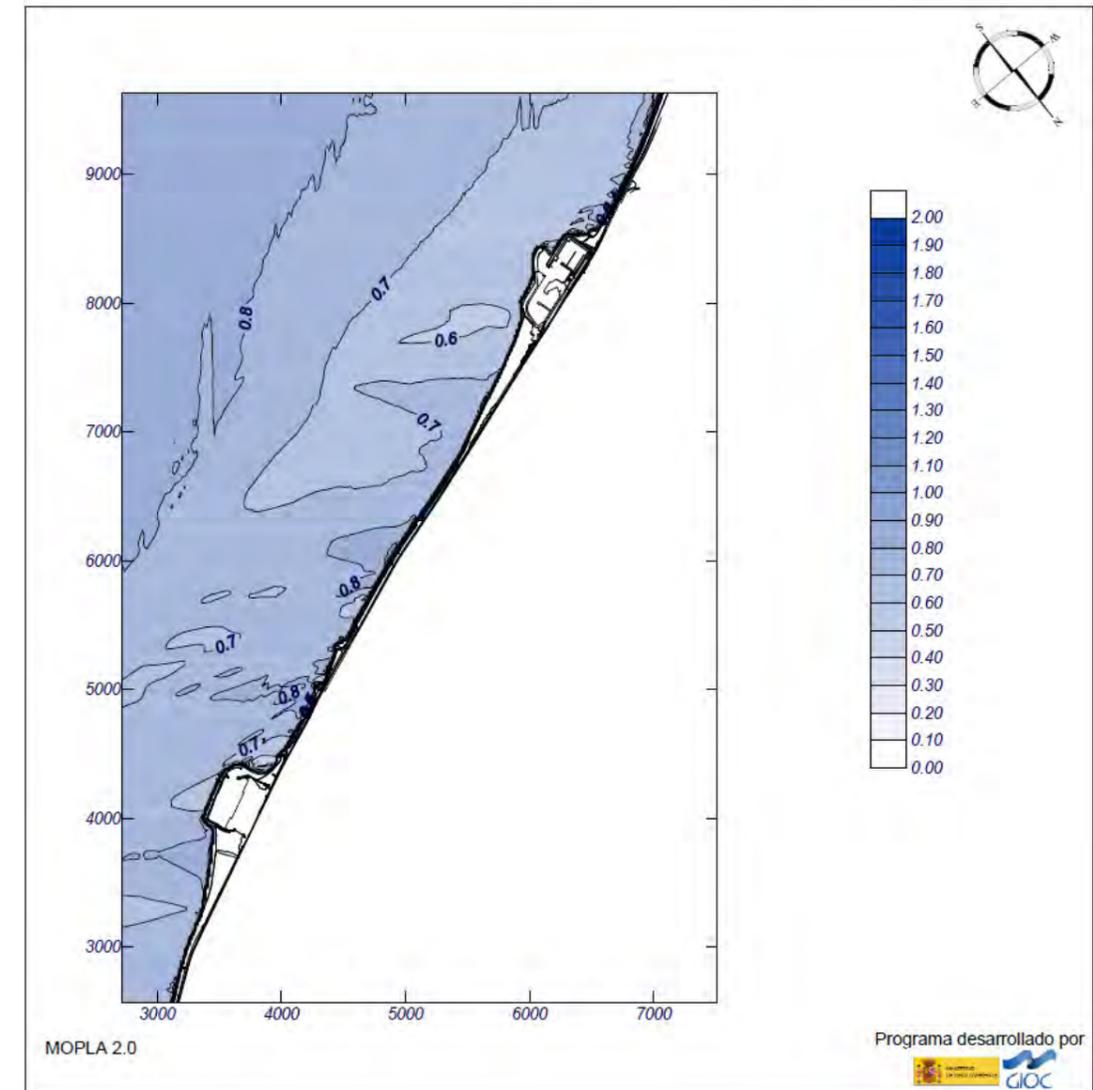
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Altura de ola significativa

Caso espectral: B104
B1: detalle levantes
04: Hs dis E

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 1 m h: 10 m fp: 0.08772 Hz (Tp: 11.3999 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 7 Espectro direccional θm: 40° (E) σ: 5° - Nº Comp.: 5		



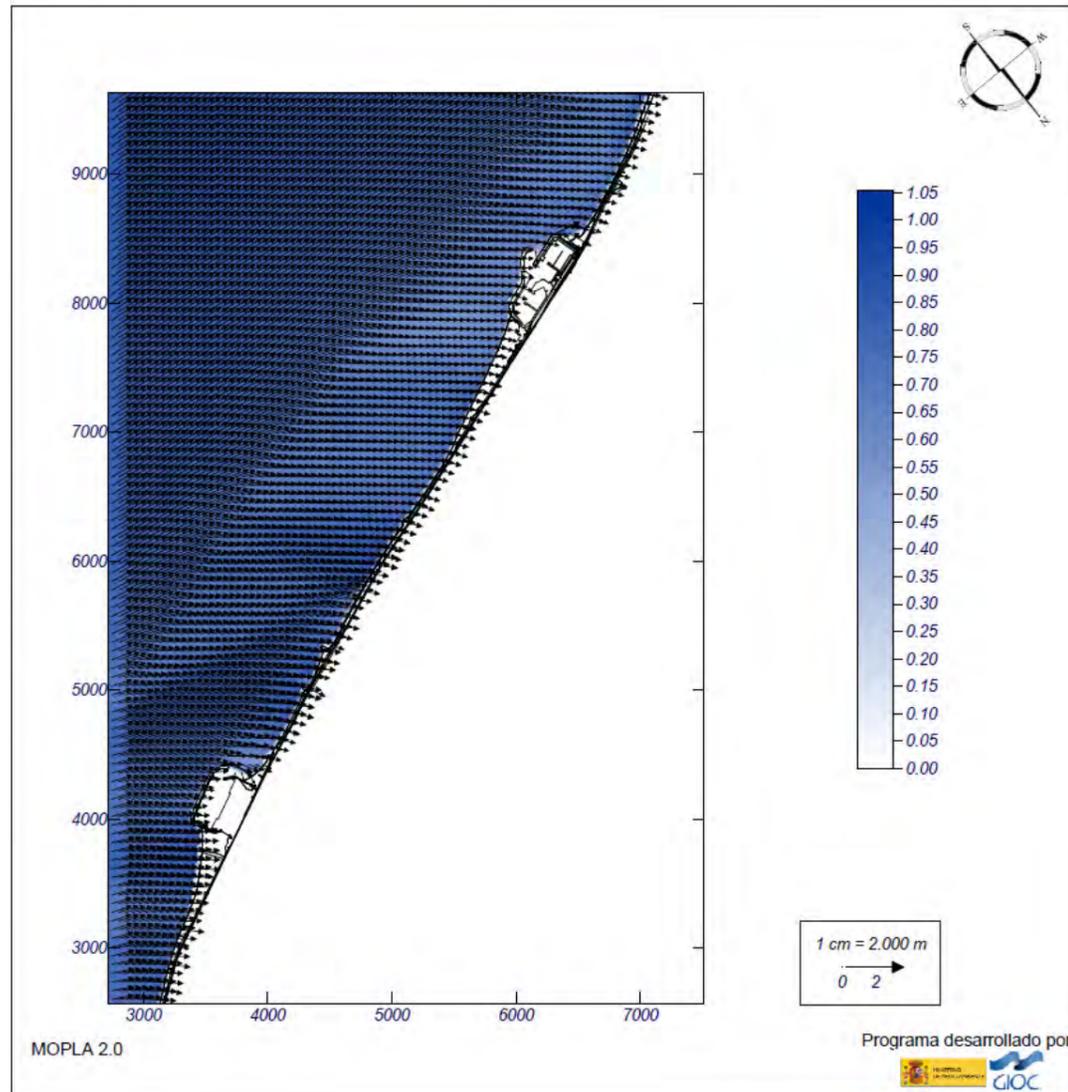
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa+Magnitud

Caso espectral: B104
B1: detalle levantes
04: Hs dis E

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 1 m h: 10 m fp: 0.08772 Hz (Tp: 11.3999 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 7 Espectro direccional θm: 40° (E) σ: 5° - Nº Comp.: 5		



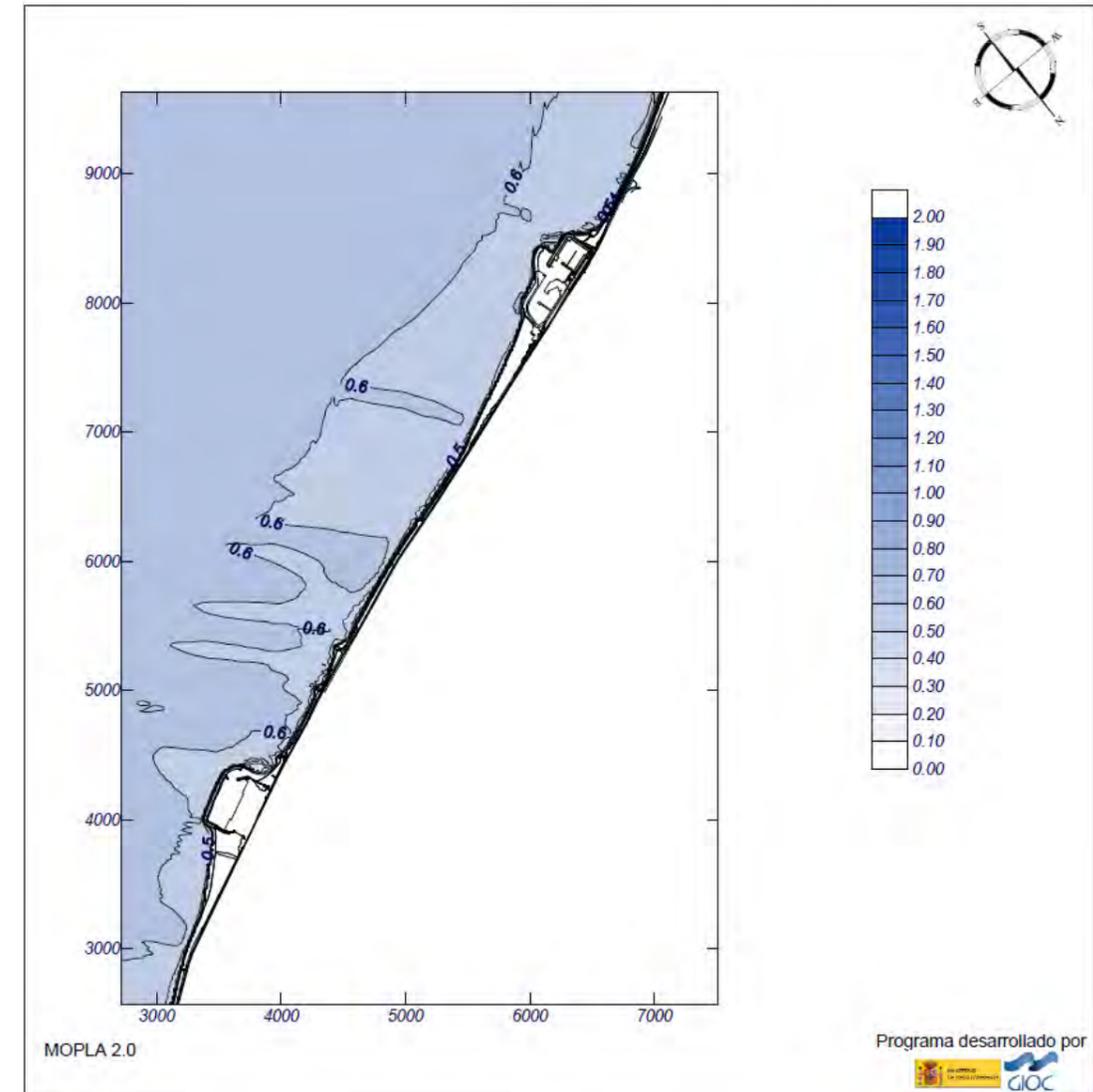
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Altura de ola significativa

Caso espectral: B106
B1: detalle levantes
06: Hs morf SE

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.65 m h: 10 m fp: 0.178571 Hz (Tp: 5.6 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -5° (S45.0E) σ: 5° - Nº Comp.: 5		



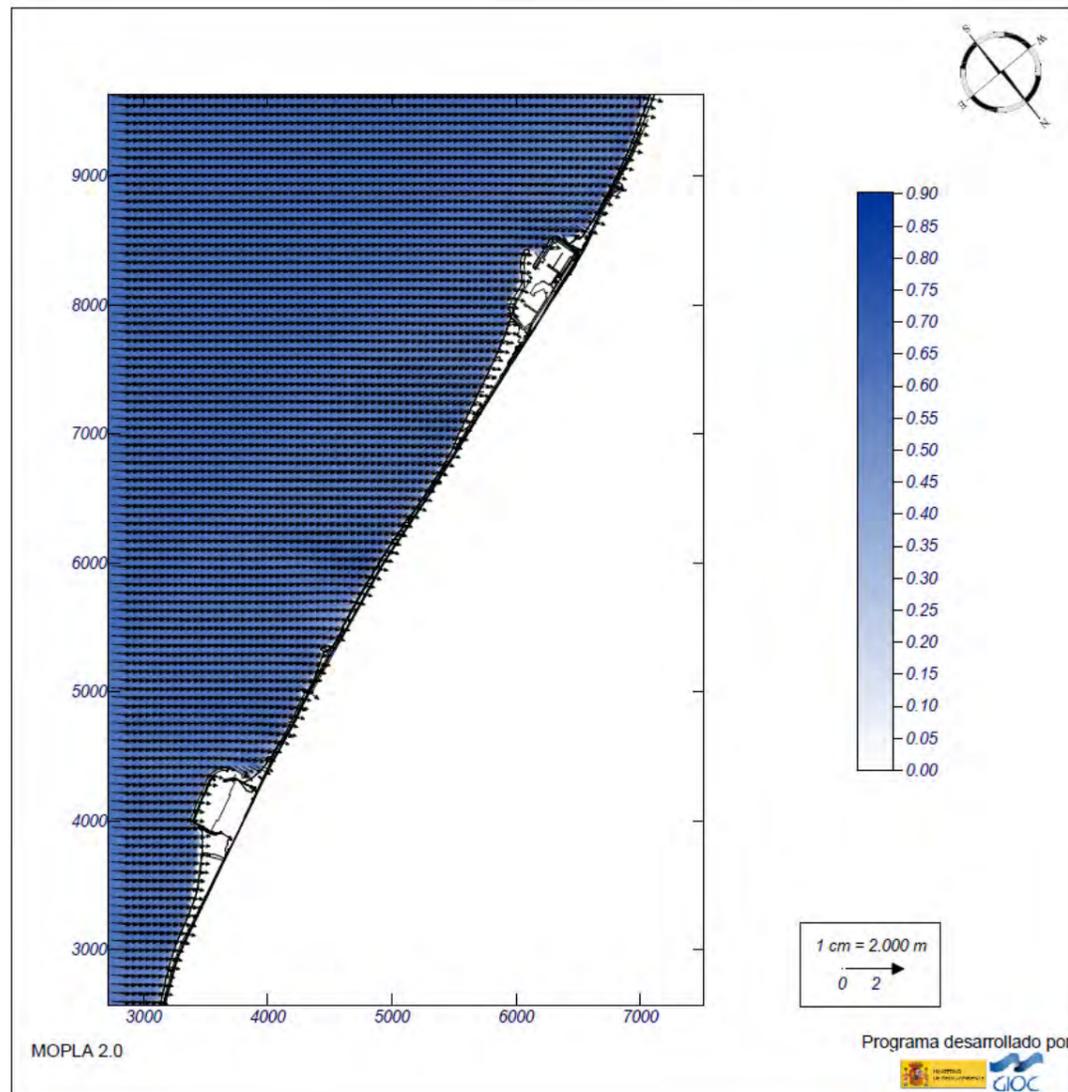
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa+Magnitud

Caso espectral: B106
B1: detalle levantes
06: Hs morf SE

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.65 m h: 10 m fp: 0.178571 Hz (Tp: 5.6 s) y: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -5° (S45.0E) σ: 5° - Nº Comp.: 5		



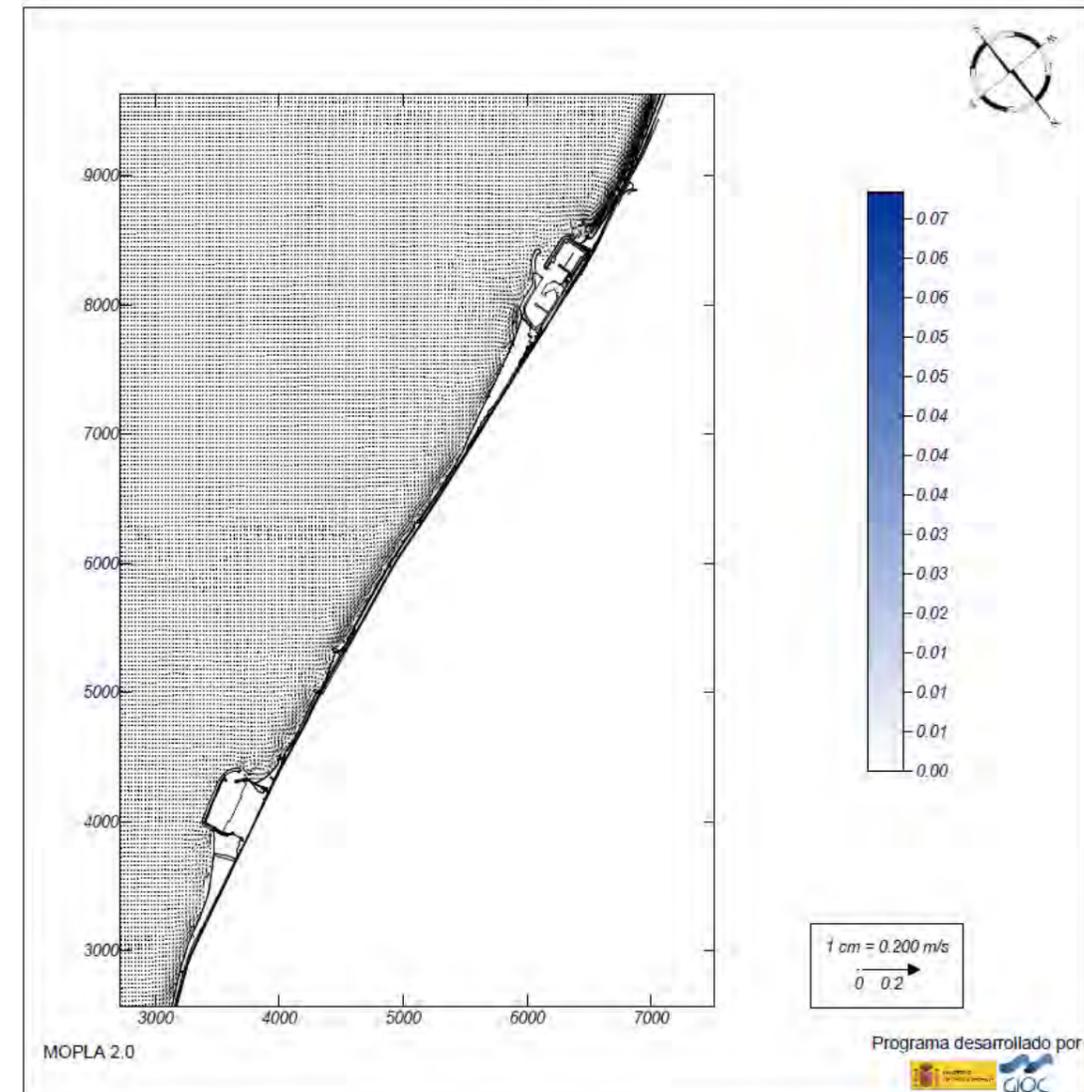
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores corriente

Caso espectral: B106
B1: detalle levantes
06: Hs morf SE

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.65 m h: 10 m fp: 0.178571 Hz (Tp: 5.6 s) y: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -5° (S45.0E) σ: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse Ksw: 1 m Viscosidad de remolino s: 8 m ² /s	

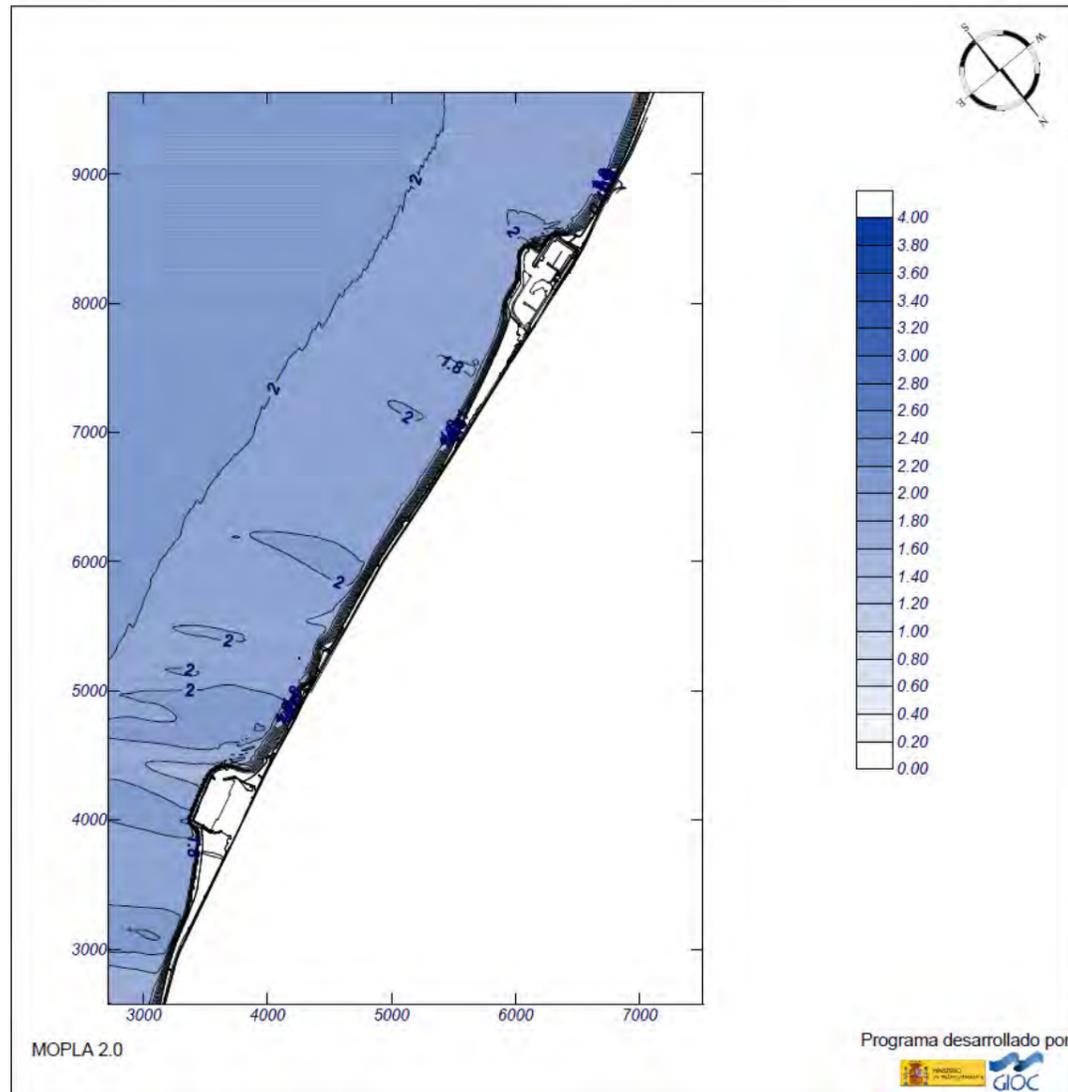


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Altura de ola significativa

Caso espectral: B116
B1: detalle levantes
16: Hs12 SE

Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 2.15 m h: 10 m fp: 0.120482 Hz (Tp: 8.3 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -5° (S45.0E) σ: 5° - Nº Comp.: 5		

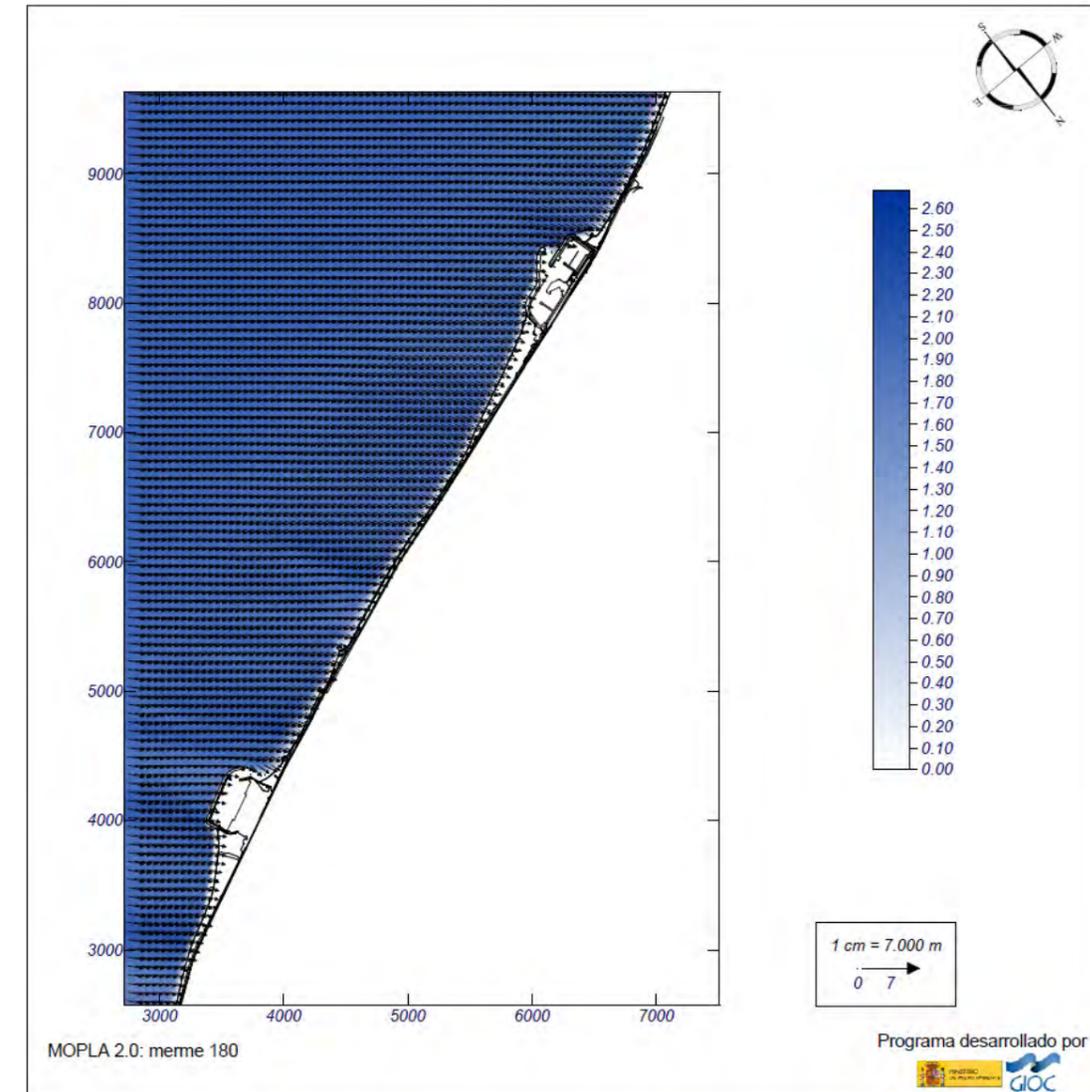


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa+Magnitud

Caso espectral: B116
B1: detalle levantes
16: Hs12 SE

Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 2.15 m h: 10 m fp: 0.120482 Hz (Tp: 8.3 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -5° (S45.0E) σ: 5° - Nº Comp.: 5		



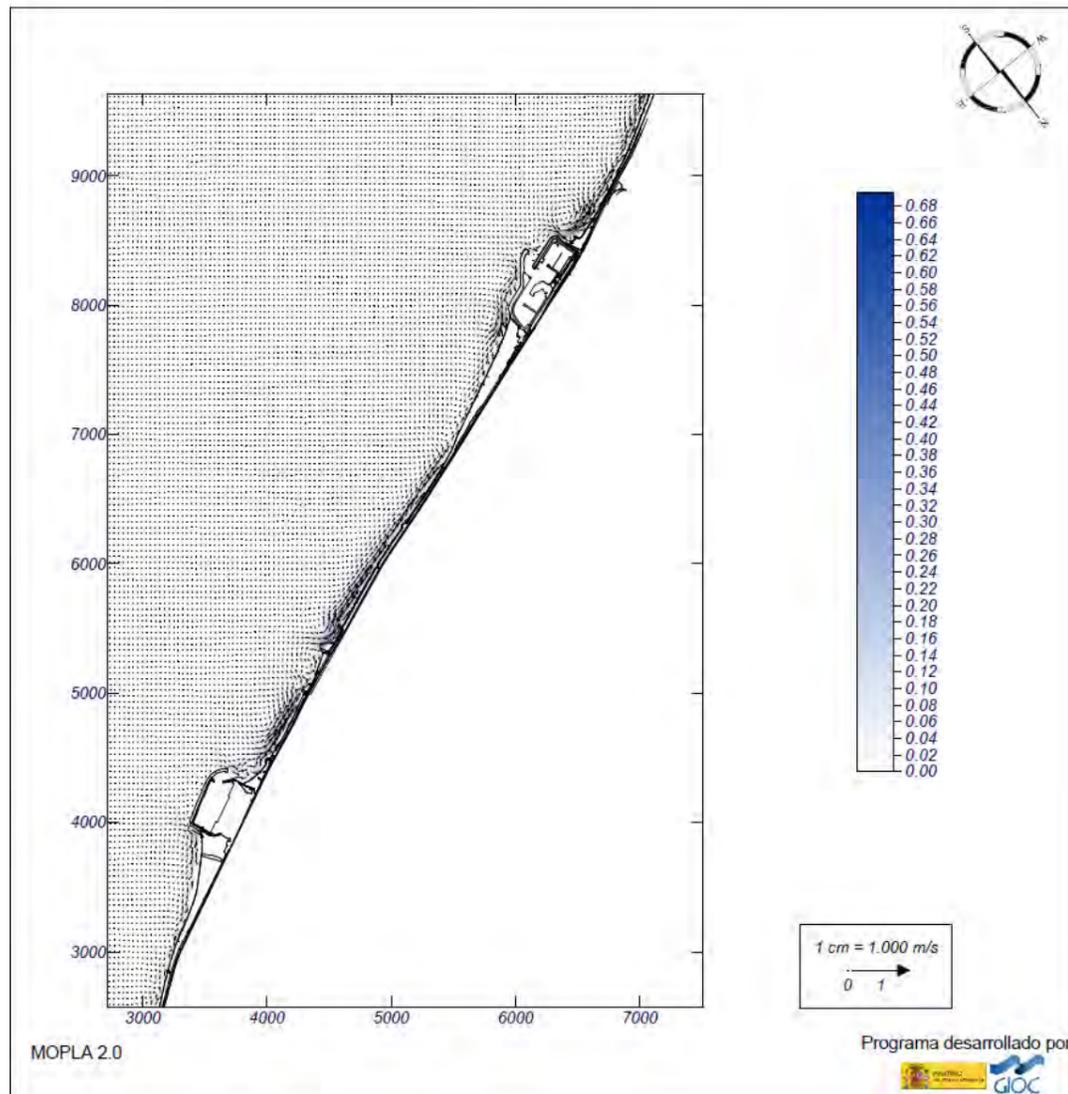
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores corriente

Caso espectral: B116
B1: detalle levantes
16: Hs12 SE

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 2.15 m h: 10 m fp: 0.120482 Hz (Tp: 8.3 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -5° (S45.0E) α: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse Kawc: 1 m Viscosidad de remolino ε: 8 m ² /s	



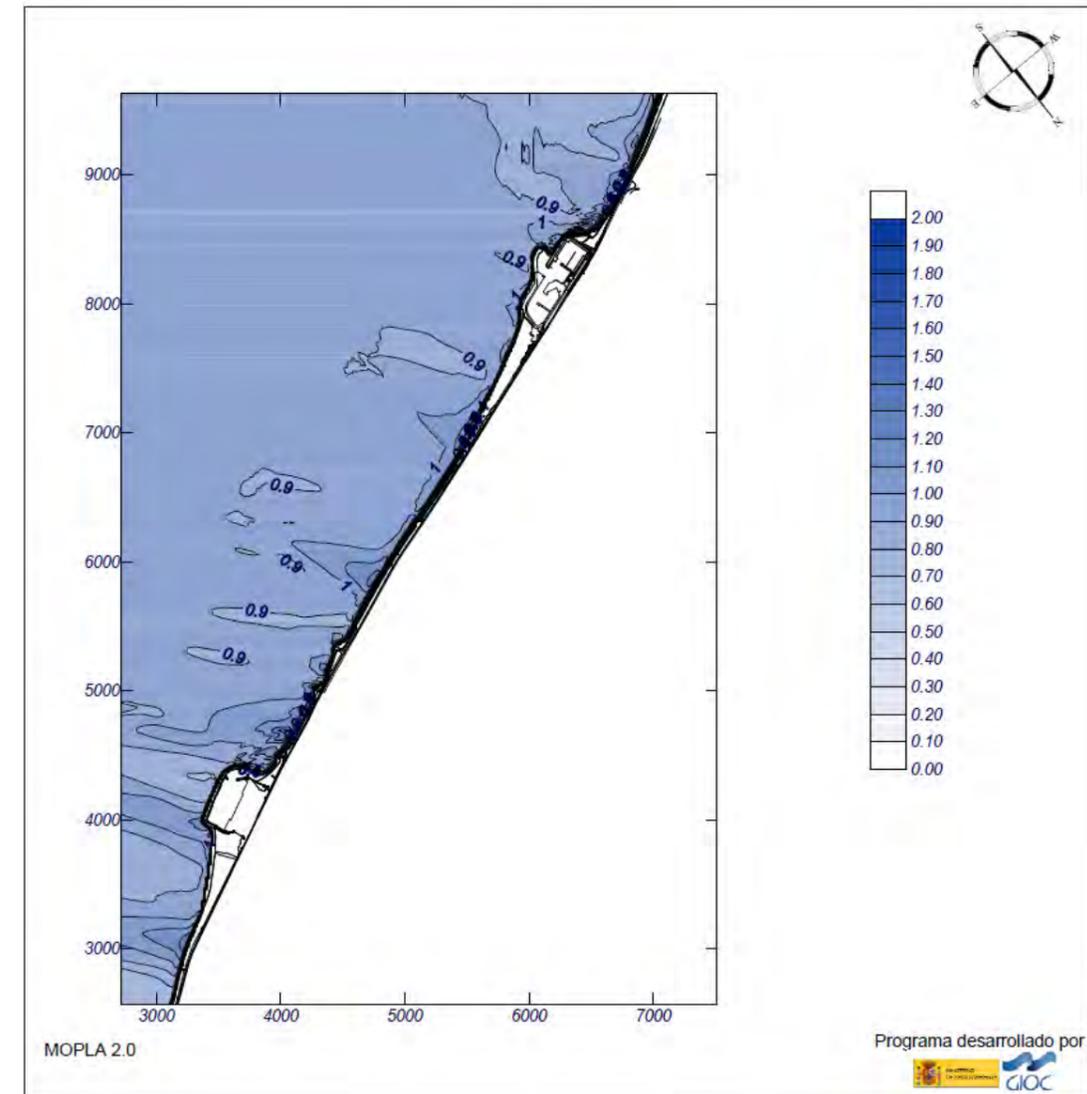
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Altura de ola significativa

Caso espectral: B107
B1: detalle levantes
07: Hs dis SE

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 1 m h: 10 m fp: 0.0990099 Hz (Tp: 10.1 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -5° (S45.0E) α: 5° - Nº Comp.: 5		

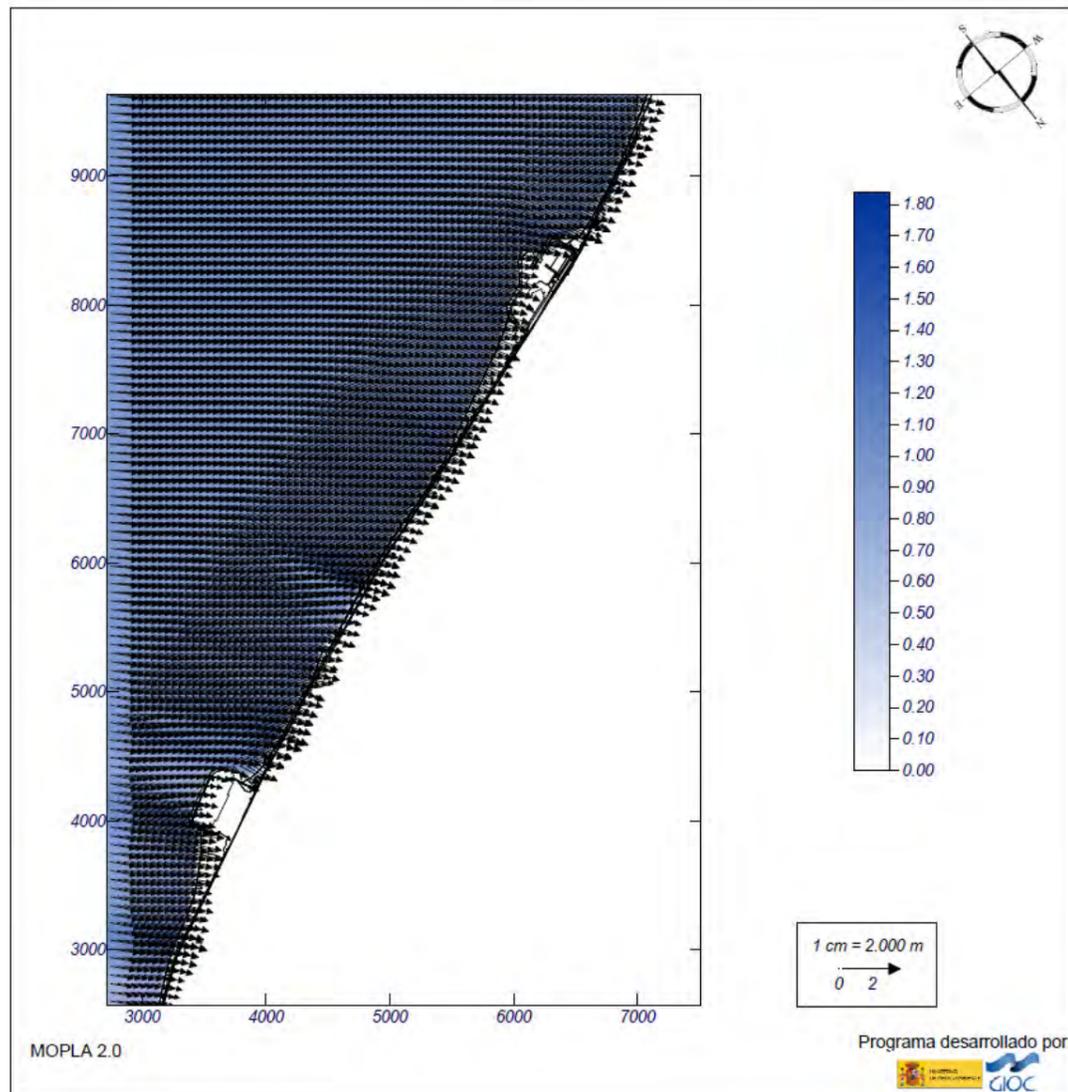


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa+Magnitud

Caso espectral: B107
B1: detalle levantes
07: Hs dis SE

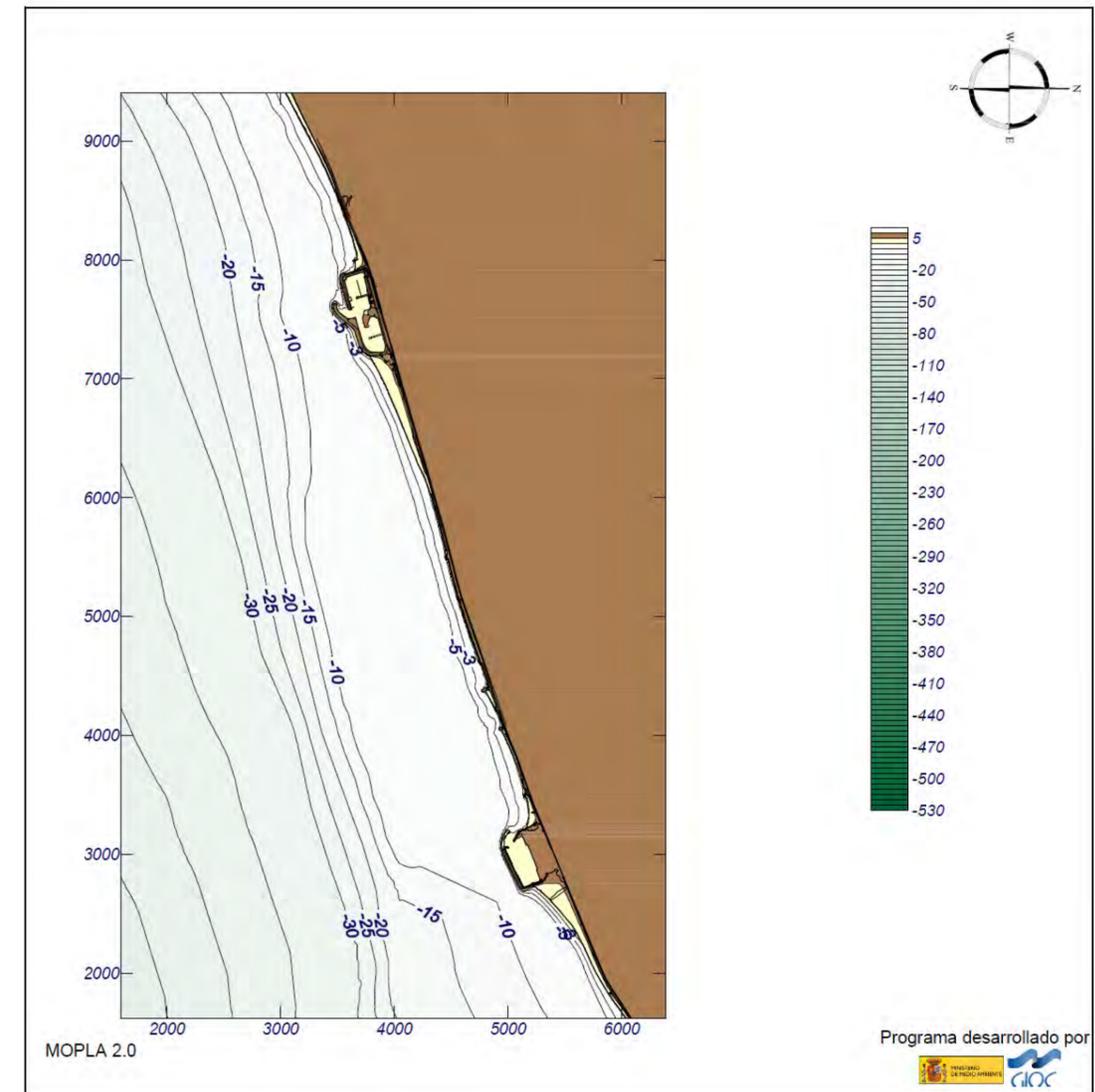
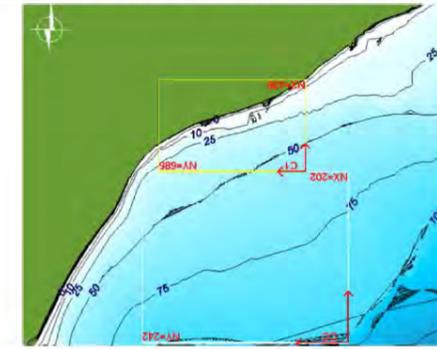
Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA)		
Hs: 1 m		
L: 10 m		
fp: 0.0990099 Hz (Tp: 10.1 s)		
γ: 3.3		
Nº Comp.: 5		
Espectro direccional		
θm: -5° (S45.0E)		
σ: 5° - Nº Comp.: 5		



Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Topografía 2D (mallas CC/C1)

C1: malla detalle Ponientes

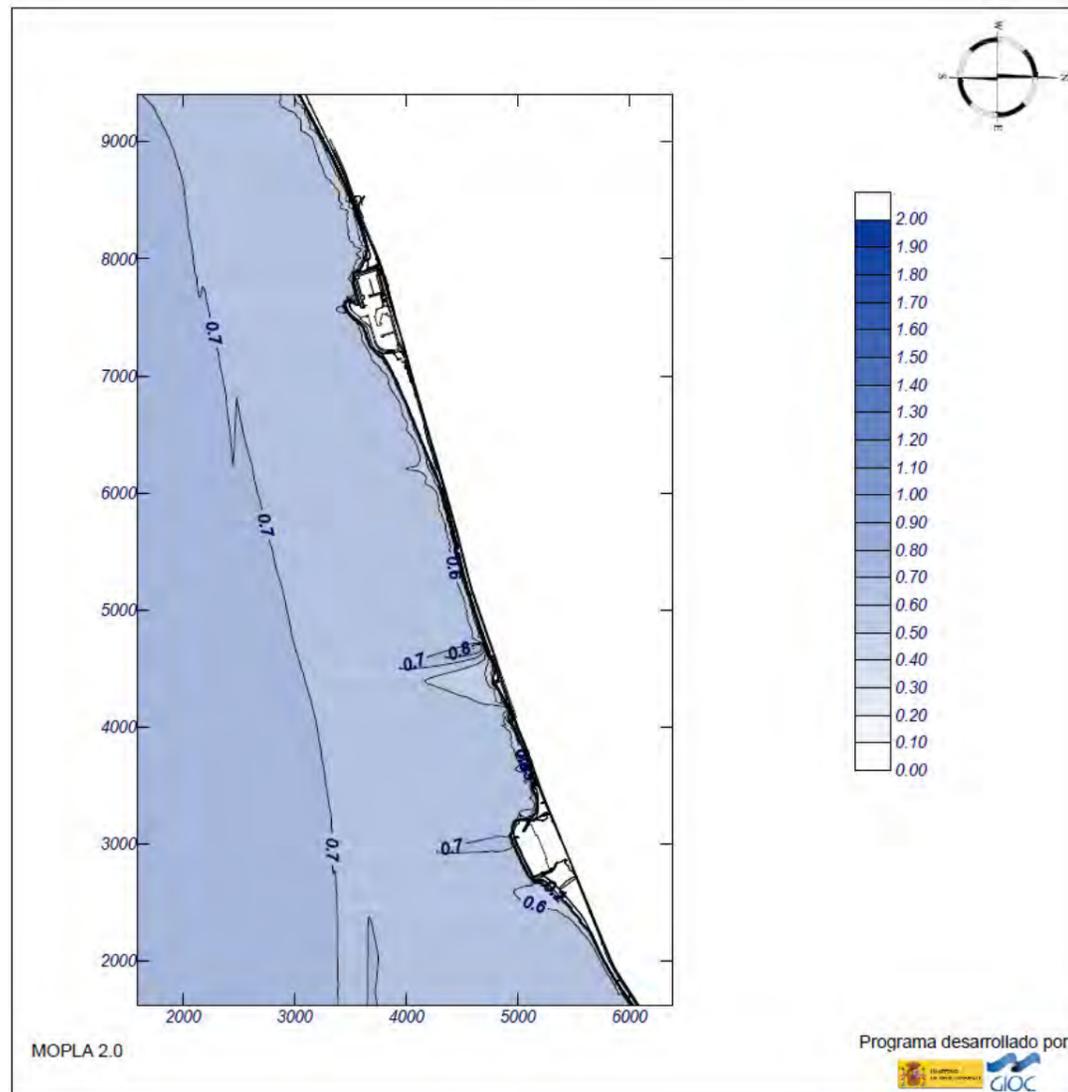


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Altura de ola significativa

Caso espectral: C109
C1: detalle ponientes
09: Hs morf S

Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.71 m h: 10 m fp: 0.175439 Hz (Tp: 5.7 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: 0° (S) α: 5° - Nº Comp.: 5		

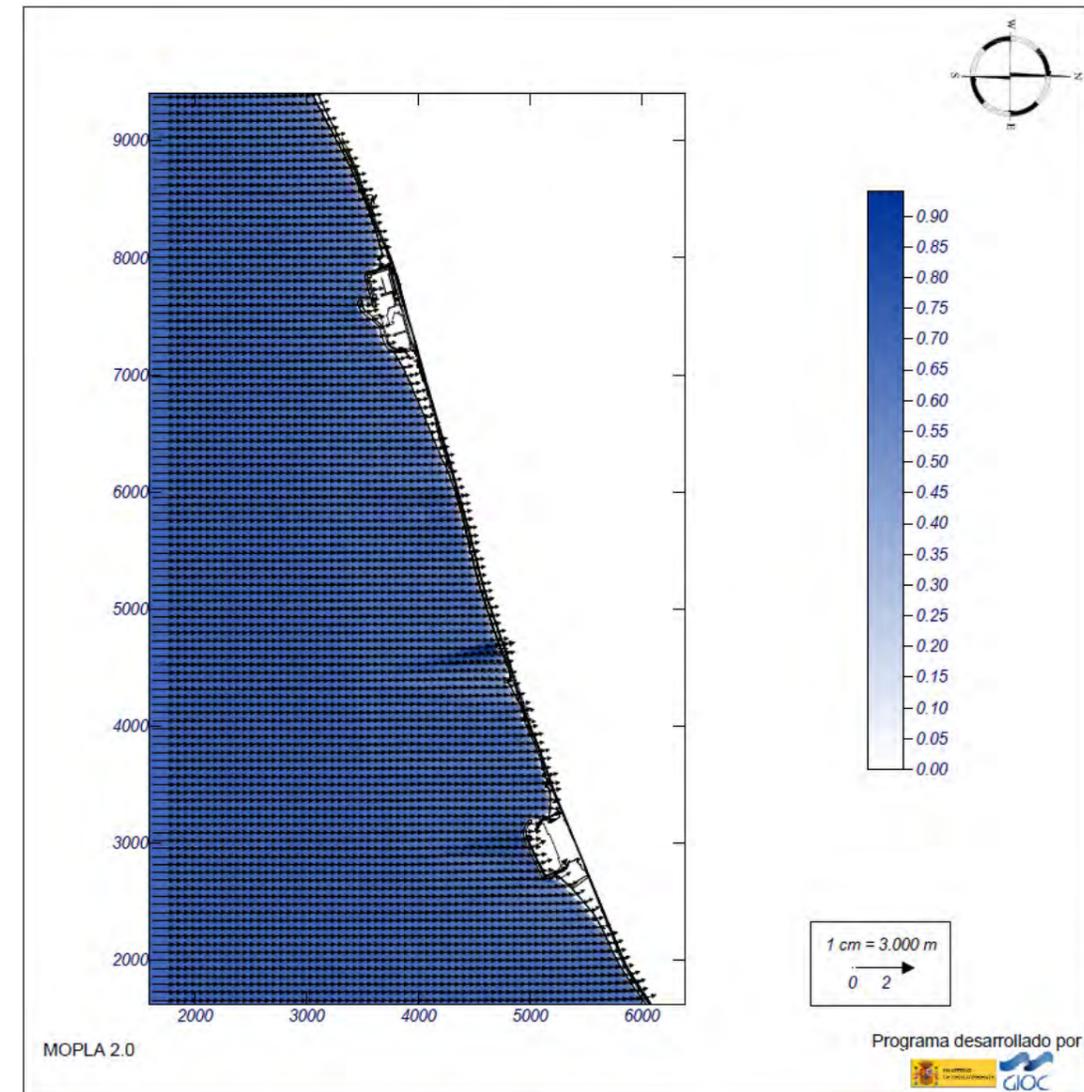


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa+Magnitud

Caso espectral: C109
C1: detalle ponientes
09: Hs morf S

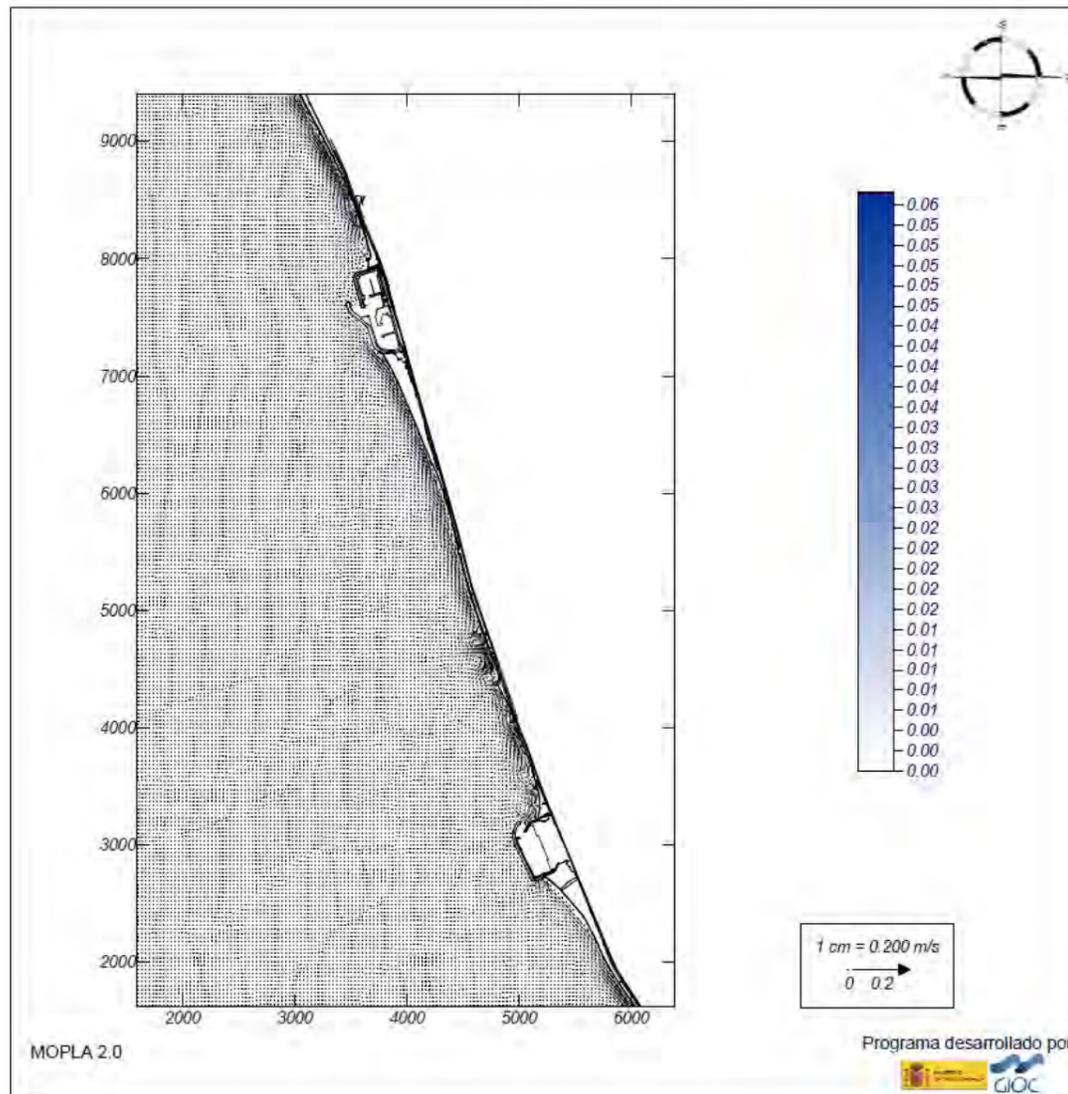
Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.71 m h: 10 m fp: 0.175439 Hz (Tp: 5.7 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: 0° (S) α: 5° - Nº Comp.: 5		



Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores corriente

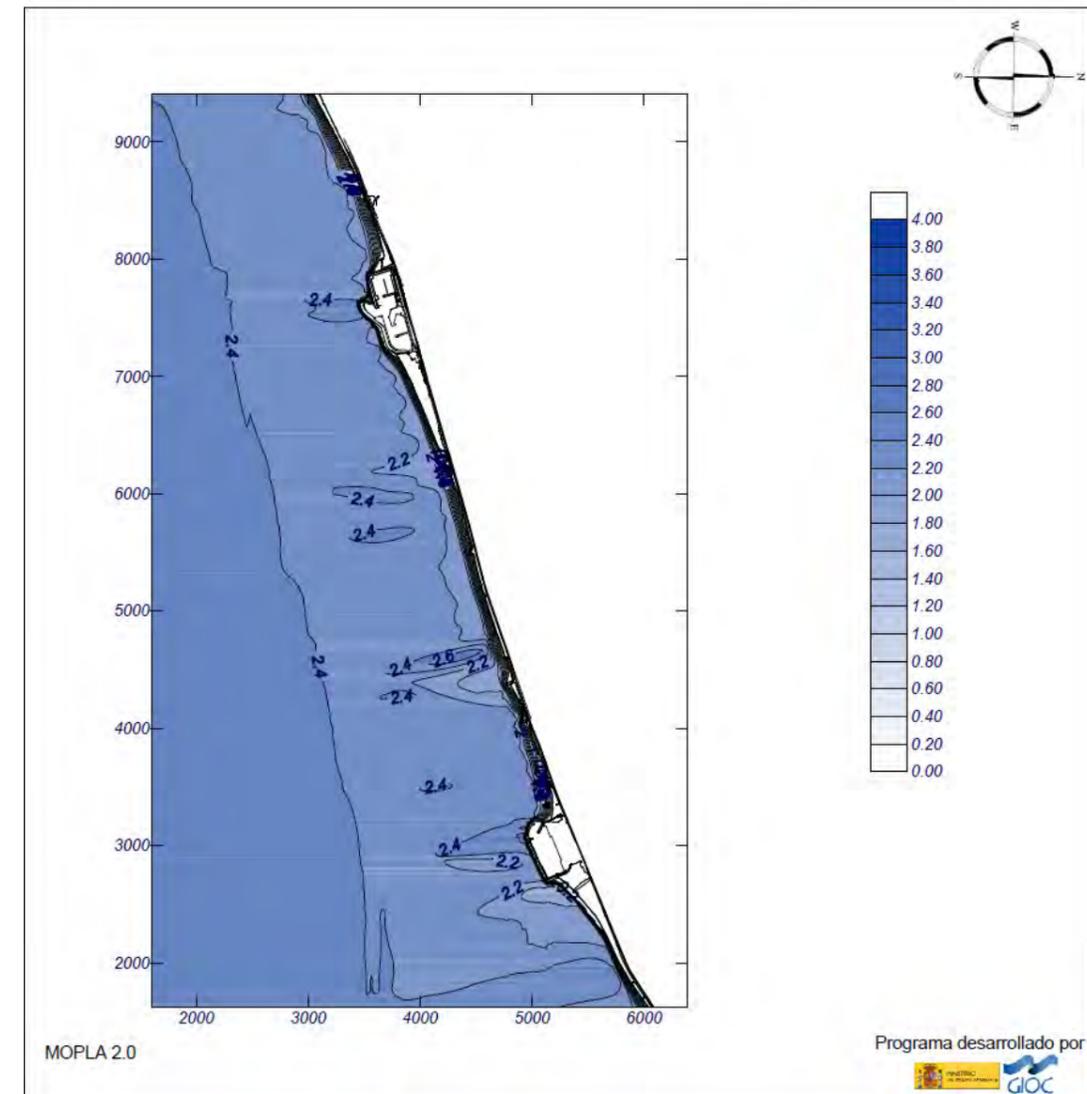
Caso espectral: C109 C1: detalle ponientes 09: Hs morf S	Características de la simulación		
	OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
	Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.71 m fp: 0.175439 Hz (Tp: 5.7 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: 0° (S) α: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse Ksw: 1 m Viscosidad de remolino ν: 8 m ² /s	



Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Altura de ola significativa

Caso espectral: C117 C1: detalle ponientes 17: Hs12 S	Características de la simulación		
	OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
	Espectro frecuencial (TMA) Hs: 2.54 m fp: 0.113636 Hz (Tp: 8.80003 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: 0° (S) α: 5° - Nº Comp.: 5		



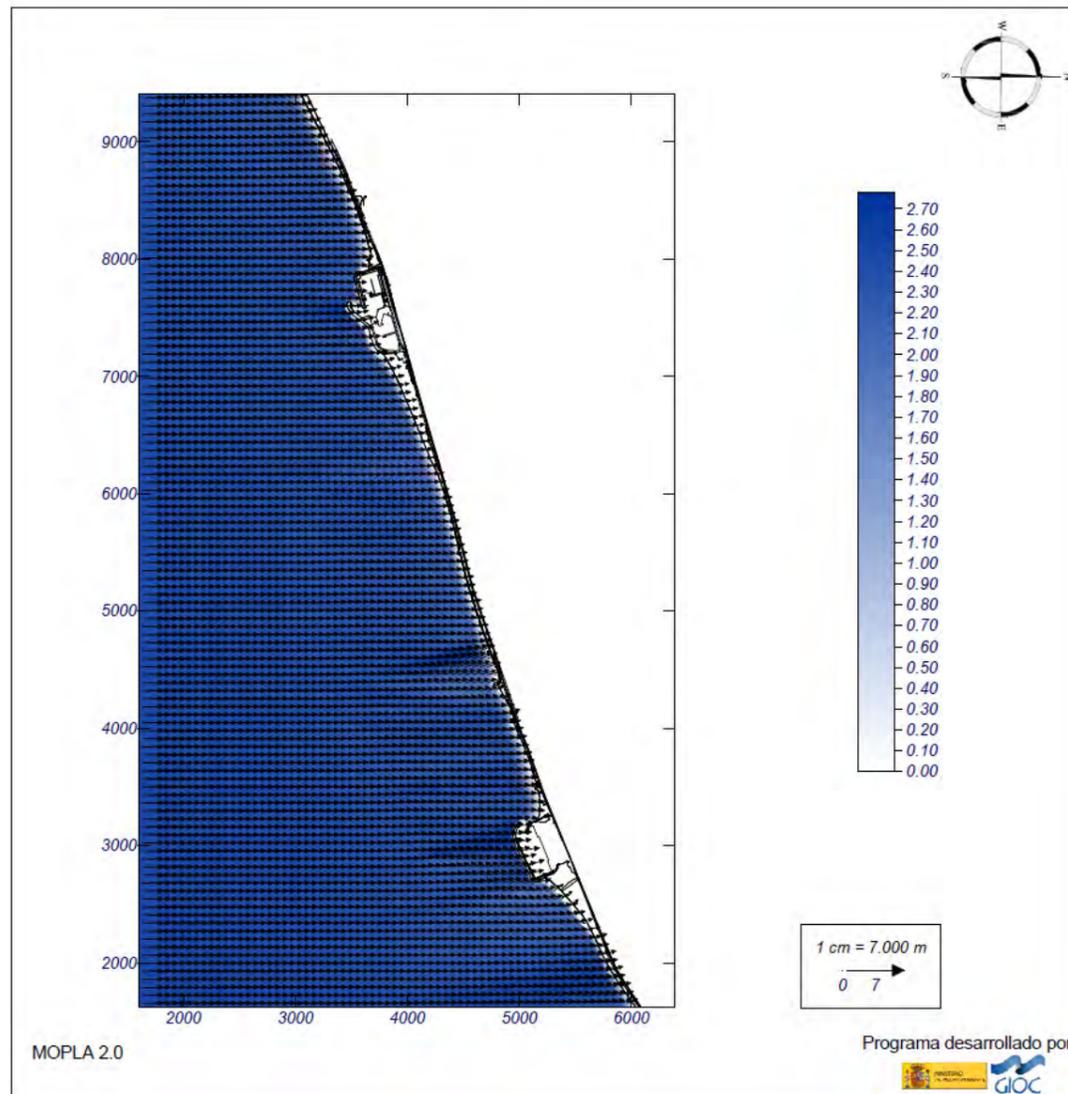
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa+Magnitud

Caso espectral: C117
C1: detalle ponientes
17: Hs12 S

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 2.54 m h: 10 m fp: 0.113636 Hz (Tp: 8.80003 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: 0° (S) σ: 5° - Nº Comp.: 5		



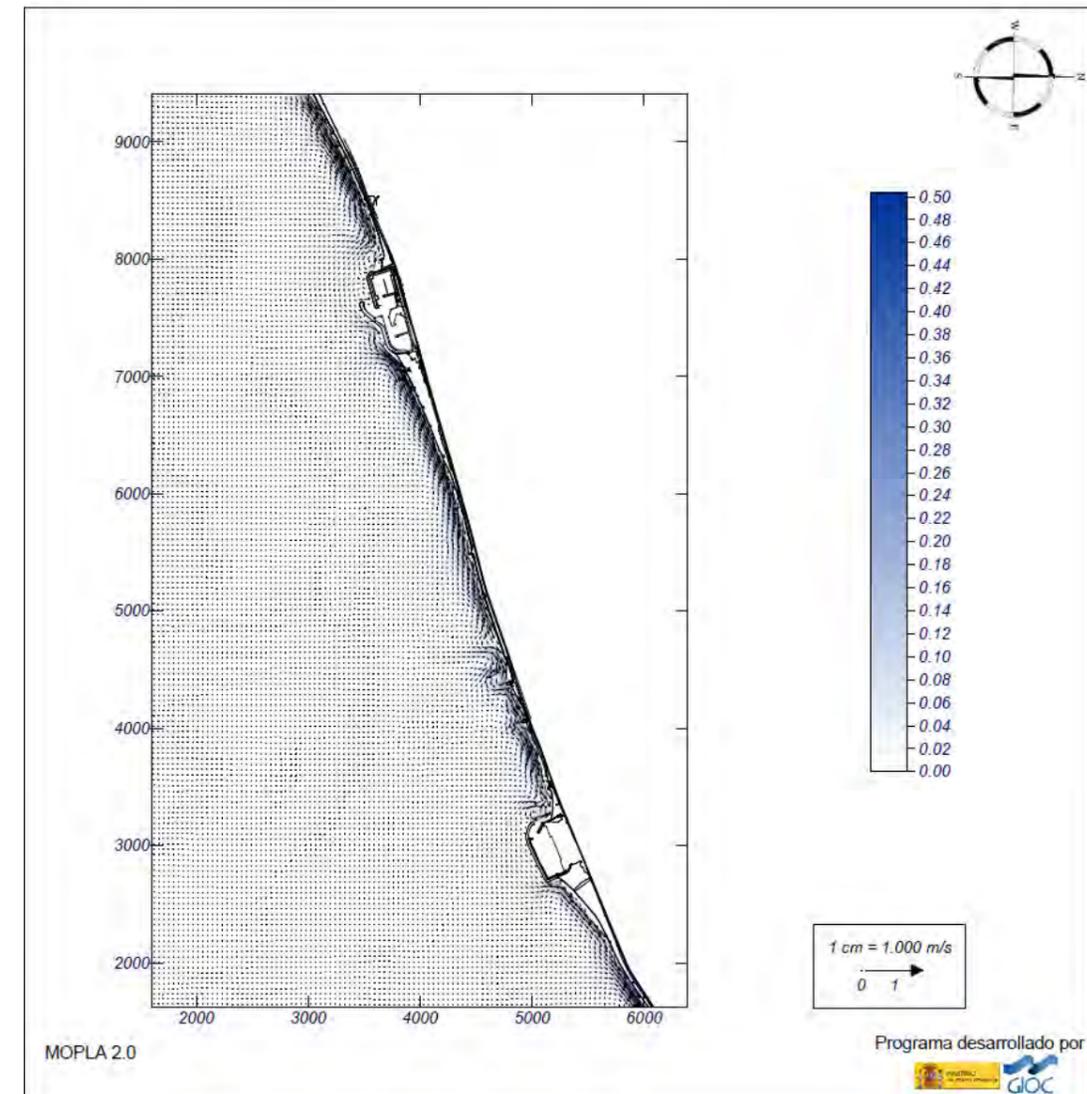
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores corriente

Caso espectral: C117
C1: detalle ponientes
17: Hs12 S

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 2.54 m h: 10 m fp: 0.113636 Hz (Tp: 8.80003 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: 0° (S) σ: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse Kswc: 1 m Viscosidad de remolino s: 8 m ² /s	

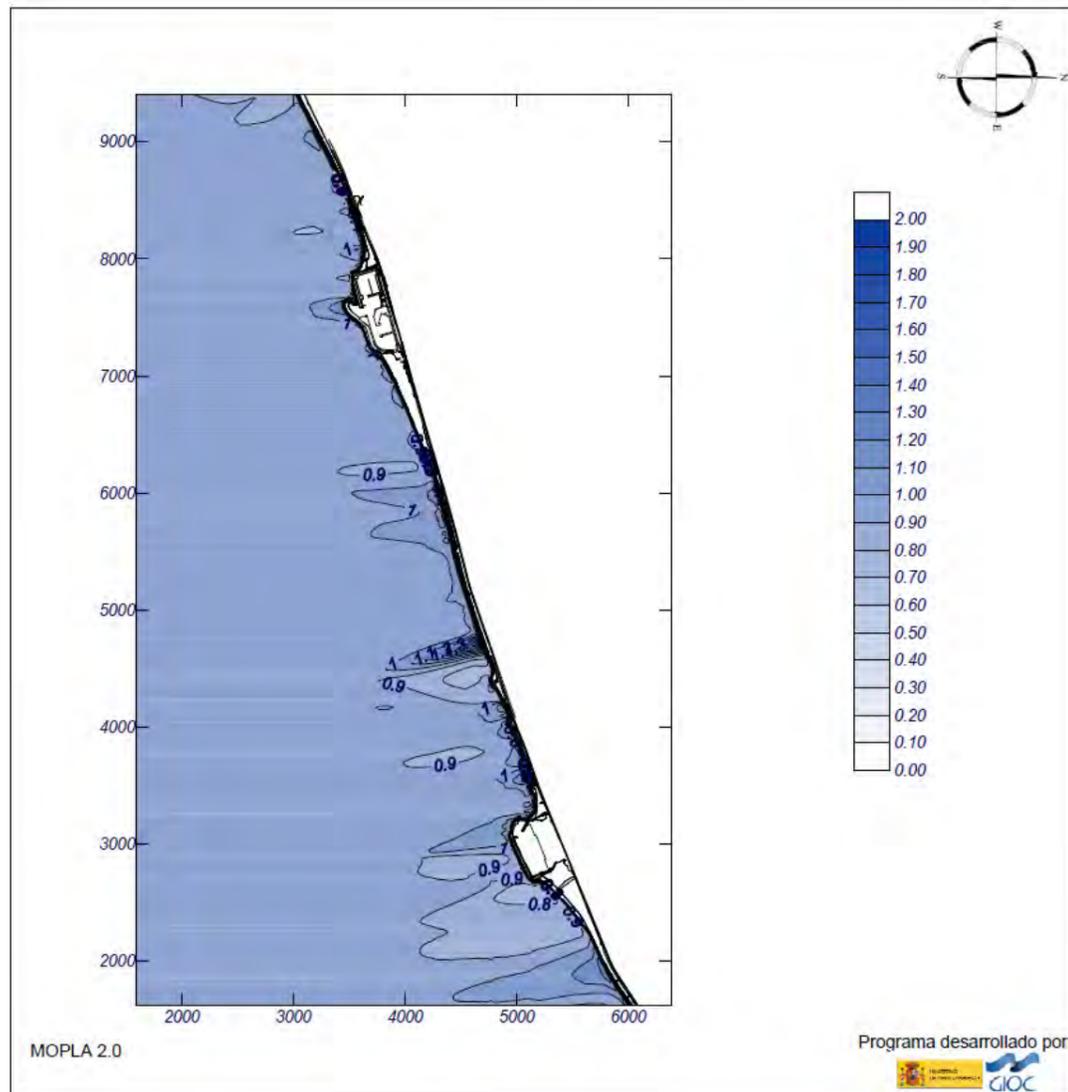


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Altura de ola significativa

Caso espectral: C110
C1: detalle ponientes
10: Hs dis S

Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 1 m h: 10 m fp: 0.102041 Hz (Tp: 9.8 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: 0° (S) α: 5° - Nº Comp.: 5		

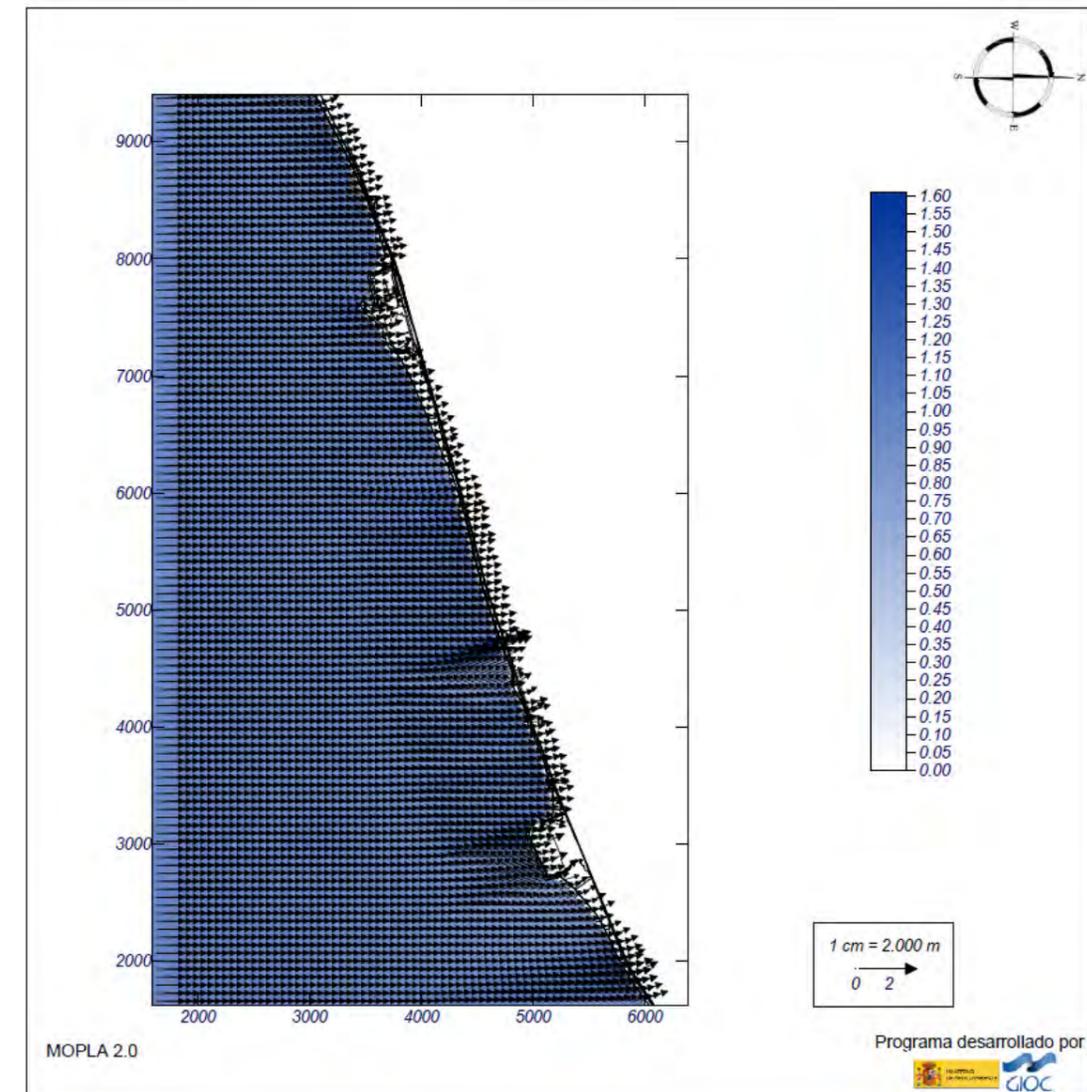


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa+Magnitud

Caso espectral: C110
C1: detalle ponientes
10: Hs dis S

Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 1 m h: 10 m fp: 0.102041 Hz (Tp: 9.8 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: 0° (S) α: 5° - Nº Comp.: 5		



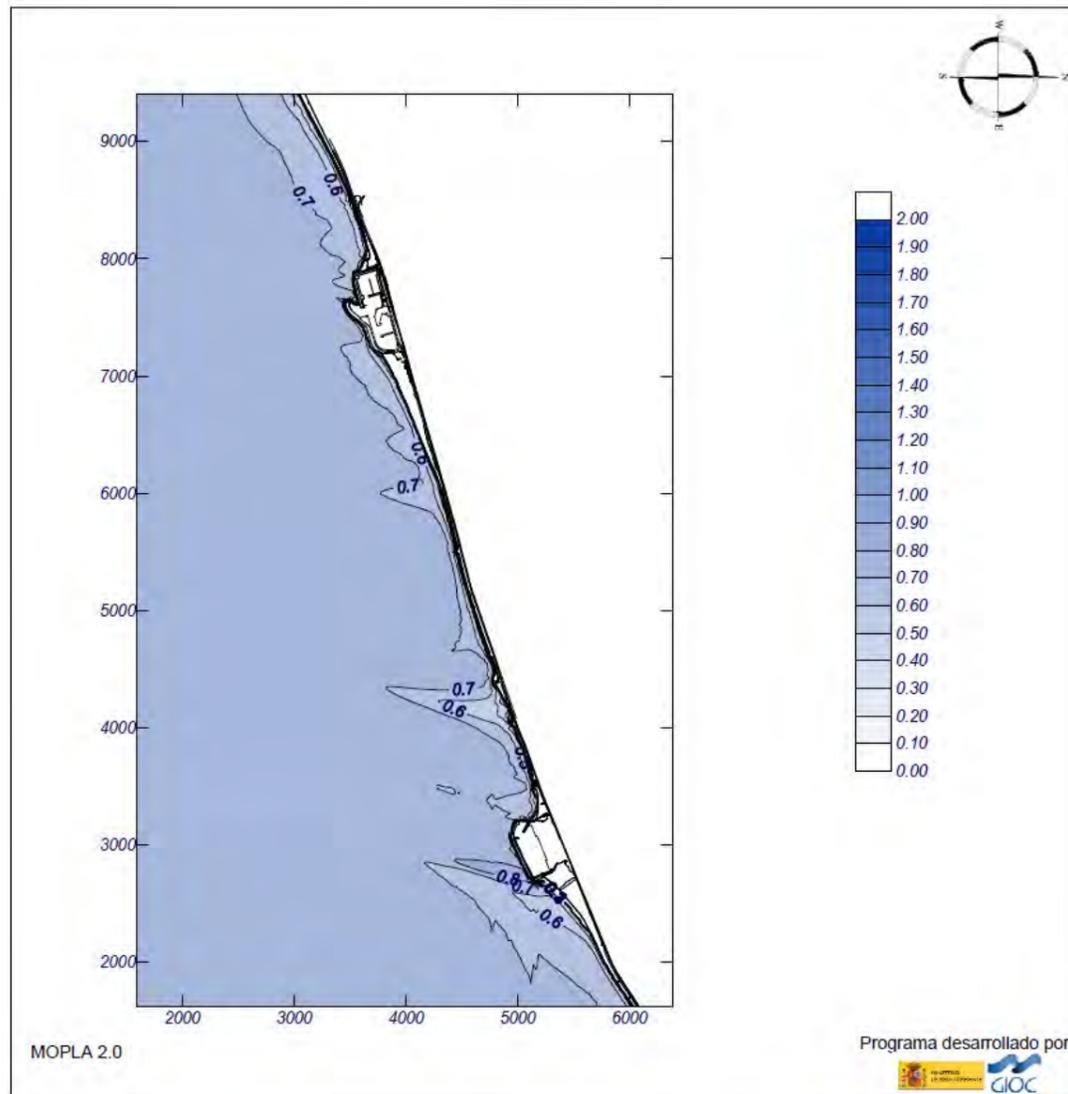
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Altura de ola significativa

Caso espectral: C112
C1: detalle ponientes
12: Hs morf SSW

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.8 m h: 10 m fp: 0.169491 Hz (Tp: 5.9 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -22.5° (S22.5W) σ: 5° - Nº Comp.: 5		



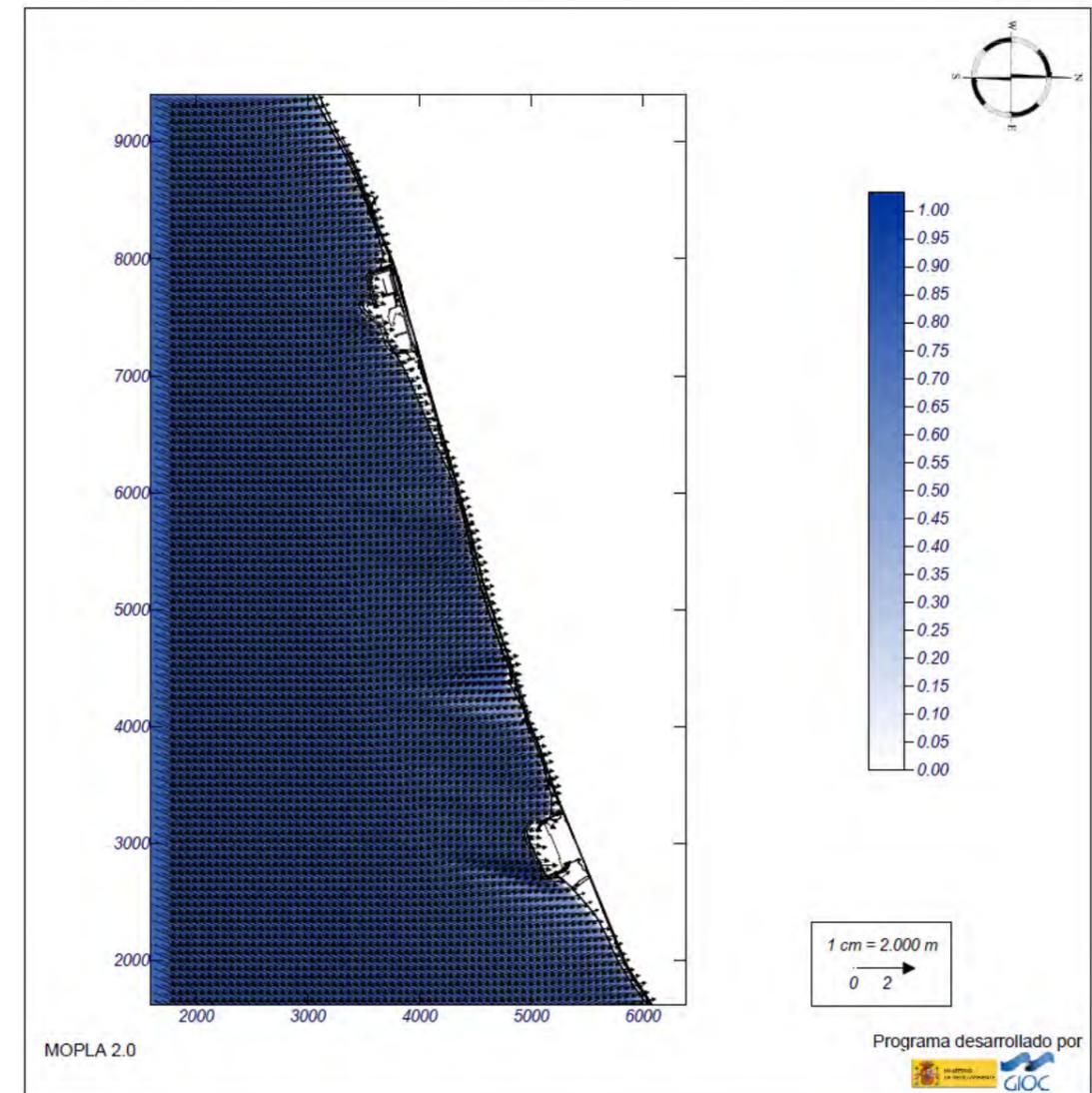
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa+Magnitud

Caso espectral: C112
C1: detalle ponientes
12: Hs morf SSW

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.8 m h: 10 m fp: 0.169491 Hz (Tp: 5.9 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -22.5° (S22.5W) σ: 5° - Nº Comp.: 5		

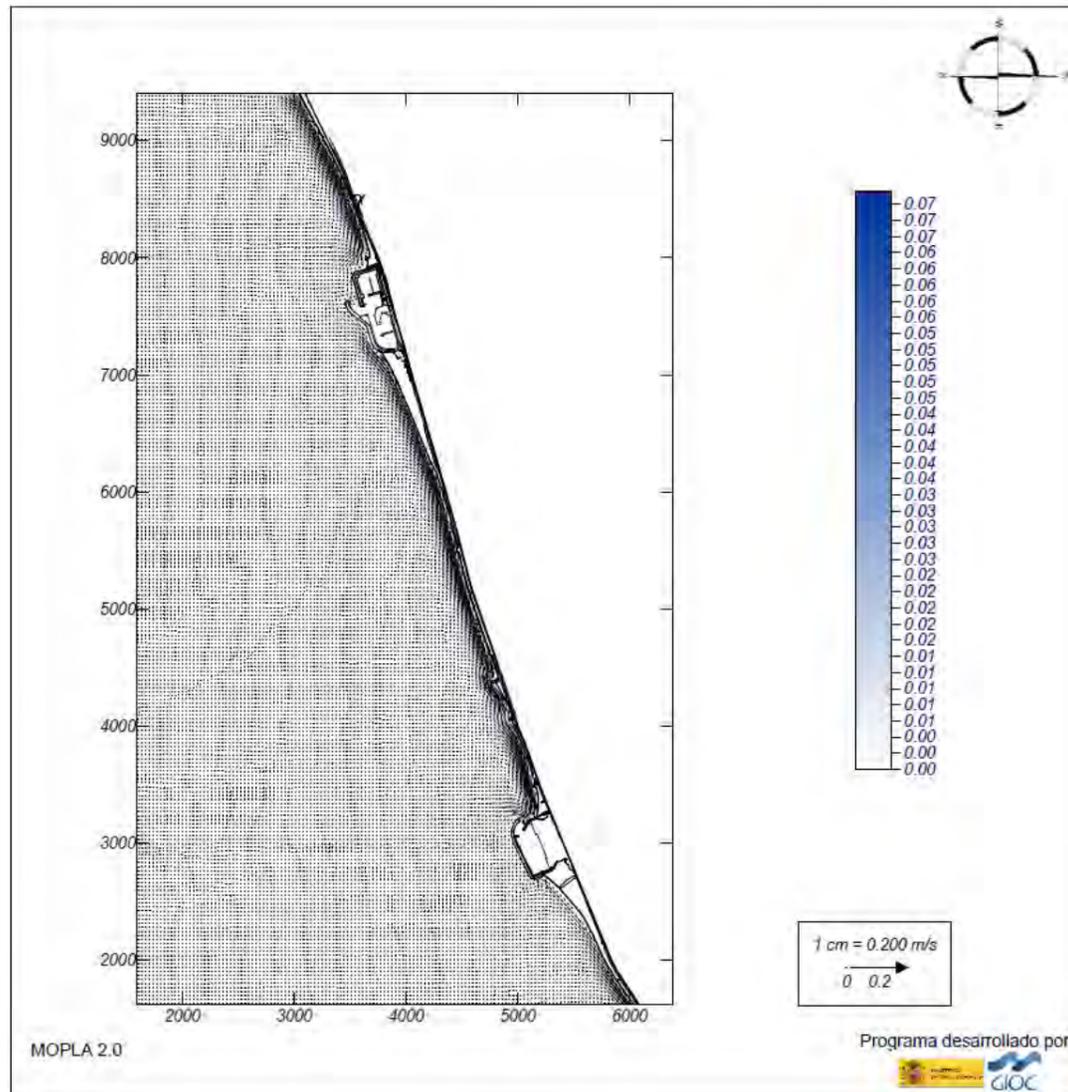


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores corriente

Caso espectral: C112
C1: detalle ponientes
12: Hs morf SSW

Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.8 m T: 10 m fp: 0.169491 Hz (Tp: 5.9 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -22.5° (S22.5W) σ: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse Ksw: 1 m Viscosidad de remolino s: 8 m ² /s	

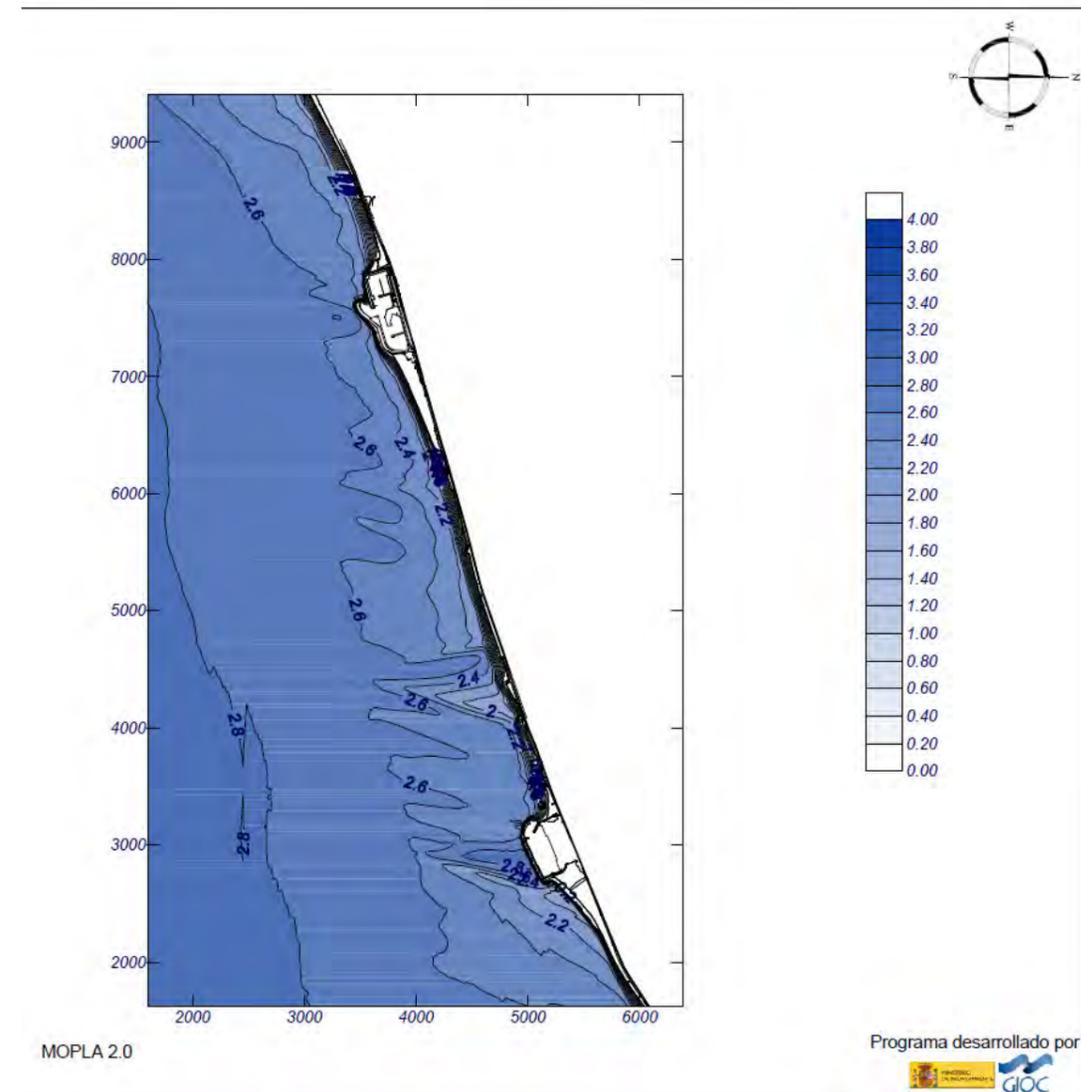


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Altura de ola significativa

Caso espectral: C118
C1: detalle ponientes
18: Hs12 SSW

Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 2.96 m T: 10 m fp: 0.108696 Hz (Tp: 9.2 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -22.5° (S22.5W) σ: 5° - Nº Comp.: 5		



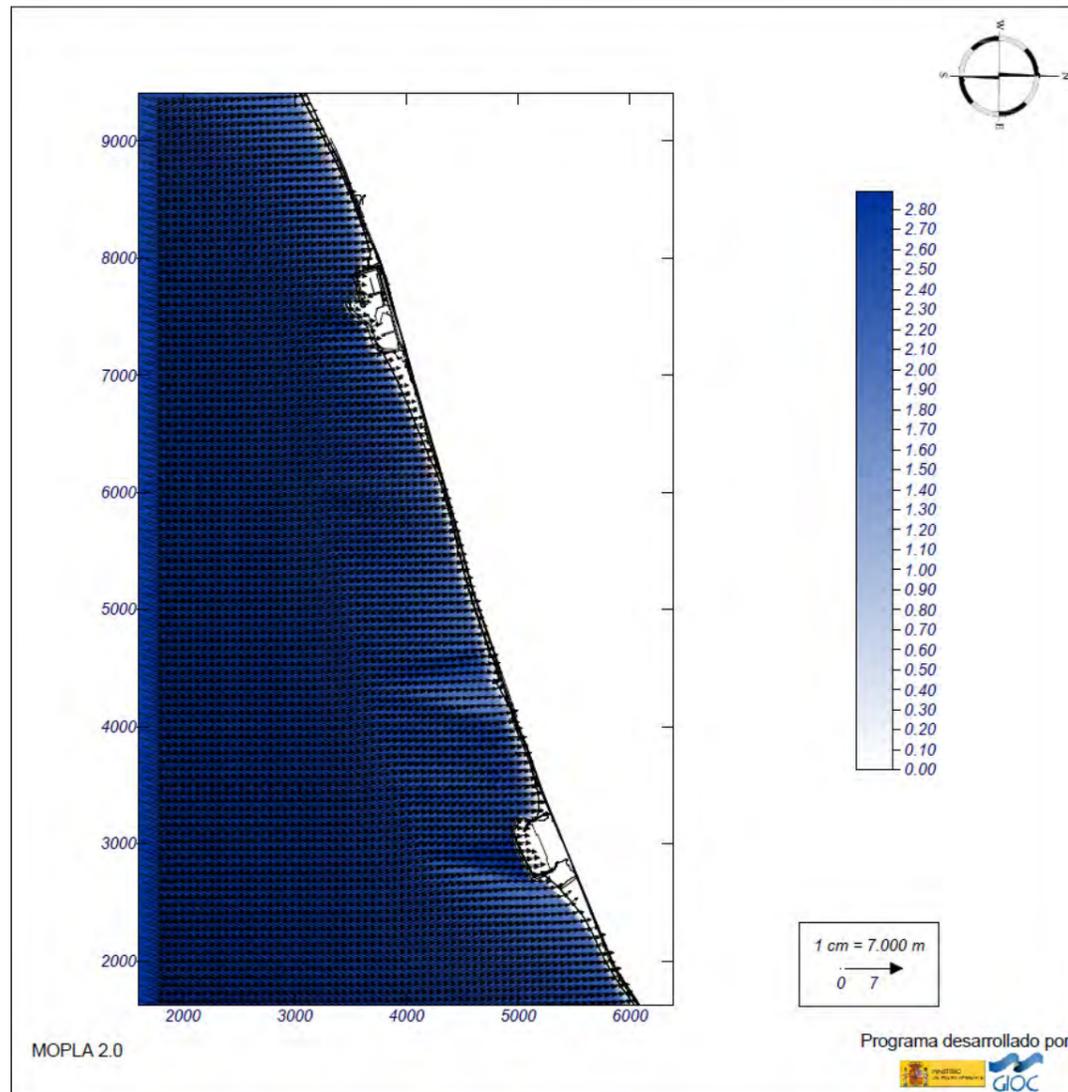
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa+Magnitud

Caso espectral: C118
C1: detalle ponientes
18: Hs12 SSW

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 2.96 m h: 10 m fp: 0.108696 Hz (Tp: 9.2 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -22.5° (S22.5W) σ: 5° - Nº Comp.: 5		



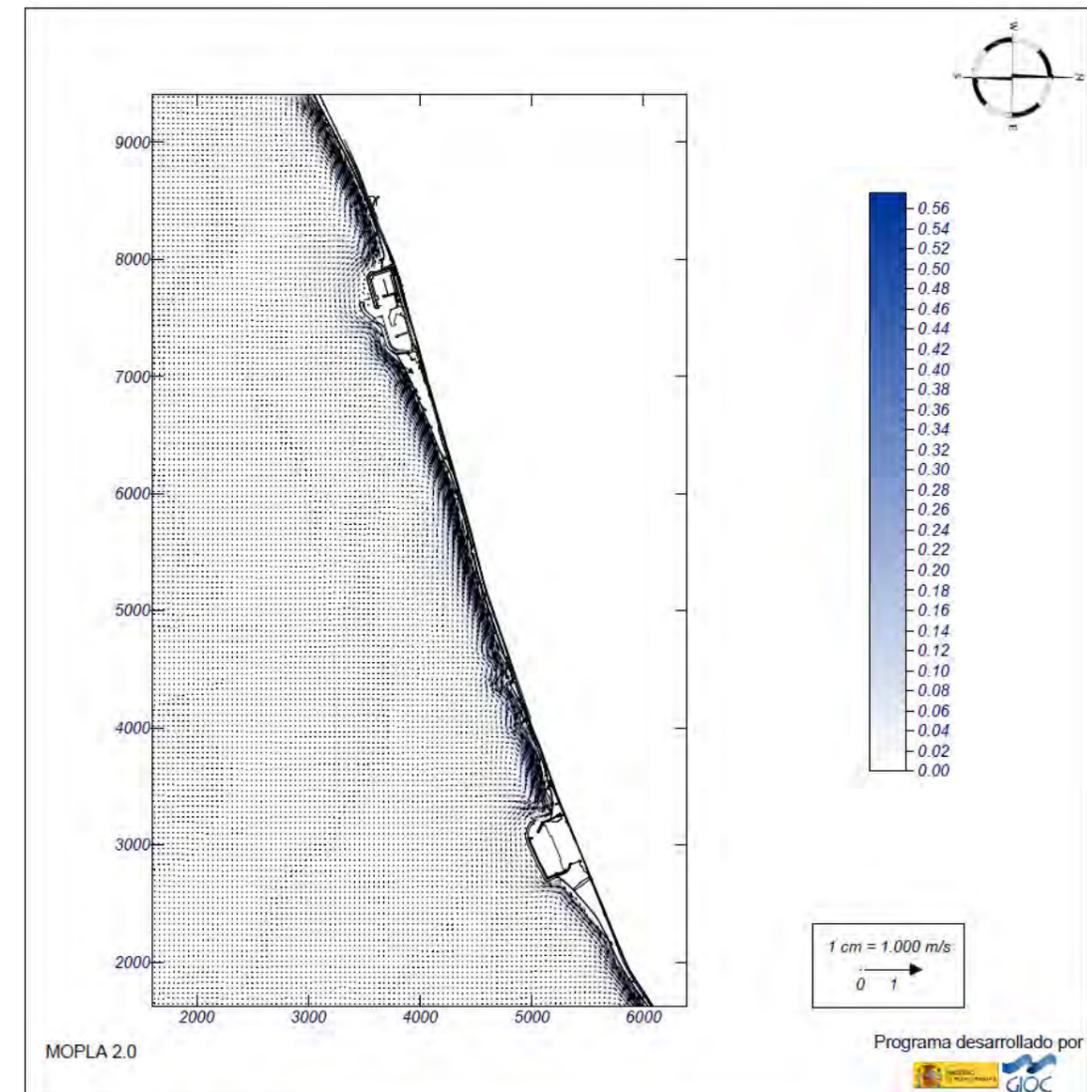
Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores corriente

Caso espectral: C118
C1: detalle ponientes
18: Hs12 SSW

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 2.96 m h: 10 m fp: 0.108696 Hz (Tp: 9.2 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -22.5° (S22.5W) σ: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse Ksw: 1 m Viscosidad de remolino ε: 8 m ² /s	

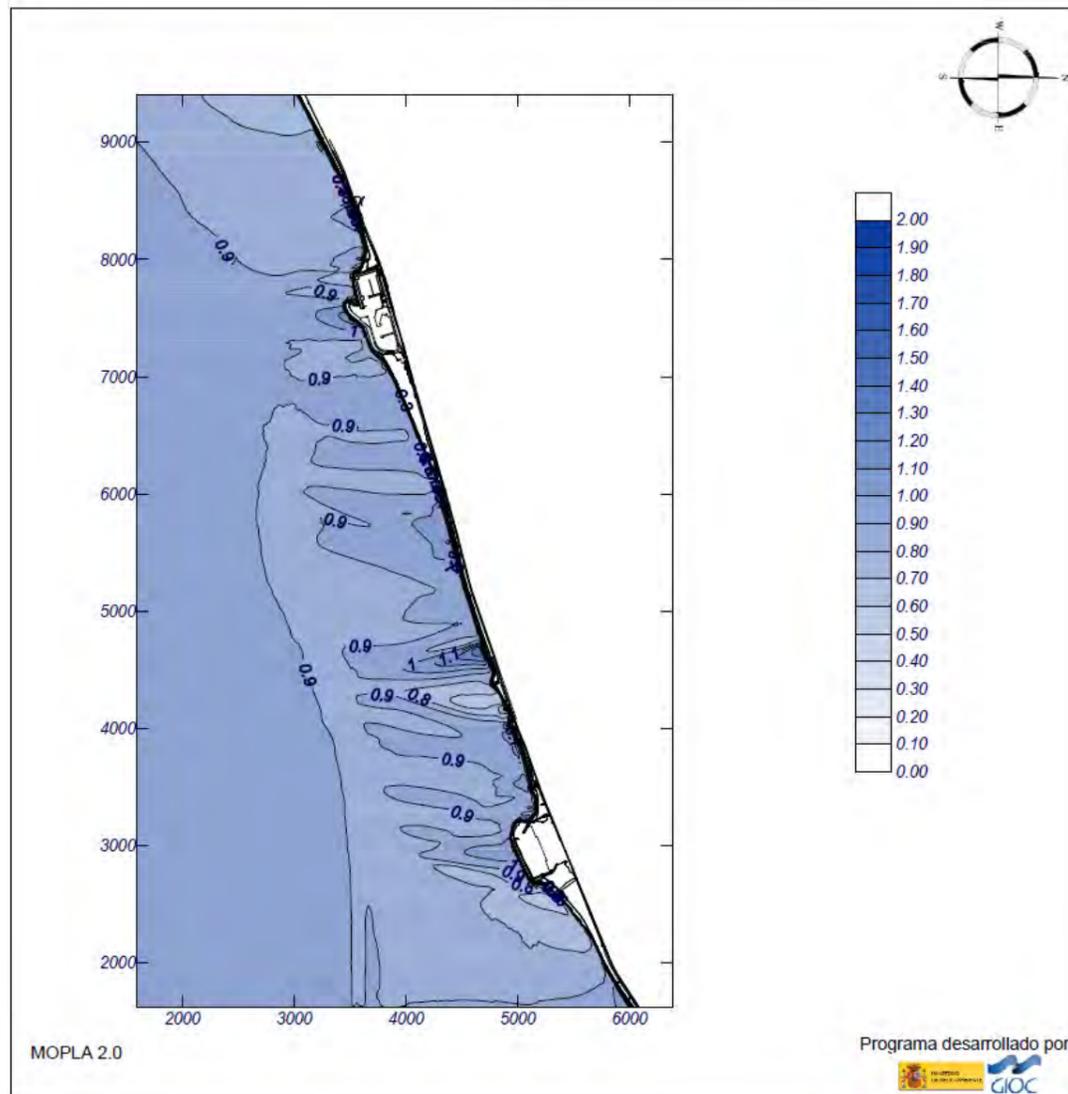


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Altura de ola significativa

Caso espectral: C113
C1: detalle ponientes
13: Hs dis SSW

Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 1 m h: 10 m fp: 0.0943396 Hz (Tp: 10.6 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -22.5° (S22.5W) σ: 5° - Nº Comp.: 5		

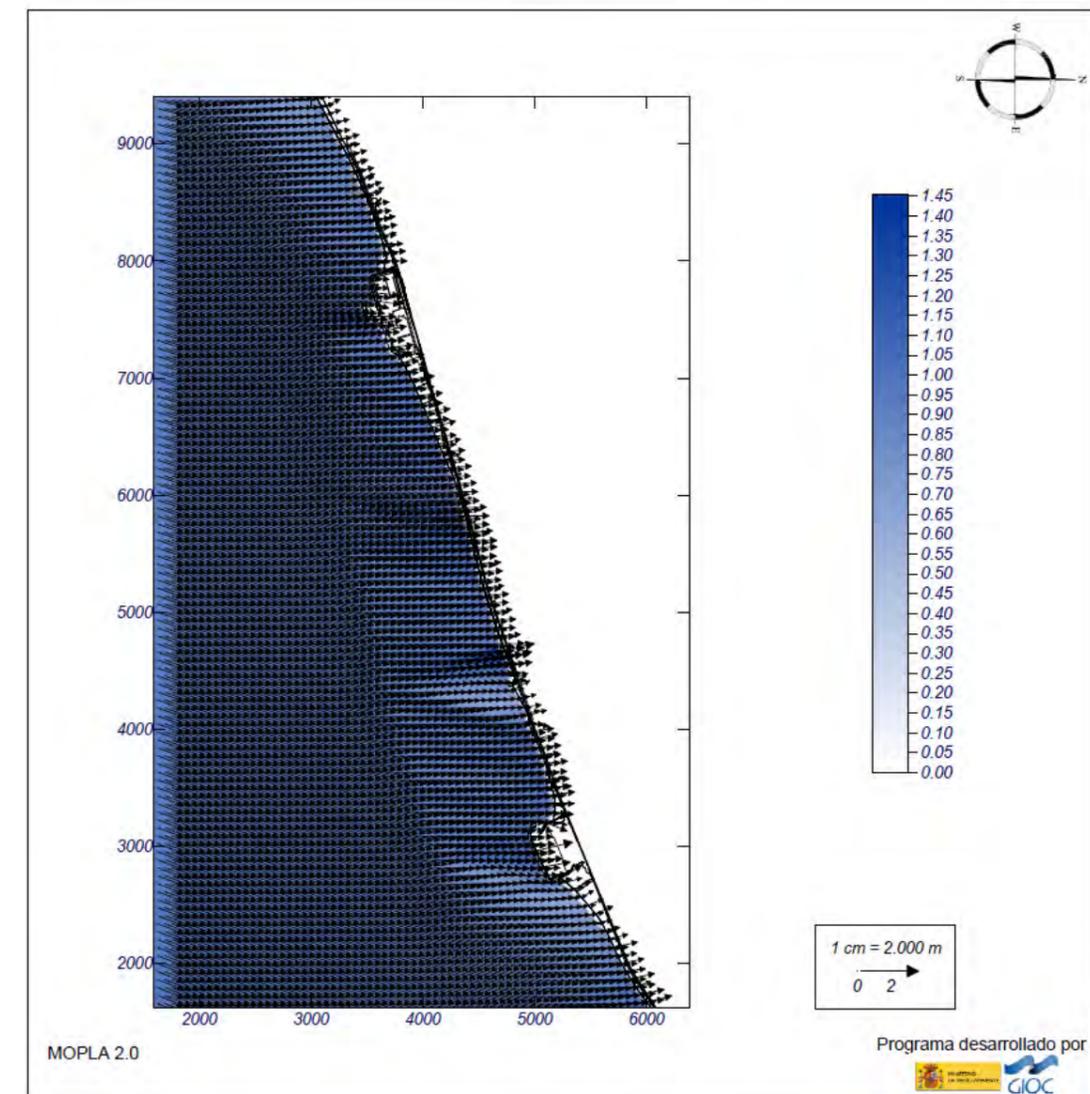


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa+Magnitud

Caso espectral: C113
C1: detalle ponientes
13: Hs dis SSW

Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 1 m h: 10 m fp: 0.0943396 Hz (Tp: 10.6 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θm: -22.5° (S22.5W) σ: 5° - Nº Comp.: 5		



ANEJO N° 4. ESTUDIO DE DINÁMICA LITORAL

ÍNDICE

<p>1. CONTENIDO DEL ESTUDIO.....1</p> <p>2. CLIMA MARÍTIMO1</p> <p>3. BATIMETRÍA, NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS FONDOS Y CONDICIONES DE LA BIOSFERA SUBMARINA.....2</p> <p> 3.1 BATIMETRÍA2</p> <p> 3.2 NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS FONDOS2</p> <p> 3.2.1 MARCO GEOLÓGICO GENERAL.....2</p> <p> 3.2.2 SEDIMENTOLOGÍA LOCAL3</p> <p> 3.3 CONDICIONES DE LA BIOSFERA MARINA6</p> <p> 3.4 NOMENCLATURA DE LAS PLAYAS.....8</p> <p>4. FORMAS DE EQUILIBRIO EN PLANTA Y PERFIL9</p> <p> 4.1 FORMAS DE EQUILIBRIO DE UNA PLAYA EN PLANTA9</p> <p> 4.1.1 FORMULACIONES EXISTENTES.....9</p> <p> 4.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS.....10</p> <p> 4.1.2.1 Definición del polo de difracción10</p> <p> 4.1.2.2 Dirección del flujo medio de energía10</p> <p> 4.1.2.3 Ajustes realizados11</p> <p> 4.2 ANÁLISIS DEL PERFIL TRANSVERSAL.....11</p> <p> 4.2.1 ZONIFICACIÓN DEL PERFIL DE PLAYA. PROFUNDIDADES ACTIVA Y DE CIERRE11</p> <p> 4.2.2 PERFIL DE EQUILIBRIO12</p> <p> 4.2.2.1 Formulaciones existentes12</p> <p> 4.2.2.1.1 Perfil de Dean.....13</p> <p> 4.2.2.1.2 Perfil de equilibrio con modelo de disipación en la zona de rotura.....13</p> <p> 4.2.2.1.3 Perfil en playas con refracción y difracción.....14</p> <p> 4.2.2.1.4 Perfil en playas con reflexión.....15</p>	<p> 4.2.2.2 Aplicación de los perfiles de equilibrio a la playa existente 15</p> <p>5. ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DEL TRANSPORTE LITORAL 17</p> <p> 5.1 METODOLOGÍAS PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS..... 17</p> <p> 5.2 CÁLCULO DEL TRANSPORTE LONGITUDINAL MEDIANTE FORMULACIONES 17</p> <p> 5.2.1 INTRODUCCIÓN..... 17</p> <p> 5.2.2 PRINCIPALES FORMULACIONES EXISTENTES 18</p> <p> 5.2.2.1 Fórmula del CERC 18</p> <p> 5.2.2.1.1 Expresión general..... 18</p> <p> 5.2.2.1.2 Cuantificación del coeficiente K..... 18</p> <p> 5.2.2.2 Fórmula de Kamphuis..... 19</p> <p> 5.2.2.3 Fórmula de Van Rijn..... 19</p> <p> 5.2.3 IMPLEMENTACIÓN DE LAS FÓRMULAS 20</p> <p> 5.2.4 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE LONGITUDINAL..... 20</p> <p> 5.2.4.1 Resultados de estudios anteriores..... 20</p> <p> 5.2.4.2 Resultados obtenidos específicamente para este estudio 21</p> <p> 5.3 CÁLCULO MEDIANTE MODELADO NUMÉRICO 22</p> <p> 5.3.1 CONCEPTOS PREVIOS SOBRE EL MODELO UTILIZADO 23</p> <p> 5.3.2 RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO 23</p> <p> 5.4 COMENTARIOS RESPECTO AL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS 24</p> <p> 5.4.1 TRANSPORTE LONGITUDINAL 24</p> <p> 5.4.2 TRANSPORTE TRANSVERSAL 25</p> <p>6. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y BALANCE SEDIMENTARIO 25</p> <p> 6.1 EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA 25</p> <p> 6.1.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA 25</p> <p> 6.1.1.1 Consideraciones generales 25</p> <p> 6.1.1.2 Evolución de la línea de costa 27</p> <p> 6.1.2 EVOLUCIÓN FUTURA 31</p>
---	--

6.2	BALANCE SEDIMENTARIO	31
7.	RECURSOS DISPONIBLES DE ÁRIDOS Y CANTERAS. PREVISIÓN DE DRAGADOS O TRASVASES DE ARENAS.....	32
7.1	RECURSOS DISPONIBLES DE ÁRIDOS Y CANTERAS	32
7.2	PREVISIÓN DE DRAGADOS O TRASVASE DE ARENAS	32
8.	PROPUESTA PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LAS OBRAS Y MEDIDAS CORRECTORAS Y COMPENSATORIAS.....	32
9.	PLAN DE SEGUIMIENTO DE LAS ACTUACIONES PREVISTAS.....	33
10.	DINÁMICAS RESULTANTES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	33
10.1	ANTECEDENTES	33
10.2	VARIACIÓN DE LA DINÁMICA COSTERA	33
10.3	EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PLAYA DE ESTUDIO	35
10.4	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	35

Apéndice 1. Figuras del transporte de sedimentos (modelo EROS)

Índice de figuras

Figura 1.-	Batimetría de la zona obtenida de las Cartas Náuticas nº 49ª y 4892 (Fuente: IHM)	2
Figura 2.-	Batimetría de detalle de la zona de estudio levantada en 2016 (Fuente: Elaboración propia)	2
Figura 3.-	Unidades geológicas principales en la comarca del Maresme (Fuente: www.helppc.org/maresme/geologia.htm)	3
Figura 4.-	Composiciones geológicas principales de la zona de proyecto (Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España) y composición del fondo marino (Fuente: Dirección Gral. de Puertos y Costas)	3
Figura 5.-	Ubicación de las muestras de sedimento tomadas (Fuente: elaboración propia)	4
Figura 6.-	Resultados granulométricos por perfiles (Fuente: elaboración propia)	5
Figura 7.-	Resultados granulométricos por profundidades (Fuente: elaboración propia)	5

Figura 8.-	Resumen de los resultados granulométricos por perfiles y profundidades (Fuente: elaboración propia)	5
Figura 9.-	Información granulométrica de las playas del entorno (Fuente: Llibre verd de l'Estat de la zona costanera a Catalunya)	6
Figura 10.-	Caracterización natural de la zona de estudio (Fuente: DGSCM)	7
Figura 11.-	Espacio de la Red Natura2000 y del PEIN de Catalunya "Costes de Maresme" (Fuente: Generalitat de Catalunya).....	7
Figura 12.-	Caracterización geomorfológica del fondo marino de la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia).....	8
Figura 13.-	Imagen de fondos de arenas con Cymodocea nodosa dispersa en la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia).....	8
Figura 14.-	Definición esquemática de la planta de una bahía en equilibrio (Fuente: Hsu y Evans)	9
Figura 15.-	Valores de los coeficientes C0, C1 y C2 de la formulación parabólica (Fuente: Hsu y Evans)	9
Figura 16.-	Puntos en los que se ha calculado la dirección del flujo medio de energía (Fuente: elaboración propia)	11
Figura 17.-	Resultados de la dirección del flujo medio de energía (Fuente: elaboración propia)	11
Figura 18.-	Esquema aplicado para el cálculo del flujo medio de energía del oleaje (Fuente: elaboración propia)	10
Figura 19.-	Ajustes considerando los polos en el extremo del dique del puerto de Premià y en el extremo del tramo sumergido del espigón a poniente de la Playa de la Descàrrega (Fuente: elaboración propia) °	11
Figura 20.-	. Localización de la profundidad activa en la zona de estudio (Fuente: elaboración propia).....	12
Figura 21.-	Definición de los parámetros intervinientes en la formulación del perfil de equilibrio con refracción (Fuente: GIOC).....	14
Figura 22.-	Definición de los parámetros intervinientes en la formulación del perfil de equilibrio con refracción (Fuente: GIOC).....	14
Figura 23.-	Perfiles medidos vs perfiles de equilibrio en la zona de estudio (Fuente: elaboración propia).....	15
Figura 24.-	Comparación de los perfiles batimétricos. (Fuente: elaboración propia)	16
Figura 25.-	Perfil promedio vs perfiles de equilibrio en la zona de estudio (Fuente: elaboración propia)	16
Figura 26.-	. Relación entre II y PI a partir de datos de campo (Fuente: Shore Protection Manual, 1984)	18

Figura 27.- Calibración del modelo de Bailard para la definición de Ks (Fuente: Coastal Engineering Manual, 2002)	19	Figura 44.- Evolución histórica de la línea de costa entre 2004 y 2016 (Fuente: Elaboración propia a partir de fotos de Google Earth).....	30
Figura 28.- Calibración del modelo de Del Valle para la definición de Krms (Fuente: Coastal Engineering Manual, 2002)	19	Figura 45.- Evolución histórica de la línea de costa entre 2004 y 2016 (Fuente: Elaboración propia a partir de fotos de Google Earth).....	30
Figura 29.- Criterios de signo del programa LONGTRANS (Fuente: elaboración propia)	20	Figura 46.- Esquema del balance sedimentario de la zona de estudio. (Fuente: elaboración propia).....	31
Figura 30.- Capacidad de transporte en la zona según el documento "Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa" (Fuente: Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar).....	20	Figura 47.- Variación histórica de las principales variables de la dinámica costera en la costa española	34
Figura 31.- Capacidad de transporte en la zona según el "Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya"; Izquierda: fórmula de Kamphuis; derecha: fórmula del CERC (Fuente: CIIRC / Generalitat de Catalunya)	21	Figura 48.- Variación del nivel medio del mar.....	34
Figura 32.- Límites de incidencia del oleaje en la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia)	21	<u>Índice de tablas</u>	
Figura 33.- Alineación media de la batimetría en la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia) ...	21	Tabla 1.- Resumen de los resultados de los análisis granulométricos (Fuente: elaboración propia).....	6
Figura 34.- Capacidad de transporte longitudinal en las playas situadas en los dos tercios de levante de la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia).....	22	Tabla 2.- Profundidades activa y de cierre para diferentes direcciones de oleaje incidentes (Fuente: elaboración propia)	12
Figura 35.- Capacidad de transporte longitudinal en las playas situadas en el tercio de poniente de la zona de estudio. Base de datos de oleaje: punto WANA 2114128 (Fuente: Elaboración propia)	22	Tabla 3.- Resultados del transporte de sedimentos obtenido con el programa EROS (Fuente: elaboración propia)	23
Figura 36.- Comparación de la capacidad de transporte longitudinal en diferentes escenarios (Fuente: Elaboración propia)	22	Tabla 4.- Aportaciones de arena realizadas en la zona de estudio. (Fuente: Demarcación de Costas en Cataluña)	27
Figura 37.- Patrones de transporte de los oleaje Hs12 del E (izquierda) y SSW (derecha). Los círculos verdes indican zonas donde se detecta transporte transversal (Fuente: elaboración propia)	24	Tabla 5.- Trasvases de arena realizados en el Puerto de Premià. (Fuente: Demarcación de Costas en Cataluña).....	27
Figura 38.- Ejemplo de variación del transporte longitudinal (fórmula de Van Rijn) en función de la dirección de incidencia del oleaje. Valores positivos: NE-SW; valores negativos: SW-NE (Fuente: elaboración propia).....	24		
Figura 39.- Comparación de la profundidad activa (línea roja discontinua) con el patrón de transporte de sedimentos asociado al oleaje con una excedencia de 12 h/año (Fuente: elaboración propia).....	25		
Figura 40.- Esquema del funcionamiento de la dinámica litoral en esta unidad fisiográfica (Fuente: CEPYC).....	27		
Figura 41.- Evolución histórica de la línea de costa entre 1947 y 1995 (Fuente: CEDEX).....	28		
Figura 42.- Evolución histórica de la línea de costa entre 1995 y 2004 (Fuente: CIIRC / Generalitat de Catalunya).....	28		
Figura 43.- Tasas de evolución histórica de la línea de costa en m/año (Fuente: CIIRC / Generalitat de Catalunya)	29		

1. CONTENIDO DEL ESTUDIO

De acuerdo con el artículo 91 del Reglamento General de Costas, aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, cuando un proyecto contenga la previsión de actuaciones en el mar o en la zona marítimo-terrestre, deberá comprender un Estudio básico de Dinámica Litoral (en adelante EBDL) referido a la unidad fisiográfica costera correspondiente y de los efectos de las actuaciones previstas, que se acompañará como anejo a la Memoria del Proyecto, y que comprenderá los siguientes aspectos (de acuerdo al artículo 93 de dicho Reglamento):

- Clima marítimo, incluyendo estadísticas de oleaje y temporales direccionales y escalares.
- Batimetría hasta zonas del fondo que no resulten modificadas, Naturaleza geológica de los fondos y Condiciones de la biosfera submarina y efectos sobre la misma de las actuaciones previstas en la forma que señala el artículo 88 e) de este reglamento (es decir, la determinación de la posible afección a espacios de la Red Natura 2000 o cualesquiera otros dotados de figuras de protección ambiental).
- Formas de equilibrio, en planta y perfil, del tramo de costas afectado.
- Estudio de la capacidad de transporte litoral.
- Balance sedimentario y evolución de la línea de costa, tanto anterior como previsible.
- Recursos disponibles de áridos y canteras y su idoneidad, previsión de dragados o trasvases de arenas.
- Dinámicas resultantes de los efectos del cambio climático
- Propuesta para la minimización de la incidencia de las obras y medidas correctoras y compensatorias.
- Plan de seguimiento de las actuaciones previstas.

En los siguientes apartados se desarrollan los puntos anteriores.

2. CLIMA MARÍTIMO

El Anejo nº 2 del proyecto incluye un completo estudio de Clima marítimo, incluyendo la estadística de oleajes y temporales, tanto escalares como direccionales, así como el estudio de mareas.

3. BATIMETRÍA, NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS FONDOS Y CONDICIONES DE LA BIOSFERA SUBMARINA

3.1 BATIMETRÍA

La información batimétrica empleada ha sido obtenida por un lado de las Cartas Náuticas nº 49A, 489, 491 y 4892 del Instituto Hidrográfico de la Marina (ver Figura 1.-) y por otro lado del levantamiento topo-batimétrico realizado ex profeso y que se presenta en el Anejo nº 1 del proyecto (ver Figura 2.-).

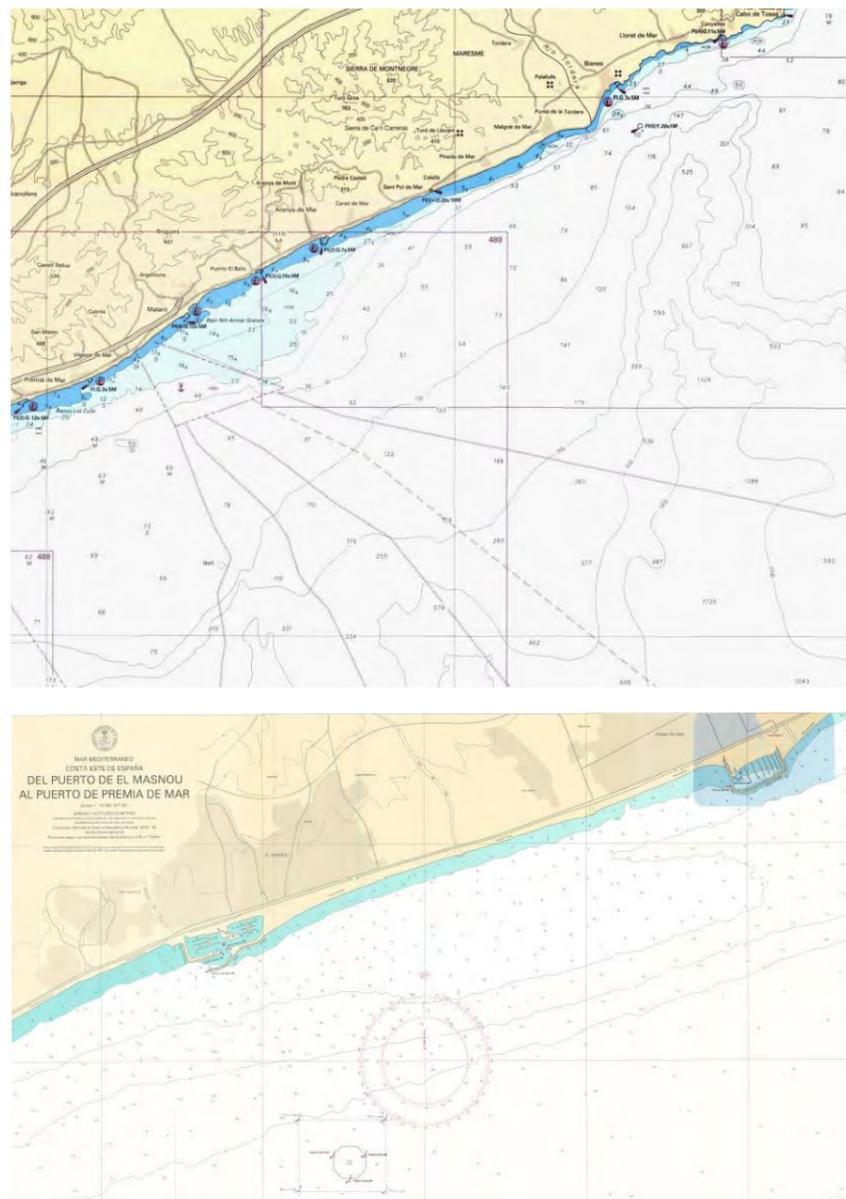


Figura 1.- Batimetría de la zona obtenida de las Cartas Náuticas nº 49ª y 4892 (Fuente: IHM)

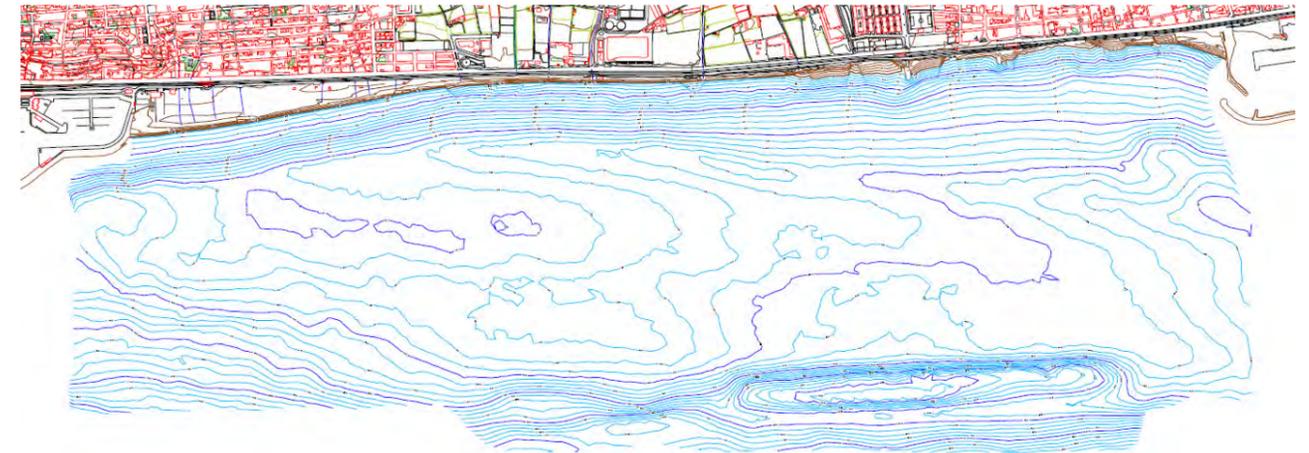


Figura 2.- Batimetría de detalle de la zona de estudio levantada en 2016 (Fuente: Elaboración propia)

3.2 NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS FONDOS

3.2.1 MARCO GEOLÓGICO GENERAL

La comarca del Maresme pertenece geológicamente a los restos del antiguo macizo catalano-balear, que se formó hacia finales de la era paleozoica, durante la orogenia herciniana (hace 350 a 248 millones de años) como resultado del agrietamiento y posterior desplazamiento de las placas que habían conformado la primitiva Pangea. Este macizo estaba formado por grandes bolsas de magma solidificado, granito, sobre el cual descansaban materiales paleozoicos; pizarras y rocas calcáreas.

Como resultado de la orogenia alpina (hace de 60 a 15 millones de años) y de la rotura y hundimiento del macizo por unas fracturas o fallas resultaron las cordilleras litoral y pre-litoral (conocida localmente como *serralades*) formadas mayoritariamente por granitoides: granitos y granodioritas, ya que el efecto erosivo hizo desaparecer gran parte de los materiales paleozoicos. Las pizarras solamente se mantienen en los puntos más elevados del Montnegre y las calcáreas en Sant Pere de Riu y en Montpalau.

El relieve, en cambio, es el resultado de sucesos más próximos, desencadenados durante los últimos 2 millones de años. De las montañas de aquel antiguo macizo sólo ha quedado un relieve sinuoso conformado por pequeñas colinas, de formas redondeadas y con cimas que apenas alcanzan los 500 metros de altitud. Se trata de montañas ya viejas, que se han ido desgastando, en parte, por la acción de la temperatura y humedad elevadas que durante el cuaternario han ido erosionando de manera diferencial los materiales graníticos, y que han surcado esta suavidad del terreno de innumerables torrentes y barrancos (conocidos localmente como *ramblas* y también como *riures*).

Esta fuerte erosión ha sido y es causada principalmente por la acción del 'ácido carbónico que llevan las aguas procedentes de la lluvia y que descomponen con facilidad una roca como el granito, formado por tres minerales básicos (cuarzo, feldespato y mica) y que se altera fácilmente después de

esta meteorización química y se transforma en una masa arenosa que recibe el nombre de jablón o sablón (localmente *sauló*). Los feldespatos se han deshecho y se han convertido en arcillas. Las micas se han desmenuzado y han disminuido su tamaño, siendo el cuarzo el único elemento que queda inalterable, manteniendo su consistencia y dureza, y convirtiéndose en el principal componente del *sauló*.

Desde una óptica morfológica, dentro del Maresme se pueden diferenciar tres unidades básicas: la Cordillera (localmente conocido como *Serralada*) y sus contrafuertes, que en algunos puntos entre Calella y Caldes d'Estrac llegan hasta el mar, la llanura litoral y la línea de costa. Los cursos hidrográficos se han dispuesto perpendicularmente a la línea de costa, cortando transversalmente la comarca, y conformando la actual plataforma litoral a pie de la Cordillera, ya que después de una precipitación, las aguas han ido transportando desde la Cordillera grandes cantidades de sablón. Esta plataforma litoral es reciente y está formada por los aluviones, es decir, el conjunto de sedimentos transportados y sedimentados. Este aporte fue muy notable y ha conformado unos aluviones con espesores considerables, con por ejemplo 32 m en Sant Pol, 20 m en Arenys (Vallvidrera), 18 m en Llavaneres o 14 m en Caldetes. Todo ello se muestra en la Figura 3.-

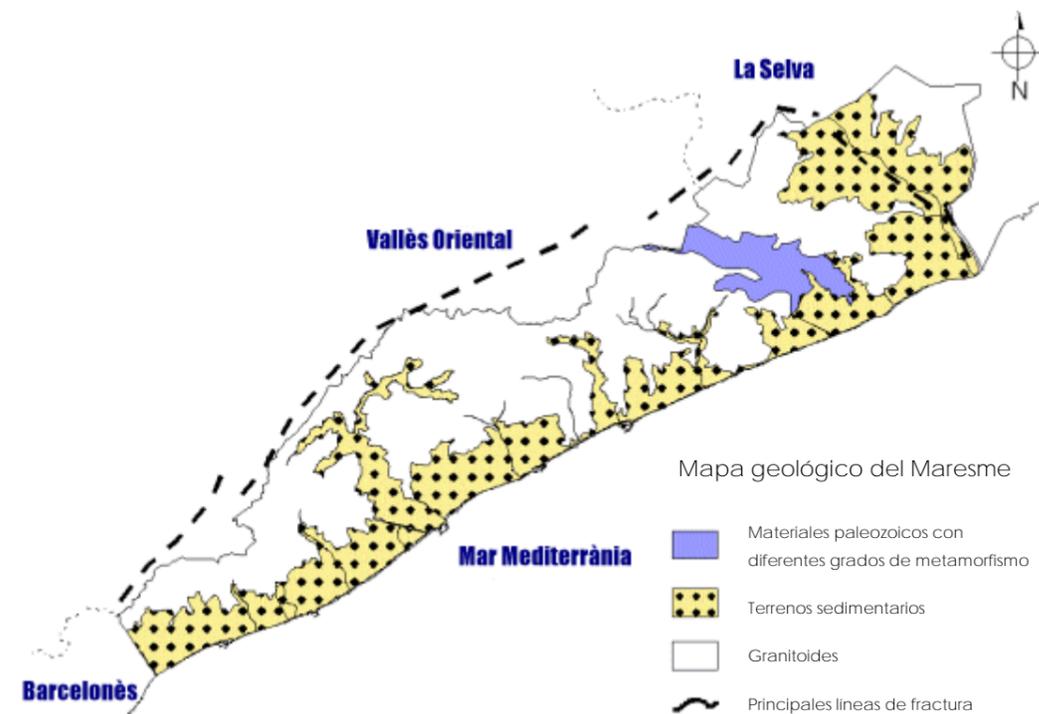


Figura 3.- Unidades geológicas principales en la comarca del Maresme (Fuente: www.helppc.org/maresme/geologia.htm)

Localmente, en el tramo entre El Masnou y Premià de Mar, destacan como materiales cuaternarios la terraza tercera y actual y brechas y arcillas rojas, siendo los materiales más antiguos las granodioritas del período ordovícico, tal como se muestra en la Figura 4.-

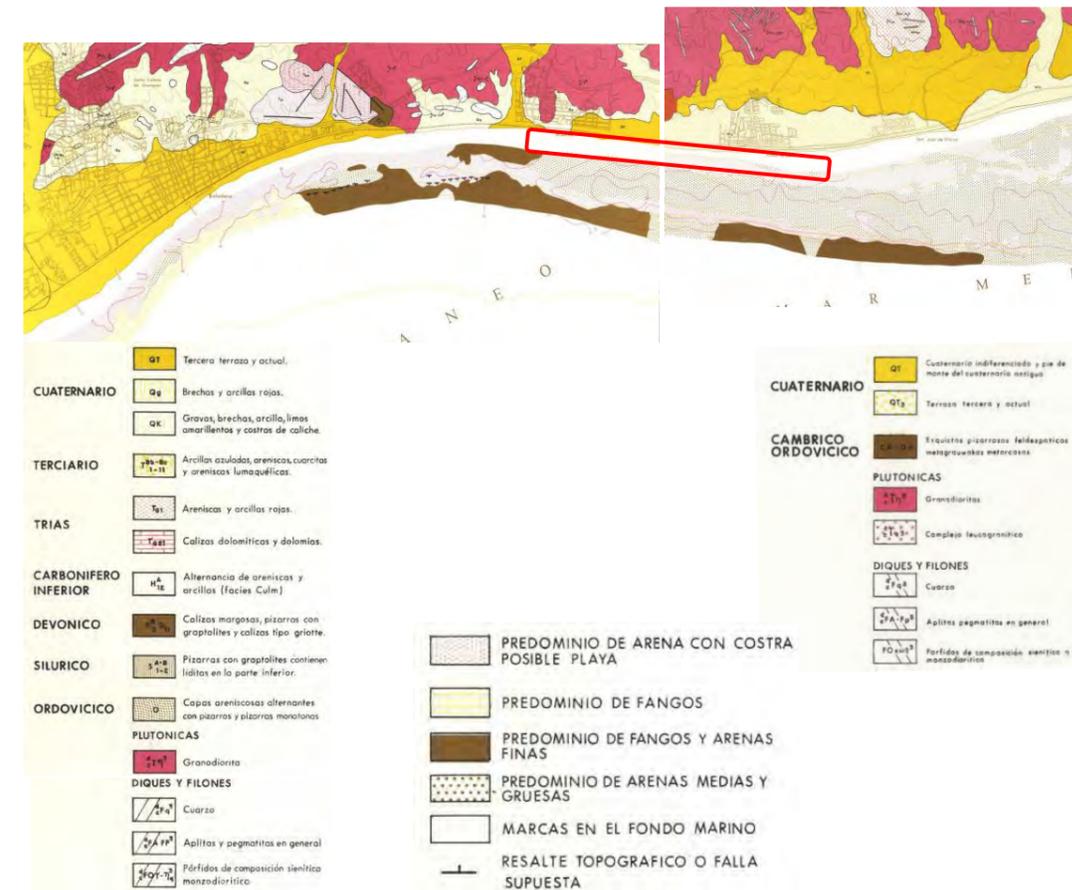


Figura 4.- Composiciones geológicas principales de la zona de proyecto (Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España) y composición del fondo marino (Fuente: Dirección Gral. de Puertos y Costas)

3.2.2 SEDIMENTOLOGÍA LOCAL

En la Figura 4.- se muestran los resultados de la campaña geofísica realizada en 1985 por encargo de la entonces Dirección General de Puertos y Costas dentro del Plan General de Costas. Frente a la zona de actuación y en profundidades por encima de los -15 m predominan las arenas medias y gruesas (si bien a levante de El Masnou se aprecian zonas con predominio de arenas finas y fangos y zonas con predominio de arena con costra, mientras que por debajo de esta profundidad ya destacan las zonas con predominio de arenas finas y fangos. En cualquier caso la potencia de sedimentos es considerablemente alta, pudiéndose apreciar isopacas de 20 metros.

Entre los trabajos de campo realizados se efectuó la toma y análisis granulométricos de muestras de sedimentos en nueve (9) perfiles transversales de la playa objeto de estudio (el P-1 es el más occidental, situado junto al dique del Puerto de El Masnou y el P-9 el más oriental, ubicado junto al contradique del Puerto de Premià. En la Figura 5.- se muestra la ubicación de dichas muestras, situadas a unas profundidades de +1,5 m (playa seca), +0,0 m (orilla), -2,0 m y -5,0 m (playa sumergida).

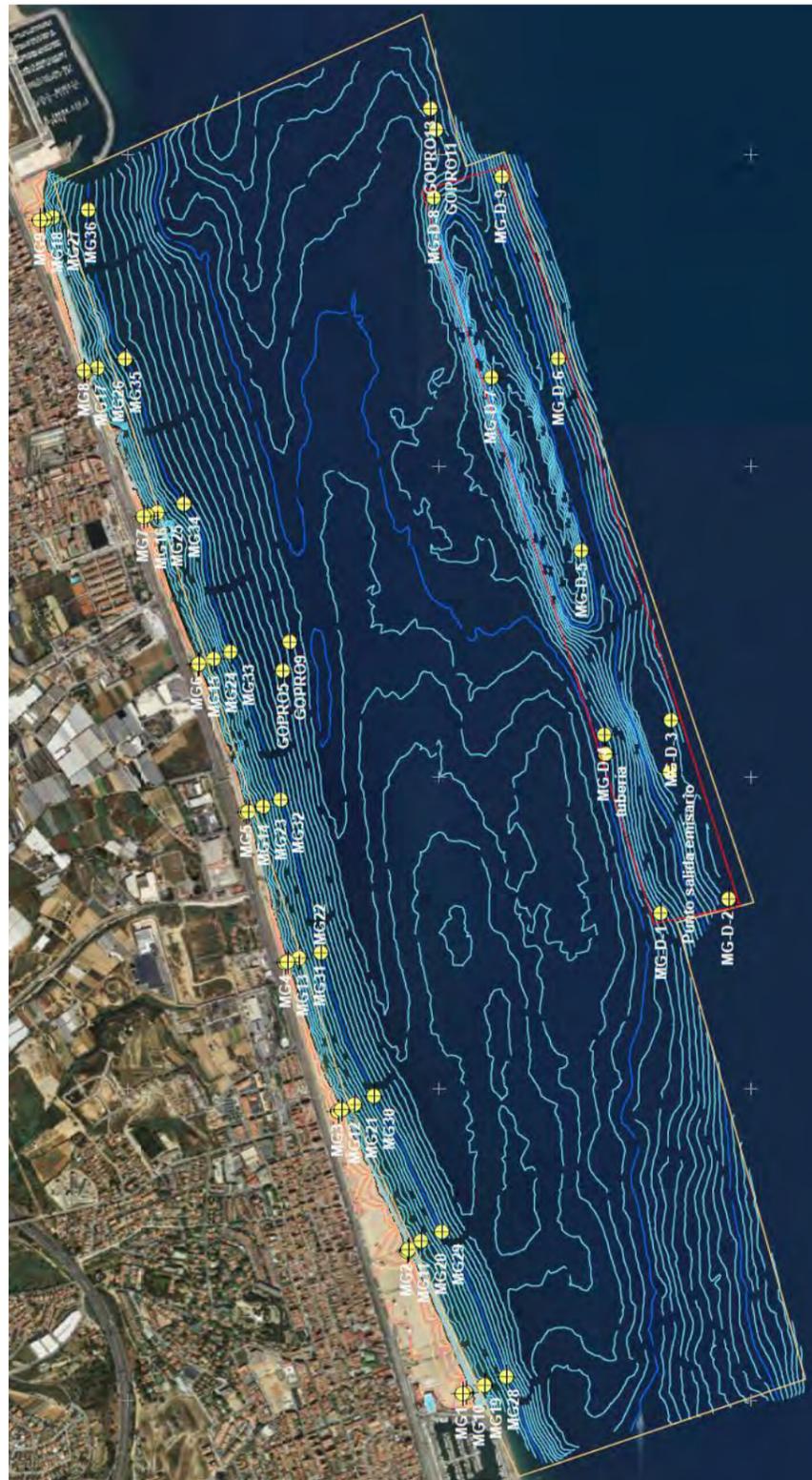
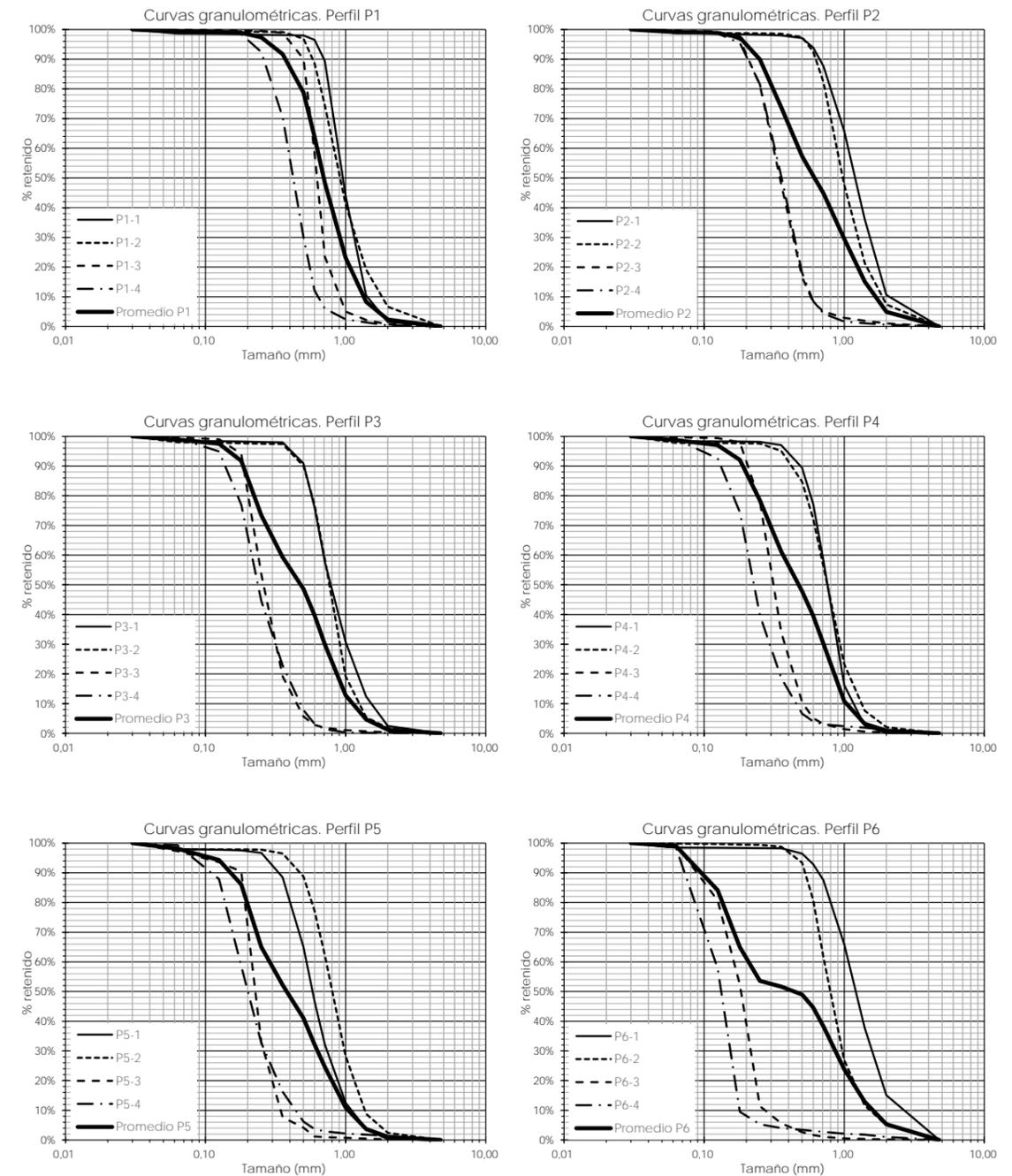


Figura 5.- Ubicación de las muestras de sedimento tomadas (Fuente: elaboración propia)

En la Figura 6.- y la Figura 7.- se presenta un resumen de las características de cada una de las muestras. En el primer caso se presentan agrupadas las muestras en cada uno de los nueve perfiles (así como sus promedios) y en el segundo caso las muestras agrupadas según profundidades (así como sus promedios).



(Continúa)

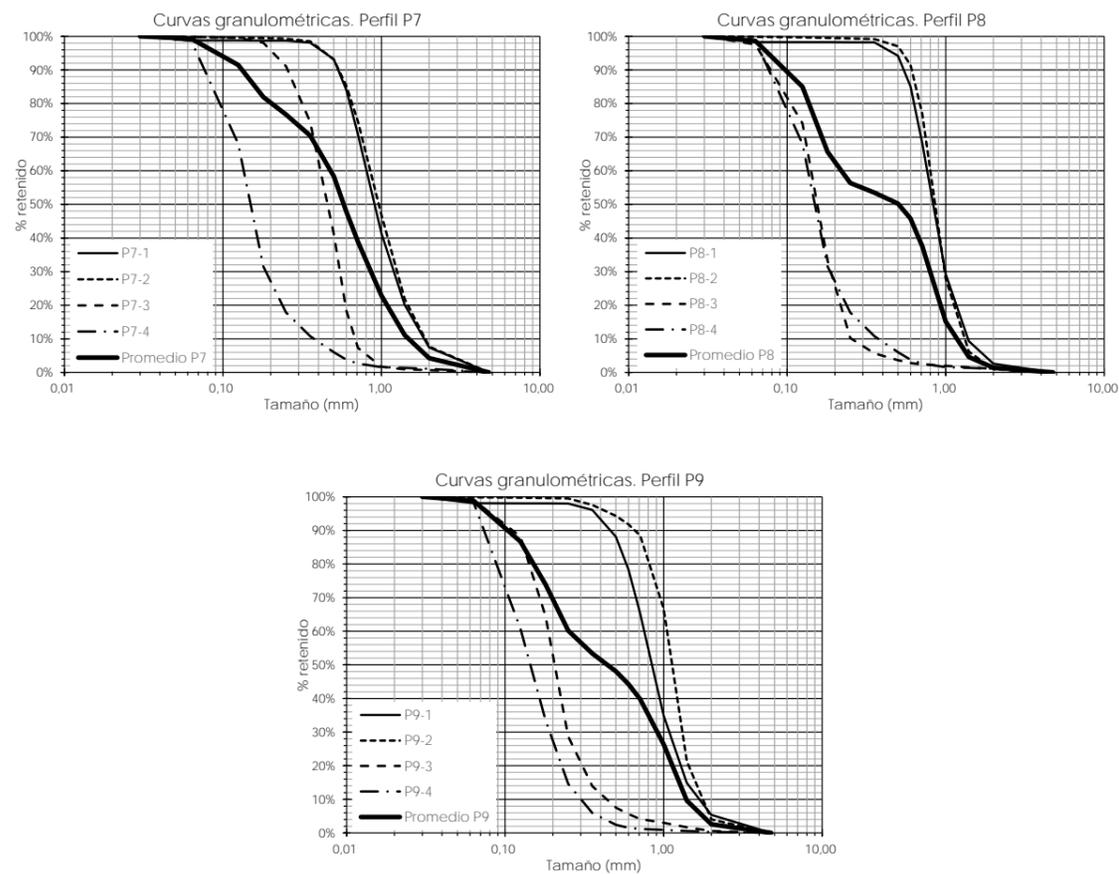


Figura 6.- Resultados granulométricos por perfiles (Fuente: elaboración propia)

Puede apreciarse que en los nueve perfiles (Figura 6.-) los resultados son bastante similares: las muestras tomadas en profundidades de +1,5, +0 son en general arenas gruesas (AG) con $0,5 \text{ mm} < D_{50} < 1 \text{ mm}$ (si bien en algún caso puntual hay arenas muy gruesas, AMG –perfiles P-2, P-6 y P-9–) y las muestras tomadas en profundidades de -2 y -5 m son en general arenas finas (AF) con $0,125 \text{ mm} < D_{50} < 0,25 \text{ mm}$ (si bien en algún caso puntual hay arenas muy finas, AMF –perfiles P-6 y P-9– o arenas gruesas –perfil P-1–). Consecuentemente la mezcla media de cada perfil resulta arena gruesa (perfiles P-1, P-2, P-7 y P-8) o arena media (perfiles P-3, P-4, P-5, P-6 y P-9), pero en todos los casos con valores D_{50} muy próximos a 0,50 mm (límite entre AM y AG)

Los resultados por profundidades (ver Figura 7.-) muestran gran homogeneidad en las muestras tomadas en profundidades de +1,5, +0, para las cuales en todos los perfiles las curvas granulométricas están muy próximas a la del promedio de todos los perfiles, produciéndose una mayor dispersión en las muestras tomadas a -2 m y -5 m de profundidad.

Finalmente en la Figura 8.- , se presentan los promedios de los resultados granulométricos por perfiles (izquierda) y por profundidades (derecha), así como el promedio de todas las muestras (en línea más gruesa), donde puede comprobarse la gran semejanza de resultados en los nueve perfiles

(especialmente en la fracción por debajo del 50%) y la gran diferencia transversal entre las muestras de playa seca/orilla y de playa sumergida.

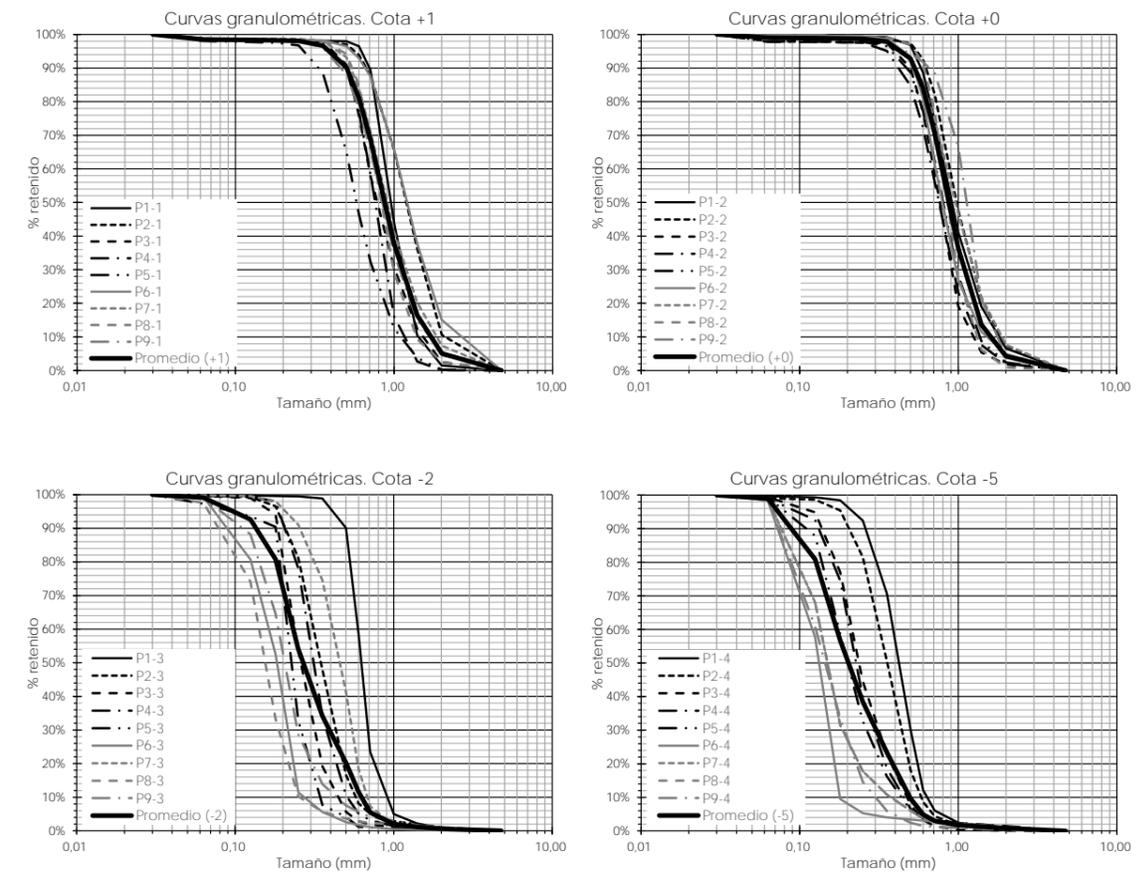


Figura 7.- Resultados granulométricos por profundidades (Fuente: elaboración propia)

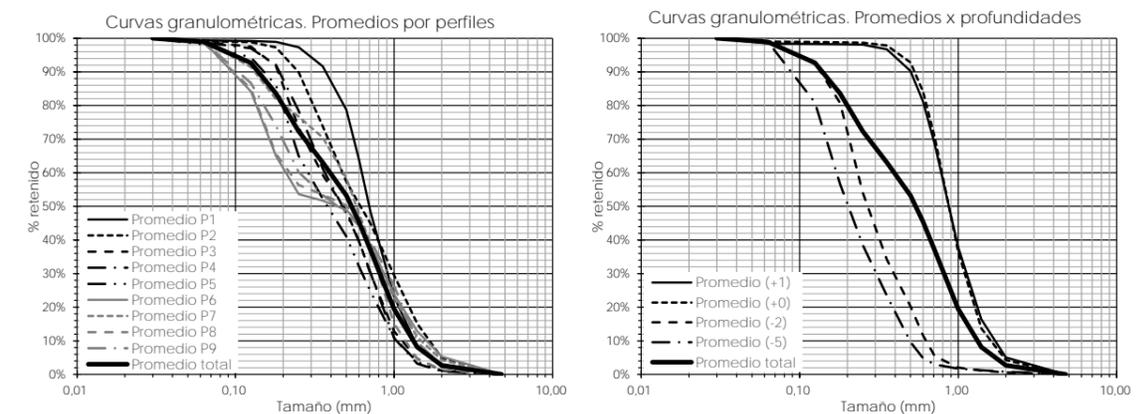


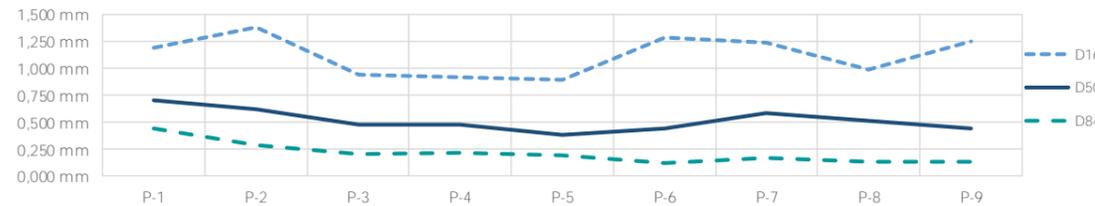
Figura 8.- Resumen de los resultados granulométricos por perfiles y profundidades (Fuente: elaboración propia)

La Tabla 1.- presenta el resumen de resultados de dichos análisis, que incluye el diámetro medio o D_{50} (el tamaño que es superado por un 50% de la muestra) y los diámetros D_{84} y D_{16} (los tamaños que son superados respectivamente por un 84% y un 16% de la muestra), así como su caracterización (arena media –AM– o arena gruesa –AG–). Puede comprobarse que la variabilidad longitudinal del tamaño de sedimento, con variaciones del D_{50} entre los 0,384 mm y los 0,698 mm.

Tabla 1.- Resumen de los resultados de los análisis granulométricos (Fuente: elaboración propia)

	Promedio del Perfil P1	Promedio del Perfil P2	Promedio del Perfil P3	Promedio del Perfil P4	Promedio del Perfil P5	Promedio del Perfil P6	Promedio del Perfil P7	Promedio del Perfil P8	Promedio del Perfil P9	Promedio todas las muestras
D_{16}	1,192 mm	1,375 mm	0,946 mm	0,922 mm	0,892 mm	1,286 mm	1,233 mm	0,989 mm	1,248 mm	1,123 mm
D_{50}	0,698 mm	0,615 mm	0,481 mm	0,476 mm	0,384 mm	0,445 mm	0,580 mm	0,509 mm	0,447 mm	0,541 mm
D_{84}	0,441 mm	0,289 mm	0,210 mm	0,221 mm	0,187 mm	0,125 mm	0,168 mm	0,128 mm	0,137 mm	0,178 mm
	AG	AG	AM	AM	AM	AM	AG	AG	AM	AG

Variación longitudinal del tamaño de sedimento



	Promedio profundid. +1	Promedio profundid. +0	Promedio profundid. -1	Promedio profundid. -5	Promedio todas las muestras
D_{16}	1,422 mm	1,359 mm	0,549 mm	0,433 mm	1,123 mm
D_{50}	0,885 mm	0,885 mm	0,272 mm	0,206 mm	0,541 mm
D_{84}	0,569 mm	0,601 mm	0,165 mm	0,114 mm	0,178 mm
	AG	AG	AM	AM	AG

Se concluye por tanto la uniformidad de las muestras tomadas longitudinalmente, que da lugar a un tamaño medio $D_{50} = 0,541$ mm, correspondiente a una arena gruesa, AG (de todos modos e recuerda que el límite entre arenas medias y gruesas está en $D_{50} = 0,5$ mm).

La Figura 9.- muestra los tamaños medios de arena en las playas del entorno. Puede apreciarse que en el caso de las playas entre El Masnou y Premià el valor está alrededor de $D_{50} = 0,5$ mm, lo cual es coherente con lo obtenido.

3.3 CONDICIONES DE LA BIOSFERA MARINA

En el documento "Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa. Lote nº 1. Demarcación Hidrográfica de Cataluña" redactado por encargo de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (DGSCM) se incluía la recopilación del estado de diferentes componentes de la costa, entre ellas la denominada componente natural (espacios protegidos, hábitats de interés, etc.). La Figura 10.- muestra el resumen del estado natural del tramo costero más próximo a la zona de estudio. Cabe destacar los siguientes elementos:

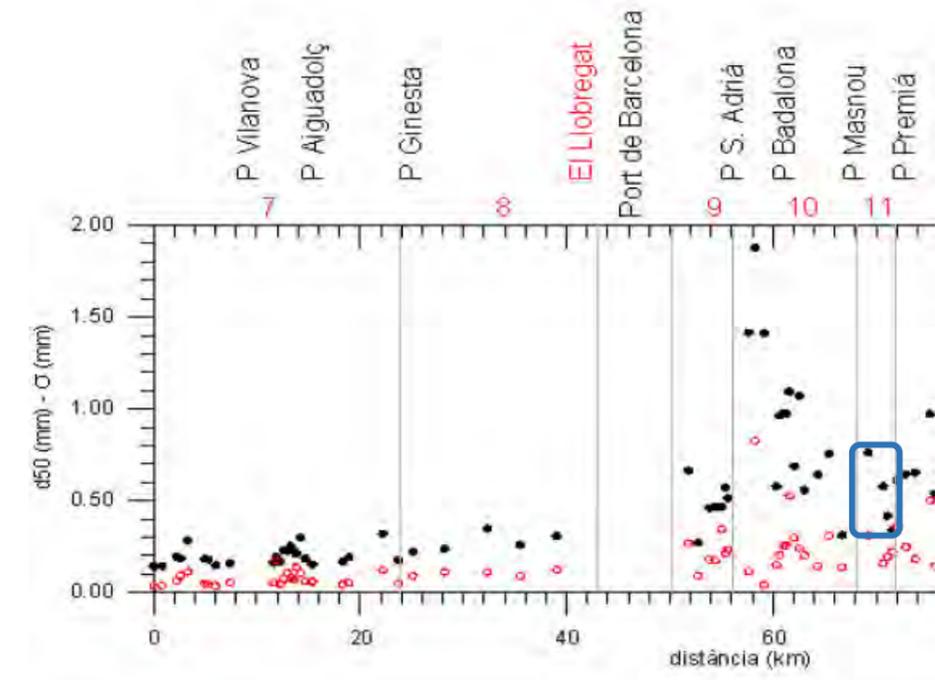


Figura 9.- Información granulométrica de las playas del entorno (Fuente: Llibre verd de l'Estat de la zona costanera a Catalunya)

- Espacio "Costes del Maresme" (ES5110017), perteneciente a la Red Natura2000 y al PEIN (Plan de Espacios de Interés Natural) de Catalunya), a unos 5.000 m del extremo oriental de la zona de estudio (ver Figura 11.-). Tiene la calificación de Lugar de Importancia Comunitaria (LIC). Se extiende a lo largo de 2.906.40 Ha frente a los términos municipales de Mataró, Sant Andreu de Llavaneres y Sant Vicenç de Montalt. desde una distancia a la costa de aproximadamente 1 km hasta los 4 km, sin entrar en contacto con la costa. Su principal característica es la presencia de extensas praderas de *Posidonia Oceanica*
- Presencia de una pradera de *Cymodocea Nodosa* frente al Puerto de Premià y a levante, así como una pequeña mancha entre los puertos de El Masnou y Premià a una profundidad de unos 15 metros. Su grado de conservación es bajo y se encuentra en estado regresivo.
- Presencia de numerosos yacimientos de arena sumergidos empleados históricamente en proyectos de regeneración de las playas del Maresme.

En el referido documento "Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa" se comenta que en las playas de la Unidad de Gestión a la cual pertenece la zona de estudio (entre el espigón de Malgrat y el arranque del dique del Puerto de Arenys) la calidad sanitaria de las aguas es de moderada a buena, el aspecto del agua es en general bueno a moderado y el aspecto del sedimento (arena) es en general de bueno.

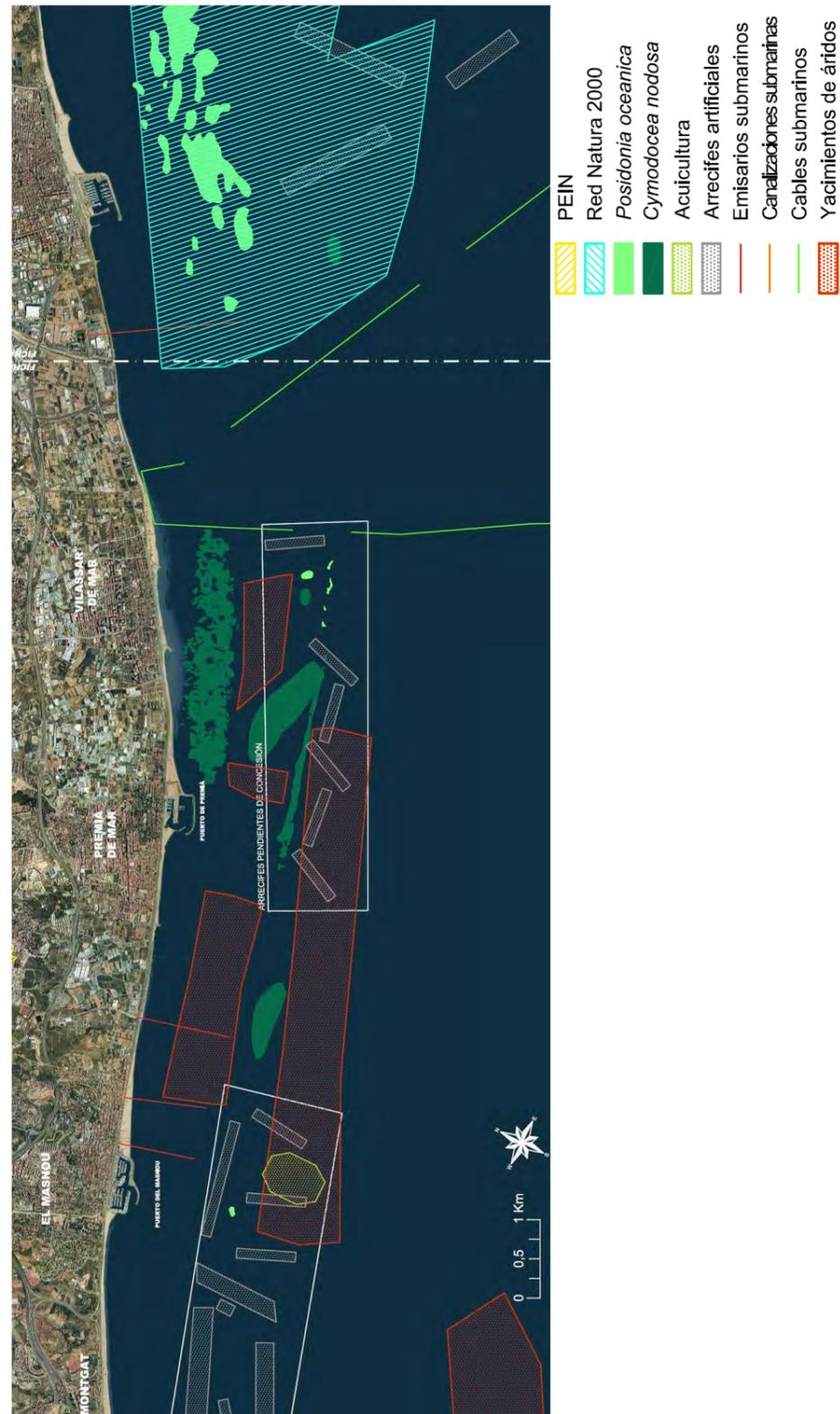


Figura 10.- Caracterización natural de la zona de estudio (Fuente: DGSCM)



Figura 11.- Espacio de la Red Natura2000 y del PEIN de Catalunya "Costes de Maresme" (Fuente: Generalitat de Catalunya)

Asimismo dicho documento concluye que en dicha Unidad de Gestión la presión sobre las aguas costeras es significativa, la calidad biológica de las aguas es buena, la calidad físico-química de las aguas es muy buena, el estado ecológico es bueno y el impacto sobre el sistema litoral se considera 'sin impacto'. Asimismo el nivel de vulnerabilidad ambiental del tramo de estudio es moderado, excepto en el entorno de la desembocadura de la riera de Argentona (bastante lejos de la zona de actuación de este proyecto).

Por otro lado como trabajos de campo (Ver Anejo nº 1 del proyecto) también se ha efectuado un estudio de caracterización del fondo marino mediante Sonar de Barrido Lateral (SBL), cuyos resultados se muestran en la Figura 12.- .

Puede apreciarse que el fondo está mayoritariamente formado por arenas con ripples y arenas finas (si bien de acuerdo a la caracterización sedimentológica corresponden con arenas medias y gruesas, tal como se ha visto).

También se ha observado la presencia de *Cymodocea Nodosa* en la mitad más oriental y cerca de la línea de costa (hasta profundidades de unos -8 metros) y que han sido marcadas con rectángulos de color rojo. En cualquier caso se trata de machas muy dispersas (ver Figura 13.-) de mucho menor consistencia que la existente a levante del Puerto de Premià (como se mostraba en la Figura 10.-).



Figura 12.- Caracterización geomorfológica del fondo marino de la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia)

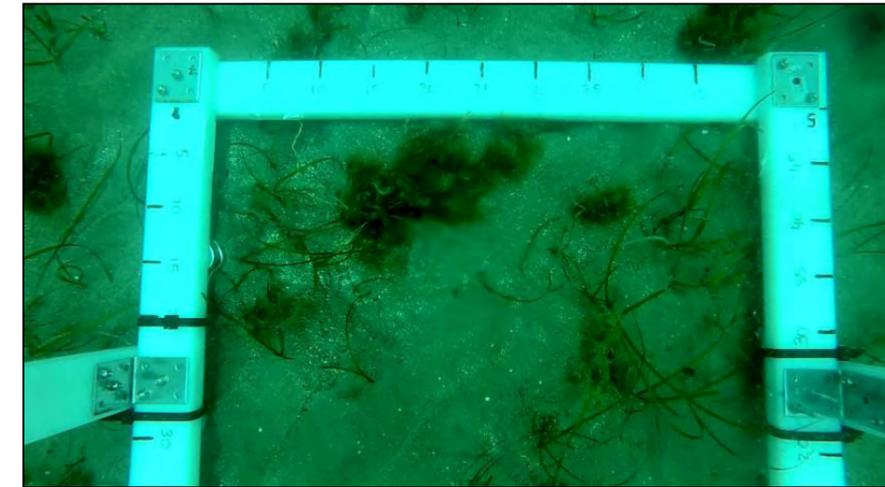


Figura 13.- Imagen de fondos de arenas con *Cymodocea nodosa* dispersa en la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia)

3.4 NOMENCLATURA DE LAS PLAYAS

Dado el gran número de playas en el tramo objeto de estudio se ha considerado adecuado reproducir en la Figura 14.- la nomenclatura de las playas de acuerdo a la DGSCM, que será la empleada en este proyecto, y que de levante a poniente son: Bellamar, Pla de l'Ós, La Descàrrega, de Ponent y Ocata.

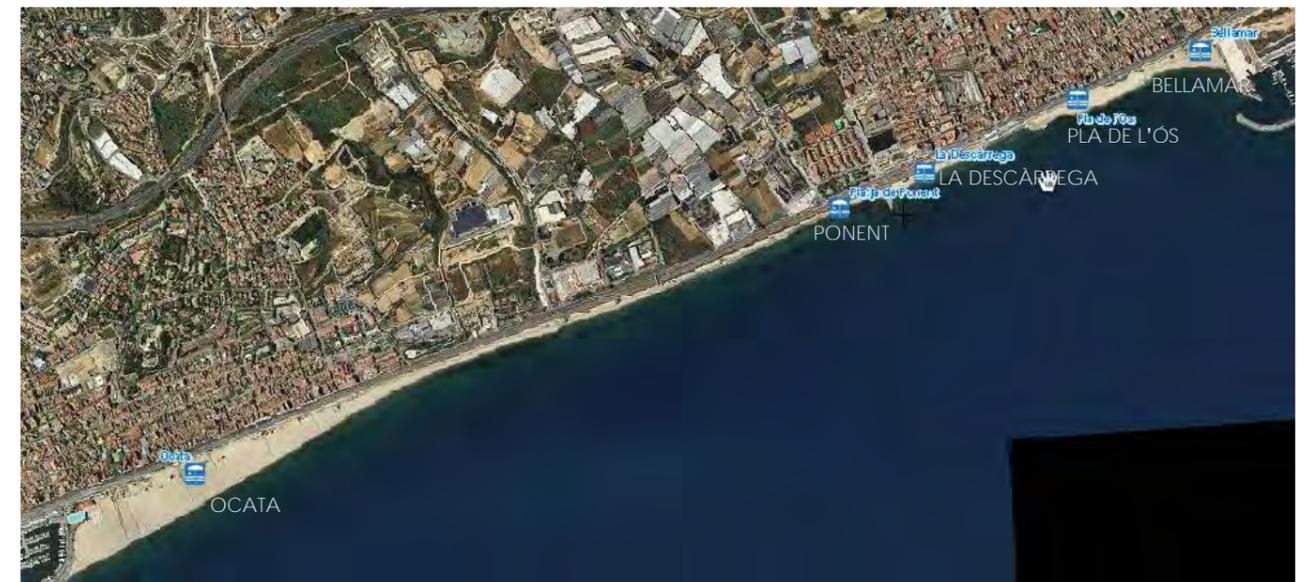


Figura 14.- Nomenclatura de las playas de la zona de estudio (Fuente: DGSCM)

4. FORMAS DE EQUILIBRIO EN PLANTA Y PERFIL

4.1 FORMAS DE EQUILIBRIO DE UNA PLAYA EN PLANTA

4.1.1 FORMULACIONES EXISTENTES

Las playas encajadas son muy frecuentes en las costas que presentan salientes, como cabos rocosos, diques, espigones, etc. Es comúnmente aceptado que las playas formadas bajo el ataque persistente de un oleaje de fondo tipo *swell* que se difracta en estos salientes (a partir de ahora polos), son las playas más estables generadas por la naturaleza.

En términos de estabilidad estas bahías están en equilibrio dinámico si se produce transporte litoral a lo largo de ellas y en caso contrario se habla de equilibrio estático.

Algunos autores (Silvester, Le Blond, Ho, Rea y Komar, Garau...) estudiaron este fenómeno, llegando a la conclusión que la configuración de equilibrio de este tipo de playas encajadas se reproducía de una forma fiel mediante una espiral logarítmica tangente a un tramo recto paralelo a los frentes del oleaje medio incidente, cuya ecuación es:

$$R = K \cdot e^{\theta \cot \alpha} = K \cdot e^{\theta \tan \varphi}$$

siendo:

- K una constante que depende del tramo angular de la espiral
- α el ángulo constante entre la tangente y el radiovector en un punto de la espiral
- θ el ángulo variable en radianes entre el origen y el radiovector de un punto determinado
- φ el ángulo complementario de α ($\varphi = 90^\circ - \alpha$)

La comprobación experimental (Garau) parecía indicar que para las playas de arena encajadas del Mediterráneo español el ángulo φ valía 30° , estando situado el polo de la espiral en el punto de difracción del oleaje.

No obstante, posteriormente se comprobó que esta curva no ajustaba con total precisión ni los puntos más alejados del polo ni los más cercanos, sirviendo exclusivamente en la zona intermedia. De hecho una configuración estable de este tipo de playas presenta en la zona más alejada del polo un tramo prácticamente rectilíneo que es tangente a una espiral logarítmica la cual enlaza a su vez con otro tramo prácticamente circular en las proximidades del polo. En condiciones de equilibrio el tramo rectilíneo es paralelo a las crestas del oleaje medio incidente. Existen formulaciones empíricas que permiten estimar cuál es la forma en planta de playas ubicadas en la zona de sombra de un cabo o elemento de protección. Hsu y Evans (1989) propusieron para la forma en planta de una playa la expresión parabólica:

$$\left(\frac{R}{R_0}\right) = C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2$$

donde:

- R_0 es la distancia entre el polo y el punto de la línea de costa más alejado del obstáculo en el que no existe influencia del polo (punto de control),
- β es el ángulo entre el frente del oleaje incidente y la línea de control, que une el polo de difracción con el punto de control (ver Figura 15.-),
- θ es el ángulo entre el frente del oleaje y el radio R (ver Figura 15.-),
- C_0 , C_1 y C_2 son unos coeficientes con unos valores universales que dependen de β (ver Figura 16.-).

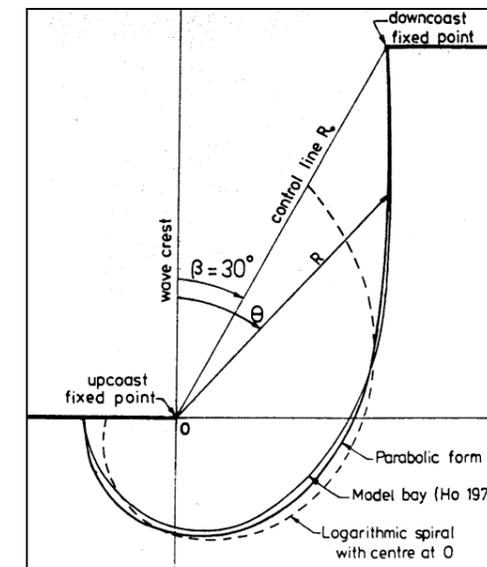


Figura 15.- Definición esquemática de la planta de una bahía en equilibrio (Fuente: Hsu y Evans)

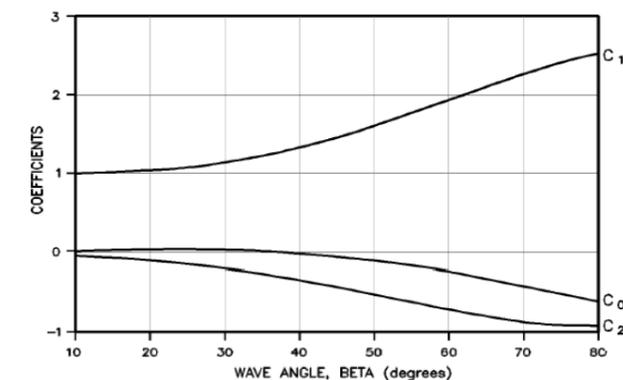


Figura 16.- Valores de los coeficientes C_0 , C_1 y C_2 de la formulación parabólica (Fuente: Hsu y Evans)

Uno de los problemas que plantea la formulación de Hsu y Evans es la ausencia de información para localizar el punto de control, es decir, el punto hasta el cual la curva definida por esta formulación es válida y a partir del cual comienza el tramo rectilíneo. González (1995) desarrolló una metodología

para el diseño de playas encajadas a partir de la formulación de Hsu y Evans que permitía determinar el valor del ángulo β , es decir, la situación del punto de control. A partir del análisis de playas encajadas de la costa atlántica y mediterránea española obtuvo la siguiente expresión para el valor de β :

$$\beta = 90^\circ - \text{atan} \left(\frac{\sqrt{1,286 + 2,268 \frac{Y}{L}}}{\frac{Y}{L}} \right) \pm 5^\circ$$

donde Y es la distancia entre el polo de difracción y el tramo rectilíneo medido en la dirección perpendicular al oleaje dominante y L es la longitud de onda en el polo calculada con el período significativo T_{s12} , es decir el superado 12 horas al año.

Esta formulación fue obtenida para playas encajadas no afectadas por desembocaduras. En las playas adyacentes a las desembocaduras la planta de equilibrio se ve modificada por la existencia del bajo exterior, por lo que, además de la difracción que puedan generar las puntas o cabos, se debe tener el efecto que dicho bajo exterior genera en la forma en planta de la playas.

Asimismo la existencia de reflexiones del oleaje en acantilados, espigones, muelles, etc., puede provocar variaciones en la forma en planta de la línea de costa no recogidas por dicha fórmula.

4.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS

La metodología anteriormente explicada va a ser la empleada para estudiar si las playas existentes en la zona de estudio están en equilibrio, para lo cual se ha utilizado el programa PLAYAS desarrollado por MARCIGLOB.

En particular se va a analizar la playa de Bellamar, situada junto entre el Puerto de Premià y un escollerado que la separa de la playa de l'Ós, y por tanto con una forma en planta que, en principio, estaría controlada por la difracción del oleaje y el extremo oriental de la playa de Ponent, situado junto al espigón que la separa de la playa de La Descàrrega y con una forma en planta que, en principio, también parece indicar que esté controlada por los procesos de difracción del oleaje.

Los parámetros que se necesitan para poder aplicar dicha formulación son la dirección del oleaje, la distancia entre el polo de difracción y la línea de costa (Y) y la longitud de onda en el polo de difracción (L) para cuyo cálculo se requiere el valor de su profundidad (d) y de $T_{s,12}$.

4.1.2.1 Definición del polo de difracción

El primer paso consiste en la definición del polo de difracción. En el caso del puerto de Premià no hay duda y el polo es el extremo de su dique, mientras que en el caso del espigón que separa las playas de La Descàrrega y Ponent existen dos opciones; el extremo del tramo emergido y el extremo del tramo sumergido.

4.1.2.2 Dirección del flujo medio de energía

El siguiente paso es la obtención de la dirección del oleaje representativo. Dado que la forma en planta de una playa no es capaz de responder instantáneamente a los cambios de dirección del oleaje y tiende a ubicarse en una posición en equilibrio con las condiciones medias energéticas del oleaje, la dirección de los frentes que ha de utilizarse en el estudio de la forma en planta es la definida por el flujo medio anual de energía, \vec{F}_p .

$$\vec{F}_p = \frac{\sum_{ij} (\vec{F}_{i,j} \times p_{i,j})}{\sum_{ij} p_{i,j}}$$

donde $\vec{F}_{i,j}$ es el flujo de energía del oleaje asociado al intervalo de altura 'i' del sector direccional 'j' y $p_{i,j}$ es el peso asociado, en este caso su probabilidad o frecuencia de presentación (ver Tablas 3, 5 y 7 del Anejo nº 2).

En el caso que se disponga de la base de datos de oleaje en alta mar, el cálculo se resuelve transformando cada registro de oleaje en alta mar en un registro a pie de playa y calculando el flujo de energía de cada registro, de manera que el flujo medio anual de energía será el promedio de los flujos de energía de todos los registros.

En el caso que no se disponga de la base de datos de oleaje en alta mar el cálculo puede realizarse de manera aproximada a partir de las tablas de encuentro H_{s0} – Dirección local y H_{s0} – T_p de acuerdo al esquema mostrado en la Figura 19.- y la siguiente metodología

- La tabla de encuentros H_{s0} - T_p es subdividida en tres tablas para tener en cuenta el efecto del período de oleaje: una asociada a $T_{p,10\%}$, otra asociada a $T_{p,50\%}$ y la tercera asociada a $T_{p,90\%}$. La frecuencia de cada caso $H_{s0,ij}$ será $f_{ij} = p_{ij} * p(T_p)$, donde p_{ij} es la probabilidad que aparece en la tabla de encuentros H_{s0} - T_p y $p(T_{p,i})$ la probabilidad asociada al período pico considerado: en el caso de $T_{p,10\%}$ es 30%, en el caso de $T_{p,50\%}$ es 40% y en el caso de $T_{p,90\%}$ es 30%.
- Los valores $H_{s0,ij}$ de cada tabla son propagados hasta la playa. Para ello en primer se obtiene el coeficiente de propagación K_p , que de acuerdo al Anejo nº 2 es función del período de oleaje y la dirección en aguas profundas $K_p = f(T_p, D_0)$, de manera que $H_{slocal,ij} = H_{s0,ij} * K_p(T_{p,i}, D_{0,ij})$. En segundo lugar se obtiene la dirección local del oleaje, que de acuerdo al Anejo nº 2 es función del período de oleaje y la dirección en aguas profundas $D_{local} = f(T_p, D_0)$, de manera que $D_{local,ij} = D_{local}(T_{p,i}, D_{0,ij})$.
- Posteriormente se calcula el flujo de energía del oleaje local, que es función de $H_{slocal,ij}$ y $D_{local,ij}$.
- Finalmente se efectúa la suma vectorial de los flujos de energía de cada caso ij, de manera que $F_x = \sum F_{x,ij} * p_{ij} * p(T_p)$ y $F_y = \sum F_{y,ij} * p_{ij} * p(T_p)$.
- La dirección del flujo medio de energía del oleaje vendrá dada por $\text{atan}(F_x/F_y)$.

Siguiendo esta metodología se ha calculado la dirección del flujo medio en 5 puntos a lo largo de la costa (ver Figura 17.-), cuyos resultados se muestran en la Figura 18.-.



Figura 17.- Puntos en los que se ha calculado la dirección del flujo medio de energía (Fuente: elaboración propia)

Fuente de datos	Punto A	Punto B	Punto C	Punto D	Punto E
SIMAR	153,0° N	149,7° N	150,1° N	151,4° N	161,1° N
WANA	150,4° N	146,9° N	148,2° N	150,1° N	157,8° N
Boya Barcelona II	142,1° N	139,3° N	140,1° N	140,8° N	145,0° N

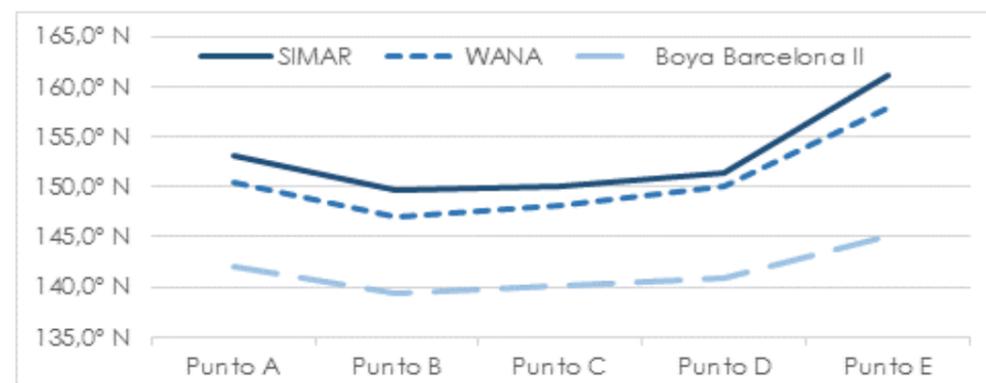


Figura 18.- Resultados de la dirección del flujo medio de energía (Fuente: elaboración propia)

Puede apreciarse que en todos los puntos los resultados obtenidos con los datos SIMAR y WANA son bastante parecidos (con diferencias entre 1° y 5°) y que en el caso de la boya Barcelona II el flujo medio tiene un ángulo menor (más orientado hacia el SE) ya que por su posición la boya infravalora los oleajes de componente SW. Se considera el promedio de los valores obtenidos con los datos SIMAR y WANA. Por otro lado, independientemente de la base de datos, los puntos centrales (B, C y D) presentan valores muy similares, mientras que en el punto A el ángulo del flujo es mayor, como consecuencia del cambio de alineación de la costa y batimetría causado por la acumulación de área en el dique del puerto de El Masnou y en el punto C el ángulo del flujo es también mayor, pero en este caso como consecuencia de la mayor refracción causada por la presencia del dique del puerto de Premià.

No obstante debe tenerse en cuenta que estos valores han sido obtenidos tras un proceso numérico, por lo que los valores reales pueden diferir en algunos grados, de modo que es recomendable probar varios valores de la dirección media de oleaje alrededor de este valor para conseguir el ajuste óptimo.

4.1.2.3 Ajustes realizados

La longitud de onda en los polos de difracción resulta ser 76,4 m (en el morro del dique, situado a -6,5 m de profundidad) y 48,7 m (en el extremo del tramo sumergido del espigón, a una profundidad de -2,5 m). Por lo que respecta a los valores de Y y de β , se obtienen gráficamente a partir del mejor ajuste obtenido y de la expresión anterior.

Los mejores ajustes se consiguieron para la dirección del flujo medio obtenido con los datos SIMAR: en el caso de la playa de Bellamar se empleó el calculado en el punto E y en el caso de la playa de La Descàrrega el promedio de los obtenidos en los puntos D y C

En la Figura 20.- se aprecia el análisis considerando como polo de difracción el extremo del dique del puerto de Premià y un punto próximo al extremo del tramo sumergido del espigón que separa las playas de La Descàrrega y Ponent (cuando el polo se hizo coincidir con el extremo del tramo sumergido el ajuste fue peor, ya que al tratarse de un polo situado en un tramo sumergido la teoría anteriormente explicada no es totalmente válida y la energía que incide por encima del tramo sumergido tiende a poner la playa paralela al flujo medio y por tanto a bascularla en sentido anti-horario). Puede apreciarse que en ambos casos el ajuste es muy bueno.

Se concluye, por tanto, la validez de la formulación de Hsu y Evans para este tramo de costa.

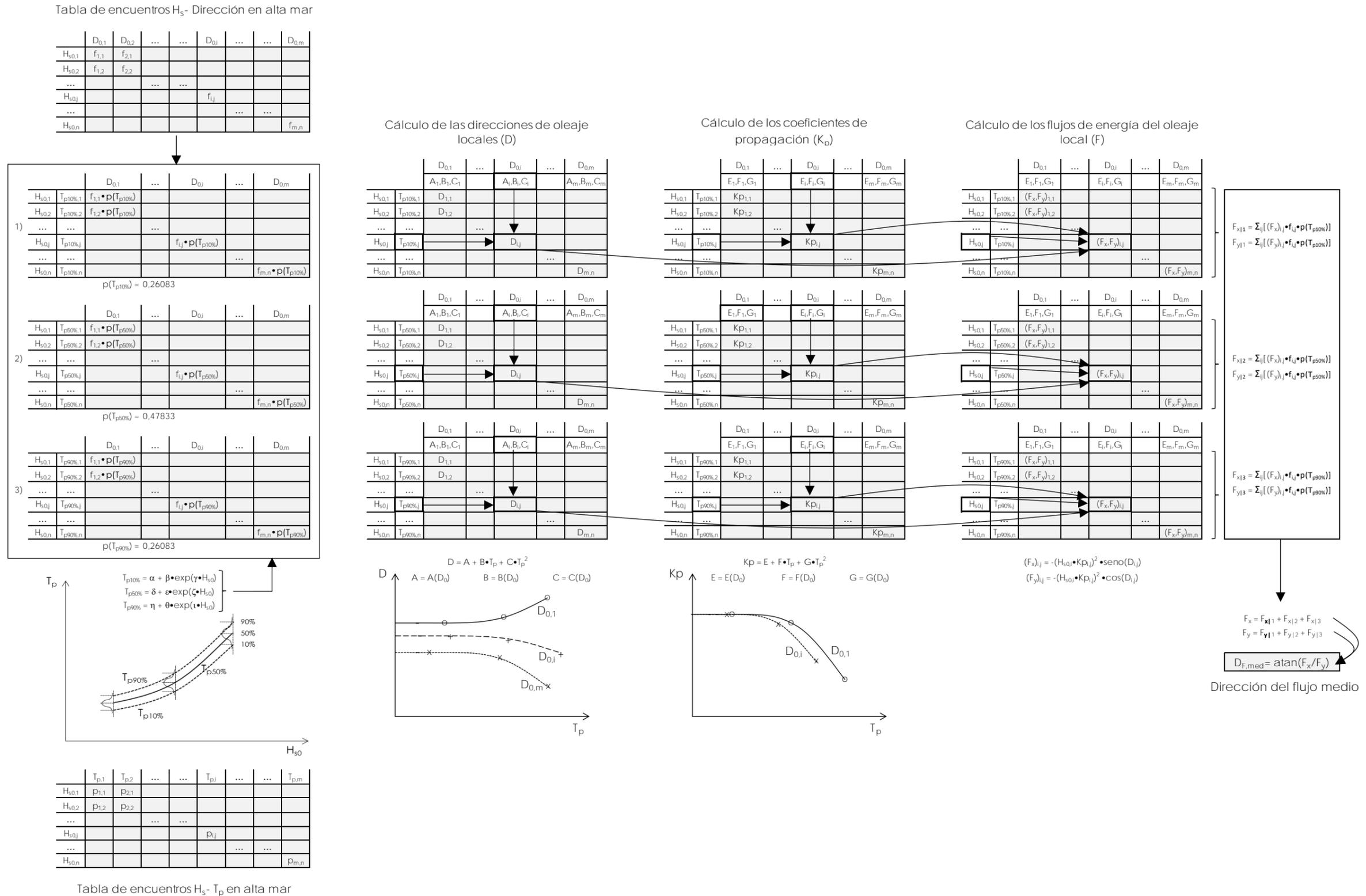


Figura 19.- Esquema aplicado para el cálculo del flujo medio de energía del oleaje (Fuente: elaboración propia)

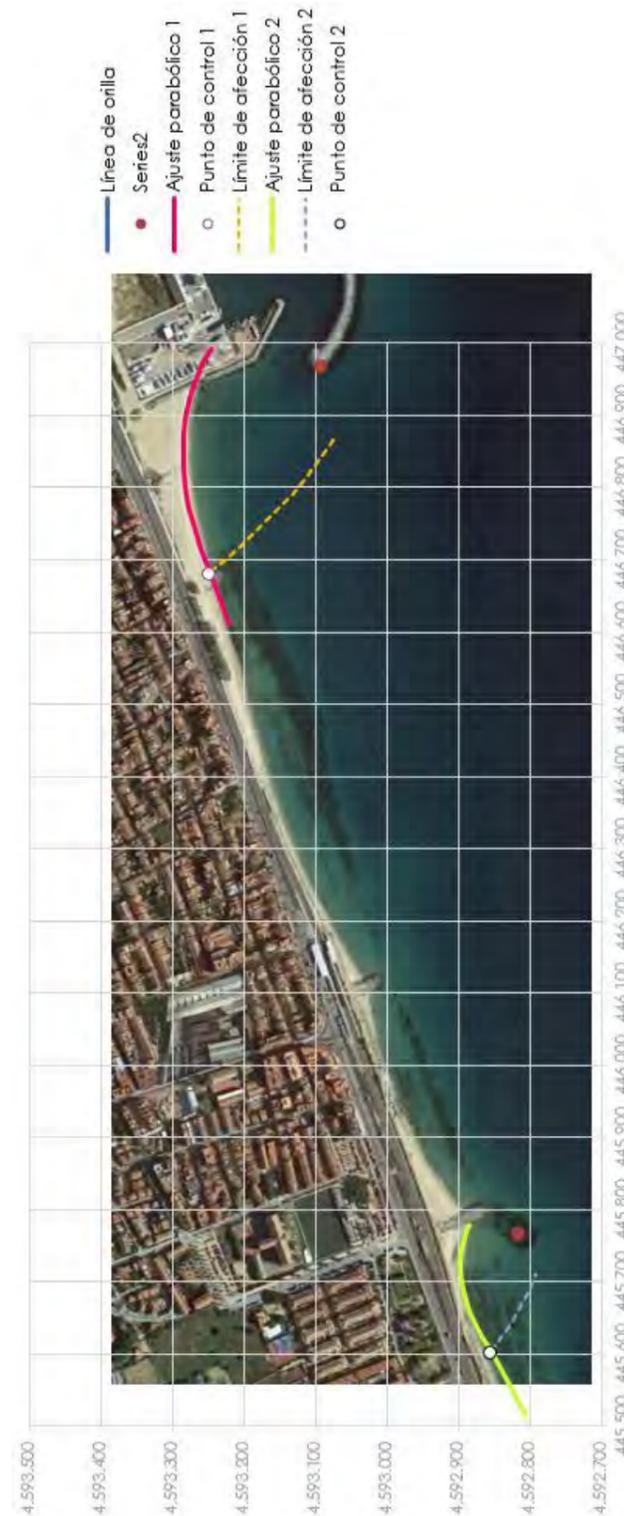


Figura 20.- Ajustes considerando los polos en el extremo del dique del puerto de Premià y en el extremo del tramo sumergido del espigón a poniente de la Playa de la Descàrrega (Fuente: elaboración propia) °

4.2 ANÁLISIS DEL PERFIL TRANSVERSAL

4.2.1 ZONIFICACIÓN DEL PERFIL DE PLAYA. PROFUNDIDADES ACTIVA Y DE CIERRE

Para poder analizar el comportamiento transversal de las playas se determina en primer lugar la zonificación de su perfil (es decir, en dirección transversal o perpendicular a la línea de costa). Hallermeier (1978) propuso una zonificación del perfil de la playa en función de la variabilidad del perfil y del tipo del transporte dominante, distinguiéndose:

- Zona litoral: en la que se producen grandes cambios del perfil debido tanto al transporte longitudinal como al transversal.
- Zona de asomeramiento o *shoal*: en la que existen pequeños cambios no despreciables en el perfil a lo largo del año fundamentalmente debido al transporte transversal.
- Zona exterior u *offshore*: en la que los cambios del perfil son despreciables.

El límite entre la zona litoral y la de asomeramiento viene dado por la profundidad activa d_i , y el límite entre ésta y la zona exterior por la profundidad de cierre d_c .

En 1978 Hallermeier propuso a partir de los resultados de unos ensayos en laboratorio una expresión para el cálculo de la profundidad activa y en 1980 presentó otra fórmula para la obtención de la profundidad de cierre.

$$d_i = 2,28H_{s12} - 68,5 \frac{H_{s12}^2}{gT_{s12}^2}$$

$$d_c = H_{sm} T_{sm} \sqrt{\frac{g}{5000D}}$$

siendo:

- H_{s12} la altura de ola significativa local superada 12 horas al año,
- T_{s12} el período significativo asociado a H_{s12} ,
- H_{sm} la altura de ola significativa local media anual,
- T_{sm} el período significativo medio anual,
- D el diámetro medio del material situado a una cota 1,50 d_i .

Birkemeier (1985) utilizando numerosos datos medidos en perfiles de playas obtuvo una expresión modificada para d_i :

$$d_i = 1,75H_{s12} - 57,9 \frac{H_{s12}^2}{gT_{s12}^2}$$

La fórmula que permite la obtención de la profundidad de cierre suele simplificarse por otra más sencilla para la cual no resulta necesario conocer las características del sedimento:

$$d_i = 3,5 \cdot H_{s12}$$

Del estudio de clima marítimo (ver Anejo nº 2) se pueden obtener la altura de ola significativa con probabilidad de ocurrencia de 12 horas/año en aguas profundas así como su periodo asociado teniendo en cuenta la correlación $H_s - T_p$ correspondiente y suponiendo que $T_s = T_p$. Finalmente a partir de los coeficientes de propagación obtenidos (ver Anejo nº 3) pueden calcularse los valores de $H_{s,12}$ locales para cada dirección. En la Tabla 2.- se recogen todos los datos anteriores asociados a las direcciones incidentes sobre la playa, así como las profundidades activa y de cierre obtenidas para cada fuente de datos de oleaje disponible.

A efectos de estabilidad del perfil de playa, conviene quedarse con el mayor de estos valores, que corresponde al oleaje del ESE de los datos SIMAR. Por lo tanto:

$$H_{s12,local} = 2,70 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad activa, } d_i^1 = 5,62 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad de cierre } d_i = 9,45 \text{ m}$$

En la aplicación del perfil de equilibrio, es usual adoptar como valor de profundidad de cierre el límite de la zona litoral d_i , denominándola h^* , que en este caso se sitúa en los 5,62 metros.

De la información batimétrica (ver Figura 21.-) se deduce que el Puerto de Premià supera la profundidad activa, lo que supone una barrera total capaz de interrumpir todo el transporte longitudinal. En el caso del Puerto de El Masnou, si bien, el levantamiento no ha llegado hasta el extremo de su dique, todo parece indicar que no alcanza dicha profundidad activa y por tanto no es capaz de interrumpir todo el transporte longitudinal, lo cual es coherente con los dragados periódicos de mantenimiento que deben realizarse en su bocana.

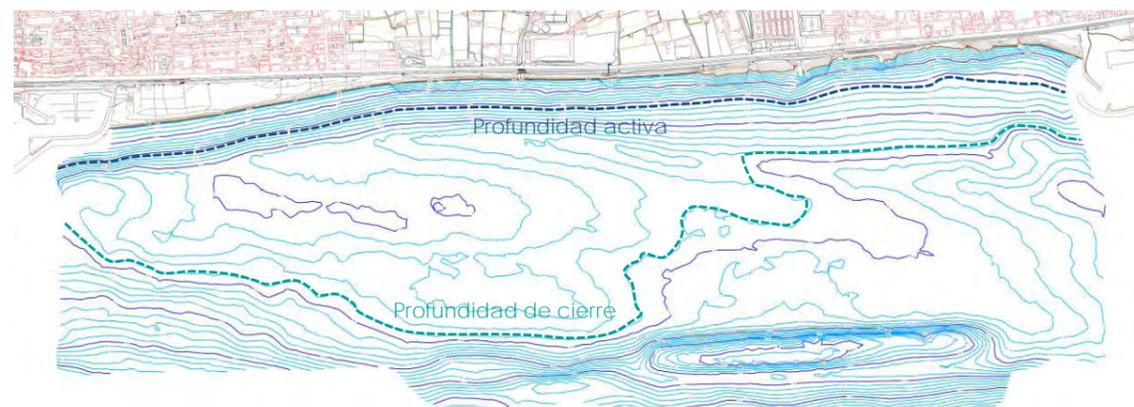


Figura 21.- Localización de la profundidad activa en la zona de estudio (Fuente: elaboración propia)

¹ Se ha tomado el valor obtenido con la formulación de Hallermeier, ya que, tal como se ve más adelante, en este caso es la que mejor ajusta a la realidad.

Tabla 2.- Profundidades activa y de cierre para diferentes direcciones de oleaje incidentes (Fuente: elaboración propia)

Boya Barcelona II										
A	B	C	Dirección	$H_{s12,0}$	T_{p12}	$K_r \times K_s$	$H_{s12,local}$	$d_i = h^*$ (Hallermeier)	$d_i = h^*$ (Birkemeier)	d_i
0,85	0,18	1,48	ENE	3,22 m	8,8 s	0,405	1,30 m	2,82 m	2,15 m	4,56 m
0,80	0,2	1,21	E	4,00 m	9,6 s	0,657	2,63 m	5,47 m	4,16 m	9,20 m
0,64	0,15	1,29	ESE	2,91 m	8,4 s	0,81	2,36 m	4,83 m	3,66 m	8,25 m
0,38	0,23	1,22	SE	2,01 m	7,3 s	0,9	1,81 m	3,70 m	2,81 m	6,34 m
0,29	0,24	1,04	SSE	2,02 m	7,3 s	0,933	1,88 m	3,83 m	2,91 m	6,59 m
0,50	0,14	1,51	S	1,88 m	7,2 s	0,899	1,69 m	3,47 m	2,63 m	5,93 m
0,60	0,18	1,38	SSW	2,53 m	8,0 s	0,771	1,95 m	4,03 m	3,06 m	6,84 m
0,59	0,21	1,57	SW	2,17 m	7,5 s	0,541	1,17 m	2,51 m	1,91 m	4,11 m

SIMAR 2068051										
A	B	C	Dirección	$H_{s12,0}$	T_{p12}	$K_r \times K_s$	$H_{s12,local}$	$d_i = h^*$ (Hallermeier)	$d_i = h^*$ (Birkemeier)	d_i
0,44	0,19	0,78	ENE	5,13 m	10,6 s	0,402	2,06 m	4,44 m	3,39 m	7,22 m
0,60	0,08	1,13	E	3,26 m	9,9 s	0,672	2,19 m	4,66 m	3,55 m	7,68 m
0,79	-0,05	1,37	ESE	3,08 m	9,8 s	0,877	2,70 m	5,62 m	4,28 m	9,45 m
0,29	0,21	0,93	SE	2,41 m	9,2 s	0,97	2,34 m	4,88 m	3,71 m	8,19 m
0,21	0,2	0,87	SSE	2,04 m	8,7 s	0,987	2,01 m	4,21 m	3,20 m	7,03 m
0,32	0,11	1,01	S	2,18 m	8,9 s	0,952	2,08 m	4,35 m	3,31 m	7,27 m
0,40	0,15	1	SSW	2,79 m	9,5 s	0,833	2,32 m	4,88 m	3,71 m	8,13 m
0,37	0,16	1,16	SW	2,04 m	8,7 s	0,499	1,02 m	2,23 m	1,70 m	3,56 m

WANA 2114138										
A	B	C	Dirección	$H_{s12,0}$	T_{p12}	$K_r \times K_s$	$H_{s12,local}$	$d_i = h^*$ (Hallermeier)	$d_i = h^*$ (Birkemeier)	d_i
0,26	0,34	0,72	ENE	3,91 m	9,9 s	0,388	1,52 m	3,29 m	2,52 m	5,31 m
0,73	-0,01	1,17	E	3,65 m	9,7 s	0,661	2,41 m	5,07 m	3,86 m	8,44 m
0,61	0,09	1,23	ESE	2,92 m	9,2 s	0,839	2,45 m	5,08 m	3,86 m	8,56 m
0,27	0,22	0,96	SE	2,15 m	8,3 s	0,924	1,98 m	4,13 m	3,14 m	6,94 m
0,25	0,23	0,87	SSE	2,41 m	8,7 s	0,987	2,38 m	4,91 m	3,73 m	8,34 m
0,39	0,11	1,03	S	2,54 m	8,8 s	0,947	2,41 m	4,97 m	3,77 m	8,43 m
0,43	0,12	1	SSW	2,96 m	9,2 s	0,811	2,40 m	4,99 m	3,79 m	8,39 m
0,51	0,11	1,3	SW	2,29 m	8,5 s	0,496	1,13 m	2,46 m	1,88 m	3,97 m

4.2.2 PERFIL DE EQUILIBRIO

4.2.2.1 Formulaciones existentes

Se define perfil de playa como la variación de la profundidad del agua, d , con la distancia desde la línea de costa, x , en dirección perpendicular a la misma:

$$d = f(x)$$

El concepto de "perfil de equilibrio" ha sido definido por diversos autores. Así la Enciclopedia de Playas y Costas (Schwartz, 1982) lo define como "un perfil batimétrico que se produce por un clima marítimo y con un tipo de sedimento particular". Dean (1991) lo define como "el balance entre fuerzas

constructivas y destructivas que ocurre en condiciones de oleaje estacionario para un sedimento particular".

Larson (1991) describe el perfil de equilibrio afirmando que "una playa con un tamaño de grano concreto expuesta a unas condiciones de oleaje constantes desarrollará un perfil que no evoluciona en el tiempo".

Evidentemente un perfil tal como está descrito en el párrafo anterior sólo puede ser obtenido en laboratorio, donde se puede fijar el oleaje incidente. En la naturaleza la variación del nivel del mar y del oleaje es constante y por lo tanto un perfil de equilibrio en sentido estricto no existe nunca. No obstante, dado que las variaciones de los diferentes agentes (oleaje, corrientes y mareas) están en principio acotadas, también lo estará la variabilidad del perfil, pudiéndose admitir en la naturaleza la existencia de una situación modal o perfil de equilibrio que sufre variaciones en función del clima marítimo existente. Más aún, es posible reconocer períodos en los que las condiciones de oleaje pueden considerarse constantes y bajo estas condiciones la playa puede desarrollar un perfil de equilibrio.

4.2.2.1.1 Perfil de Dean

Se han realizado numerosos trabajos tanto en laboratorio como en el campo con objeto de analizar y cuantificar el concepto de perfil de equilibrio. Bruun (1954) analizó perfiles de playa de la costa danesa del mar del Norte y de Mission Bay (California) y encontró que la media de los perfiles podía ser ajustada mediante la relación:

$$h = A x^{2/3}$$

Dean (1977) analizó 504 perfiles a lo largo de la costa atlántica de los Estados Unidos desde Long Island hasta Méjico y los ajustó por medio de mínimos cuadrados a la expresión

$$h = A x^n$$

obteniéndose valores $0,1 < n < 1,4$ y $0,025 < A < 6,31$. El error cuadrático fue del 16 % y el valor medio del exponente $n = 0,67$, análogo al de Bruun. Dean rehizo el análisis del ajuste fijando $n = 2/3$ y encontró que la dispersión de los valores de A se reducía considerablemente, estando el 99 % de los valores en el rango $0,0 < A < 0,3$. Otros autores han obtenido valores diferentes del parámetro n. Así por ejemplo, Wright et al. (1982) propusieron $n = 2/5$, Boon y Green (1989) $n = 1/2$, Vellinga (1984) $n = 0,78$, etc. Existen al menos tres posibles vías de investigación para el desarrollo de una teoría para la determinación del perfil de equilibrio:

- Aproximación cinemática: en la que se intenta determinar el movimiento de las partículas de sedimento (en suspensión o por fondo) mediante la descripción de las fuerzas que actúan sobre ellas.
- Aproximación dinámica: en la que se plantea un balance macroscópico de fuerzas constructivas y destructivas.

- Aproximación empírica: que es puramente descriptiva y representa el intento de ajustar el perfil de playas a las formas más comunes encontradas en la naturaleza, utilizando parámetros determinados mediante ajustes o técnicas de análisis dimensional.

Es posible obtener el perfil potencial $h = A \cdot x^{2/3}$ a través de cualquiera de estos tres tipos de aproximaciones. Moore (1982) revisó los 504 perfiles analizados por Dean incorporando la información sobre el tamaño de sedimento, además de un gran número de ensayos de laboratorio, obteniendo una gráfica en la que el parámetro A era función del tamaño medio de grano, D_{50} .

Dean (1987) transformó los datos de Moore expresando A en función de la velocidad de caída del grano 'w' (expresada en m/s) y encontró la relación:

$$A = 0,51 \cdot w_f^{0,44}$$

Posteriormente Hanson y Kraus (1989) aproximaron dicha curva a las siguientes expresiones en las que D_{50} está expresado en mm:

$A = 0,41 \cdot D_{50}^{0,94}$	si	$D_{50} < 0,4$
$A = 0,23 \cdot D_{50}^{0,32}$	si	$0,4 < D_{50} < 10$
$A = 0,23 \cdot D_{50}^{0,28}$	si	$10 < D_{50} < 40$
$A = 0,46 \cdot D_{50}^{0,11}$	si	$D_{50} > 40$

Kriebel et al. (1991) por medio de argumentos energéticos propuso una relación

$$A = 1,05 \cdot w_f^{2/3}$$

Según el *Shore Protection Manual*, la velocidad de caída del grano "w_f" se puede calcular, de modo aproximado y para arenas con densidad $\rho = 2,65 \text{ t/m}^3$, adoptando las siguientes expresiones:

$w_f \text{ (m/s)} = 1,1 \cdot 10^6 \cdot D \text{ (m)}^2$	$D < 0,1 \text{ mm}$
$w_f \text{ (m/s)} = 273 \cdot D \text{ (m)}^{1,1}$	$0,1 \text{ mm} < D < 1 \text{ mm}$
$w_f \text{ (m/s)} = 4,36 \cdot D \text{ (m)}^{0,5}$	$D > 1 \text{ mm}$

donde D está expresado en metros y w_f en m/s.

4.2.2.1.2 Perfil de equilibrio con modelo de disipación en la zona de rotura

En el caso que en la zona de rotura se aplique el modelo de disipación de Dally (1985) se obtiene la siguiente expresión:

$$h = m \cdot x \quad \text{para } h < h_r$$

$$h = A \cdot (x - x_0)^{2/3} \quad \text{para } h > h_r$$

donde

- A es el parámetro de la formulación de Dean,
- h_T es la profundidad de transición entre el tramo lineal y el parabólico, calculada como $h_T = (4 \cdot A^3) / (9 \cdot m^2)$,
- $x_0 = h_T / m - (h_T / A)^{3/2}$,
- m es la pendiente del tramo lineal, pudiéndose emplear para el valor de 'm' la expresión de Kriebel (1991) $m = 0,15 \cdot (w_T \cdot T / H)^{0,5}$, siendo H y T la altura de ola y el período de oleaje respectivamente.

Puede apreciarse que lejos de la línea de orilla este perfil es paralelo al de Dean y que cerca de la línea de orilla el perfil se caracteriza por ser rectilíneo, es decir, por tener un estrán lineal.

4.2.2.1.3 Perfil en playas con refracción y difracción

En el caso que se produzca una cesión lateral de energía debida a la refracción, las hipótesis del perfil de Dean (1977) ya no son válidas. Si se considera válida una variación lineal de la distancia entre ortogonales, es decir, $L(x) = L_0 + 2 \cdot m \cdot (W - x)$ tal como se muestra en la siguiente figura, el GIOC de la Universidad de Cantabria concluyó que podía aplicarse la fórmula de Dean con un parámetro $A_p(x)$.

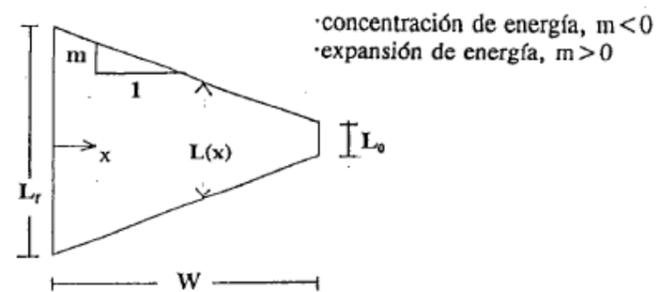


Figura 22.- Definición de los parámetros intervinientes en la formulación del perfil de equilibrio con refracción (Fuente: GIOC)

Por lo tanto,

$$h = A_p(x) \cdot x^{2/3}$$

donde $A_p(x)$ puede obtenerse de la expresión

$$A_p(x) = A \cdot [1/K_r^2 \cdot (1 - 0,5 \cdot x/W) + 0,5 \cdot x/W]^{2/3}$$

siendo

- A el parámetro de Dean (1987),
- K_r el coeficiente de refracción, definido como $[L_0/L(x)]^{0,5}$,

- W la distancia perpendicular a la costa del donde comienza la variación lineal de K_r .

Puede comprobarse que si $K_r < 1$ (es decir, en una zona de expansión del oleaje) $A_p/A > 1$, lo que significa que la pendiente del perfil es mayor, ya que la energía incidente por metro lineal es menor

En el caso que adicionalmente tenga lugar una difracción en un obstáculo y pueda considerarse válido que

- la difracción es solamente dominante en las proximidades del espigón (del orden de una longitud de onda), donde se ubica el primer frente con una anchura $B_0 = r_0 \cdot \theta$ (de acuerdo con la Figura 23.-) y que
- a partir de este punto la refracción es dominante, cumpliéndose que $B(x) = (r_0 + W - x) \cdot \theta = (r - x) \cdot \theta$, donde r es la distancia entre el polo y la línea de orilla en el perfil de interés.

resulta válida la formulación anterior del perfil con refracción, considerando para $A_p(x)$ la siguiente expresión

$$A_p(x) = A \cdot [1/K_r^2 \cdot (1 - 0,5 \cdot x/W) + 0,5 \cdot x/W]^{2/3}$$

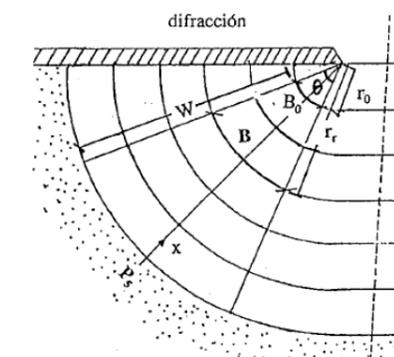


Figura 23.- Definición de los parámetros intervinientes en la formulación del perfil de equilibrio con refracción (Fuente: GIOC)

En este caso W es la distancia entre la orilla y la profundidad activa $h_c = d_i$ en el perfil de estudio, que puede calcularse a través de la expresión

$$[0,5 \cdot r / (r - W) + 0,5]^{2/3} \cdot A \cdot W^{2/3} = 1,8 \cdot K_D \cdot H_{s12,P}$$

donde

- $H_{s12,P}$ es el valor de H_{s12} en el polo de difracción,
- K_D es el coeficiente de difracción en el punto de rotura de H_{s12} en el perfil de estudio,
- r es la distancia entre el polo y la línea de orilla en el perfil de interés.

Una vez obtenido W, puede calcularse K_r como

$$K_r^2 = (r - W)/r$$

4.2.2.1.4 Perfil en playas con reflexión

Para perfiles de playas no totalmente disipativas y que por tanto provocan una reflexión parcial del oleaje, González (1995) propuso la expresión

$$x = (h/A)^{3/2} + 9/2 \cdot B \cdot (h/A)^3$$

siendo A y B unos parámetros que pueden ser calculados de acuerdo a las siguientes expresiones obtenidas por Bernabeu et al. (1997):

$$B = 32 \cdot 10^{-4} \cdot \exp[-0,44 \cdot (H/(w_r \cdot T))]$$

$$A = k \cdot w_r^{0,44}$$

$$k = 0,47 + 0,68 \cdot \exp[-0,44 \cdot (H/(w_r \cdot T))]$$

donde H, w_r y T ya se han explicado anteriormente.

4.2.2.2 Aplicación de los perfiles de equilibrio a la playa existente

A partir del tamaño medio de grano de los análisis de las muestras granulométricas obtenidas en cada uno de los 9 transeptos, se han calculado diferentes perfiles de equilibrio: Dean (empleando para el cálculo del parámetro A las expresiones de Dean y de Hanson & Kraus), con estrán lineal (es decir, con modelo de disipación en la zona de rotura) y con reflexión. Dichos perfiles teóricos se han comparado con los perfiles reales en cada uno de dichos transeptos, obtenidos del levantamiento batimétrico. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 24.-.

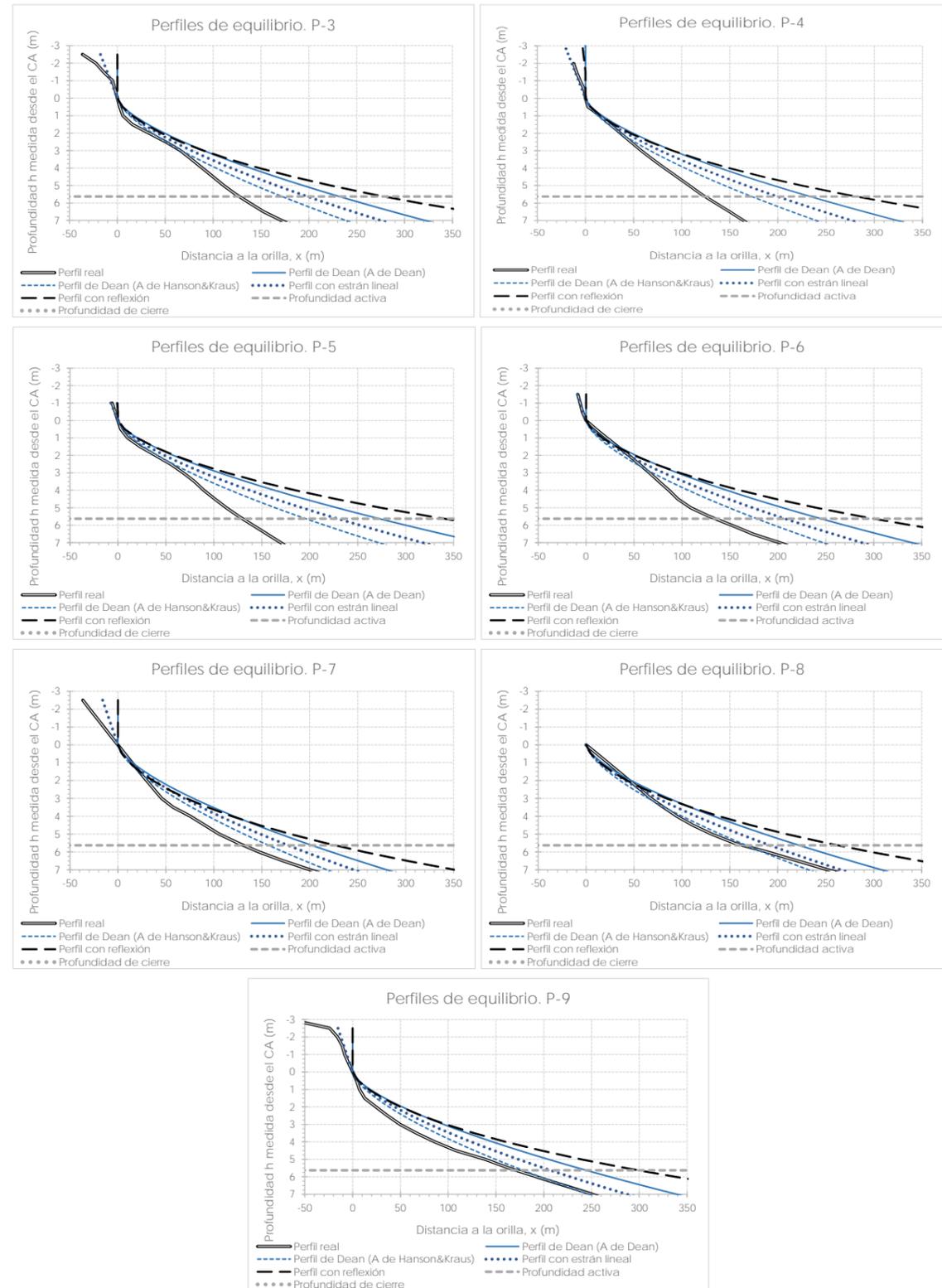
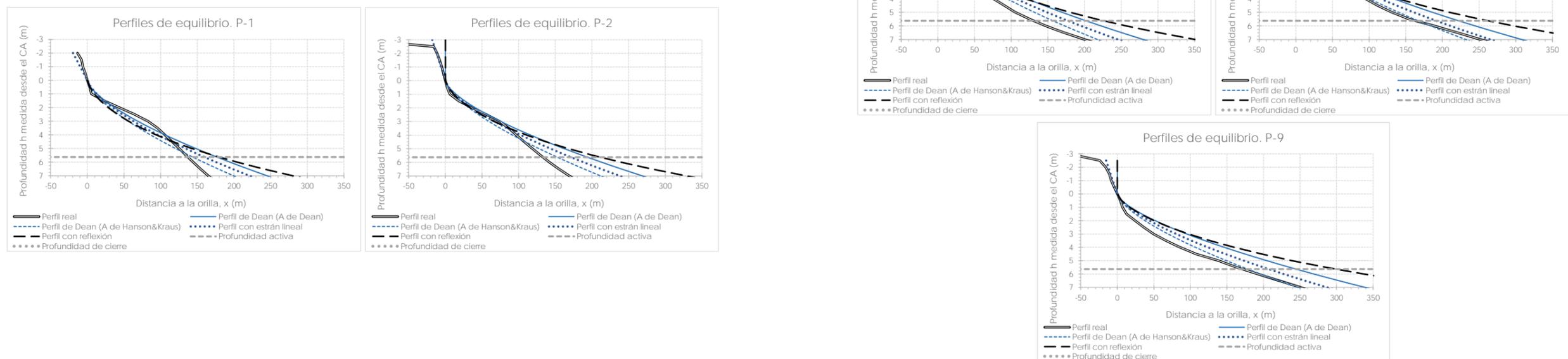


Figura 24.- Perfiles medidos vs perfiles de equilibrio en la zona de estudio (Fuente: elaboración propia)

Puede apreciarse que el ajuste del perfil teórico de Dean con el parámetro A obtenido mediante la expresión de Hanson & Kraus ajusta bastante bien en el caso de los perfiles P-1, P-2, P-8 y P-9 en términos de distancia perpendicular a la costa a la cual se alcanza la profundidad activa (límite de aplicación del perfil), si bien en el caso del perfil P-1 la presencia del dique del puerto de El Masnou provoca una distorsión en forma de concavidad del perfil. En el caso de los perfiles P-3 a P-7 el perfil real tiene una mayor pendiente que el teórico (especialmente en el caso de los 3 primeros). Una posible explicación de esta diferencia es que en las zonas con mayor presencia de arena los perfiles reales y teórico es menor. Mientras que en las zonas más erosionadas la diferencia entre perfiles es mucho mayor, lo que implicaría además de una pérdida de arena en la línea de orilla una mayor "verticalización" del perfil, es decir, una mayor pérdida de arena en profundidades mayores.

De todos modos debe tenerse en cuenta la gran variabilidad de este tramo de costa: de hecho los temporales de principios de 2016, con gran componente de oleaje del SW, provocaron acumulaciones a poniente de los obstáculos (al revés de lo que suele suceder) que fueron contrarrestadas por los oleajes de los meses siguientes, volviendo a una situación más habitual (como se pudo comprobar en el levantamiento topo-batimétrico). Esta gran movilización de sedimento en tan poco tiempo no siempre puede realizarse a lo largo de todo el perfil. De hecho la gran variabilidad de sedimento a lo largo del tramo de playa (ver Tabla 1.-) no es proporcional a la variabilidad de la batimetría (como puede comprobarse en la Figura 25.- , en la que se muestra una comparación de los perfiles batimétricos P-1 a P-9, así como el promedio de todos ellos.

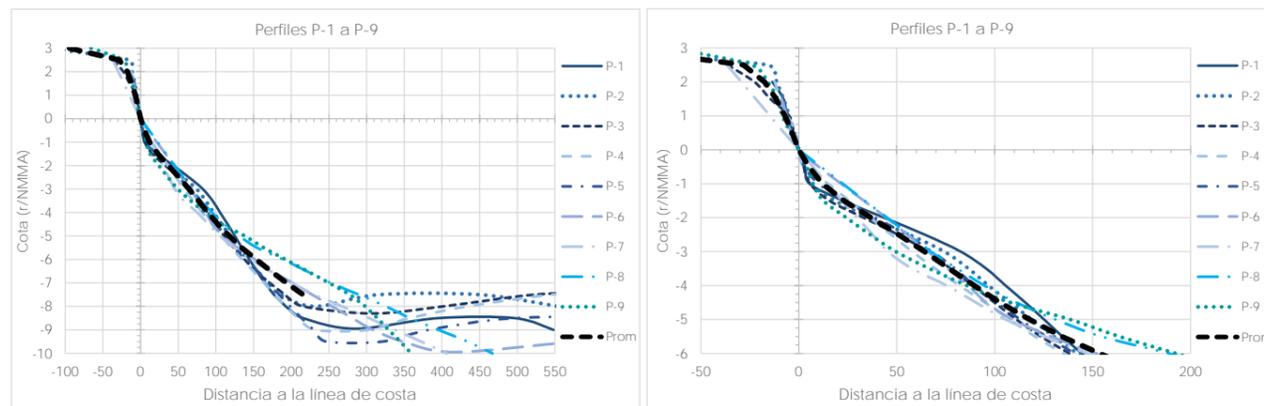


Figura 25.- Comparación de los perfiles batimétricos P-1 a P-9 y de su promedio. (Fuente: elaboración propia)

Por todo ello también se ha efectuado la comparación entre el perfil batimétrico promedio y el perfil teórico obtenido a partir del tamaño medio de todas las muestras en la zona de estudio, que se muestra en la Figura 26.- . Puede apreciarse que el perfil teórico que mejor se ajusta es el de Dean con el parámetro A obtenido mediante la expresión de Hanson & Kraus, si bien puede comprobarse que este último presenta una pendiente ligeramente mayor. Por consiguiente considerar dicho perfil teórico en este caso quedaría ligeramente del lado de la seguridad en la cubicación de volúmenes de arena necesarios para la regeneración de playas.

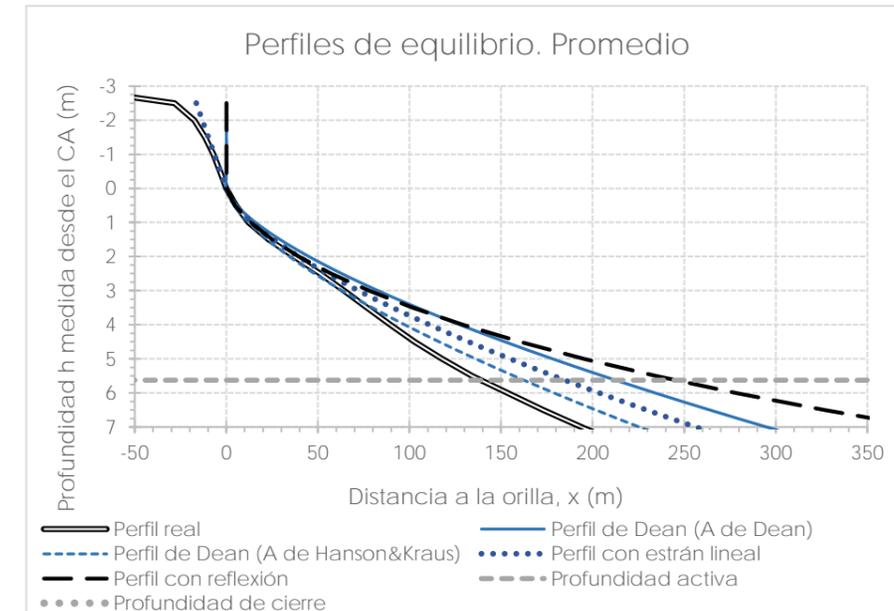


Figura 26.- Perfil promedio vs perfiles de equilibrio en la zona de estudio (Fuente: elaboración propia)

Por lo que respecta a la zona emergida, puede apreciarse que el ajuste del perfil teórico de estrán lineal (es decir, con modelo de disipación en la zona de rotura) ajusta muy bien al perfil real (salvo en el P-7).

Por todo ello en el diseño de las actuaciones se utilizará el perfil con modelo de disipación en la zona de rotura empleando para el cálculo del parámetro A la expresión de Hanson & Kraus.

5. ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DEL TRANSPORTE LITORAL

5.1 METODOLOGÍAS PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS

La obtención de la tasa del transporte de sedimentos en dirección longitudinal a la costa como consecuencia de las corrientes inducidas por la rotura del oleaje es fundamental para el correcto conocimiento de la dinámica litoral del tramo de costa que se está considerando en el presente estudio.

Para obtener la capacidad de transporte del oleaje, existen los siguientes procedimientos de cálculo:

- La medida directa, "in situ".
- La cubicación de volúmenes retenidos por obras (diques, espigones) situados en los alrededores.
- La determinación de erosiones y acumulaciones en la línea de costa mediante fotografías aéreas a lo largo del tiempo.
- Ensayos a escala reducida.
- Empleo de formulaciones analíticas.
- Estudio mediante modelos matemáticos.

El primer método, el de medida directa, no se utiliza debido al elevado coste que supone llevarlo a cabo y el excesivo plazo de tiempo que es necesario invertir.

La cubicación de volúmenes retenidos por las obras de defensa es un método de gran utilidad y muy utilizado a pesar de que no siempre es posible aplicarlo debido a la inexistencia de obstáculos naturales suficientemente próximos a la zona de estudio o por no disponer de levantamientos topográficos y batimétricos con suficiente precisión para analizar su evolución temporal.

La cuantificación del transporte sólido a partir de las variaciones producidas en la línea de costa debido a las erosiones y acumulaciones del material de las playas mediante restituciones fotogramétricas de fotografías aéreas es un método que resulta aceptable en muchos casos debido a la simplicidad del proceso y a los resultados bastante aceptables. No obstante el método presenta diversos inconvenientes. Por un lado, las restituciones fotogramétricas se realizan sin tener en cuenta ni los efectos de las mareas astronómica y meteorológica, ni el oleaje, ni la época en la que se realizó la fotografía, por lo tanto, no se tiene en cuenta las diferencias en la línea de orilla debidas al cambio de estación. Por otro lado, dichas restituciones no tienen información acerca del fondo marino ni acerca de las batimétricas, además de introducir los errores propios de la restitución fotogramétrica, que pueden cifrarse en variaciones de la línea de costa de ± 3 m o incluso mucho más.

Los ensayos a escala reducida en piscinas de oleaje presentan el inconveniente de que resultan muy costosos y además se debe tener especial cuidado con el mantenimiento de una correcta similitud de las escalas de ensayo, sin embargo son muy útiles para establecer cálculos en cuanto a estabildades.

El empleo de formulaciones analíticas es probablemente el método más empleado por su sencillez y rápida implementación. Además existen numerosas formulaciones que pueden ser empleadas con objeto de obtener un cierto rango de variabilidad.

El cálculo del transporte de sedimentos mediante modelos matemáticos es una herramienta muy potente y relativamente poco costosa que permite una obtención rápida y fiable de la capacidad teórica de transporte, que de todas formas debe ser calibrada correctamente.

En este proyecto se ha determinado la capacidad de transporte del oleaje la combinación de dos de estos procedimientos: el empleo de formulaciones analíticas y el modelado numérico.

5.2 CÁLCULO DEL TRANSPORTE LONGITUDINAL MEDIANTE FORMULACIONES

5.2.1 INTRODUCCIÓN

El transporte longitudinal potencial de sedimentos puede expresarse en términos del volumen total de sedimento transportado, esto es, incluyendo los huecos entre partículas (Q_i) o en términos del peso sumergido de sedimento transportado (l_i), que se relacionan mediante la siguiente expresión:

$$l_i = (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot (1 - n) \cdot Q_i \quad [N/s]$$

donde

- ρ_s es la densidad del sedimento (habitualmente 2.650 kg/m^3 , si bien en este caso los resultados de los análisis de las muestras obtenidas 'in situ' indican un valor de 2.630 kg/m^3).
- ρ es la densidad del agua (habitualmente 1.025 kg/m^3)
- n es la porosidad del sedimento (habitualmente $n = 40 \%$, si bien en este caso los resultados de los análisis de las muestras obtenidas 'in situ' indican un valor $n = 41,44 \%$).

Se habla de transporte potencial (o capacidad de transporte), ya que para producirse debe haber suficiente sedimento en el tramo de costa analizado y los eventuales obstáculos existentes en la costa (espigones, diques, cañones submarinos...) no deben poder ralentizar o detener dicho flujo sedimentario.

5.2.2 PRINCIPALES FORMULACIONES EXISTENTES

5.2.2.1 Fórmula del CERC

5.2.2.1.1 Expresión general

Savage (1962) propuso una ecuación para el cálculo del transporte longitudinal, que posteriormente fue adoptada por el U.S. Army Corp of Engineers en el "Coastal Design Manual" (1966) y que pasó a ser conocida como la fórmula CERC. Posteriormente esta fórmula fue adaptada a los datos de campo disponibles e incluida en las versiones de 1977 y 1984 del "Shore Protection Manual" (SPM).

De acuerdo a esta formulación, el transporte de sedimento (en términos de peso sumergido (I_l) es proporcional a la componente longitudinal del flujo de energía del oleaje (P_l) de acuerdo con la expresión

$$I_l = K \cdot P_l \quad [N/s]$$

De acuerdo con la teoría de Airy, el valor de P_l se define como

$$P_l = E_{br} \cdot C_{g,br} \cdot \text{sen}\theta_{br} \cdot \text{cos}\theta_{br} \quad [N/s]$$

donde

- E_{br} es la energía del oleaje evaluada en la zona de rotura: $E_{br} = \rho \cdot g \cdot H_{br}^2 / 8$,
- θ_{br} es el ángulo entre los frentes de oleaje y la batimetría en la zona de rotura y
- $C_{g,br}$ es la celeridad de grupo en la zona de rotura: $C_{g,br} = (g \cdot d_{br})^{1/2} = (g \cdot H_{br} / \gamma_{br})^{1/2}$

siendo γ_{br} el índice de rotura, es decir, la relación entre la altura de ola² en rotura (H_{br}) y la profundidad en la zona de rotura (d_{br}), es decir, $\gamma_{br} = H_{br} / d_{br}$. De acuerdo a Thornton y Guza (1983) para oleaje irregular definido en términos de altura de ola significativa (H_s) puede considerarse $\gamma_{br} = 0,60$, mientras que si se trabaja con alturas de ola media cuadráticas (H_{rms}) puede tomarse $\gamma_{br} = 0,42$.

De este modo se tiene que

$$I_l = K \cdot P_l = K \cdot E_{br} \cdot C_{g,br} \cdot \text{sen}\theta_{br} \cdot \text{cos}\theta_{br}$$

Asumiendo la hipótesis de aguas poco profundas en la zona de rotura, esta expresión puede reescribirse como

$$I_l = K \cdot \frac{\rho \cdot g^{3/2}}{16 \cdot \gamma_{br}} \cdot H_{br}^{5/2} \cdot \text{sen}(2 \cdot \theta_{br})$$

y por tanto

$$Q_l = K \cdot \frac{\rho \cdot g^{1/2}}{16 \cdot \gamma_{br}^{1/2} \cdot (\rho_r \cdot \rho)^{1/2} \cdot (1-n)} \cdot H_{br}^{5/2} \cdot \text{sen}(2 \cdot \theta_{br}) \quad [m^3/s]$$

que es la expresión mediante la cual se presenta habitualmente la ya conocida como fórmula del CERC.

5.2.2.1.2 Cuantificación del coeficiente K

Un parámetro fundamental al calcular el transporte longitudinal es el coeficiente K, pues relaciona de manera proporcional o lineal dicho transporte y la componente longitudinal del flujo de energía del oleaje³. A continuación se presentan diferentes formulaciones existentes para determinar su valor.

Valor de K de acuerdo al "Shore Protection Manual"

A partir del análisis de diferentes mediciones in situ, el "Shore Protection Manual" (ver Figura 27.-) estableció un valor $K_s = 0,39$ (en el caso que se utilicen las alturas de ola significantes), que equivaldría a $K_{rms} = 0,92$ (si se emplean las alturas de ola medias cuadráticas).

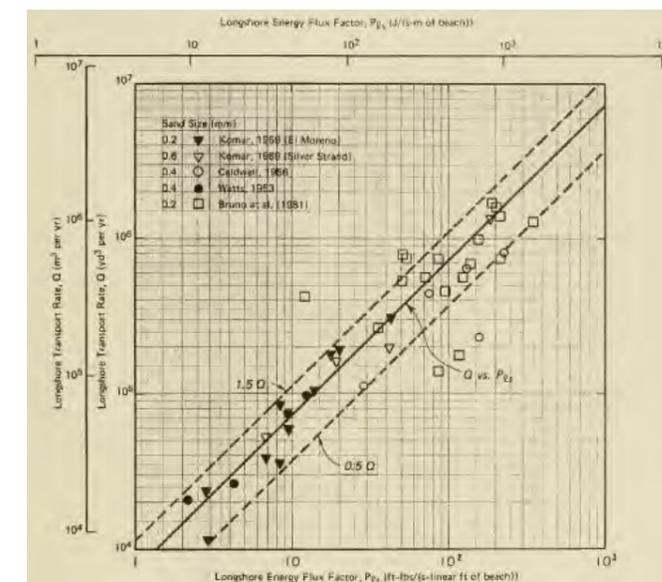


Figura 27.- . Relación entre I_l y P_l a partir de datos de campo (Fuente: Shore Protection Manual, 1984)

² Las alturas de ola que se emplean en esta formulación son o bien la altura de ola significativa (H_s) o bien la altura de ola media cuadrática (H_{rms}).

³ En función que en el cálculo de P_l se emplee H_s o H_{rms} , el valor del coeficiente K variará, pudiéndose distinguir entre K_s (si se utiliza H_s) o K_{rms} (si se emplea H_{rms}).

Variación de K en función del parámetro de Iribarren

Kamphuis y Readshaw (1978) observaron una relación entre el valor de K y el número de Iribarren o *surf similarity parameter*, definido como

$$\xi_{br} = \tan\beta_{br}/(H_{s,br}/L_0)^{1/2}$$

donde $\tan\beta_{br}$ es la pendiente media entre la línea de orilla y la zona de rotura, $H_{s,br}$ es la altura de ola significativa en rotura y L_0 es la longitud de onda en aguas profundas, definida como $L_0 = g \cdot T^2 / (2 \cdot \pi)$

Según dichos autores se tiene que

$$K_s = 0,70 \cdot \xi_{br}$$

Variación de K en función del tamaño del sedimento

A partir de resultados de campo (ver Figura 28.-), Bailard (1981, 1984) desarrolló un modelo energético en el cual el coeficiente K_{rms} era función del ángulo de oleaje en rotura y de la relación entre la máxima velocidad orbital ($u_{m,br}$) y la velocidad de caída del sedimento (w_f) de acuerdo a la expresión

$$K_{rms} = 0,05 + 2,6 \cdot \text{sen}^2(2 \cdot \theta_{br}) + 0,007 \cdot u_{m,br}/w_f$$

De acuerdo a la teoría de aguas poco profundas puede considerarse que $u_{m,br} = 0,5 \cdot \gamma_{br} \cdot (g \cdot d_{br})^{1/2}$.

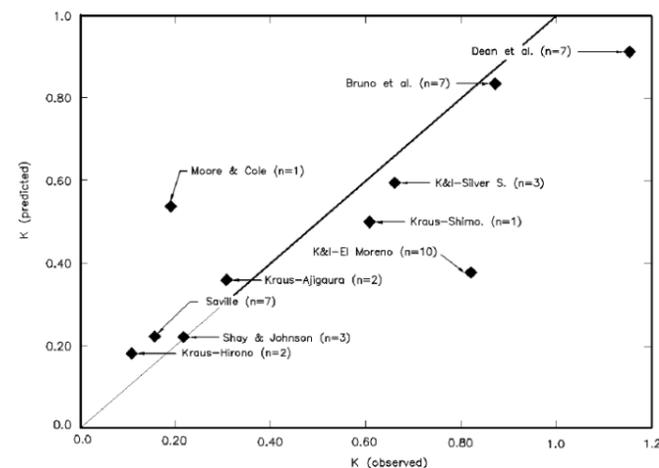


Figura 28.- Calibración del modelo de Bailard para la definición de K_s (Fuente: *Coastal Engineering Manual*, 2002)

Por su parte Del Valle et al. (1993) presentaron una relación empírica entre el valor K_{rms} y el diámetro medio del sedimento (D_{50}) obtenida a partir de datos de Komar (1988) y datos propios del delta del río Adra (con valores entre 0,40 y 1,50 mm), tal como se muestra en la Figura 29.- .

Dicha expresión es

$$K_{rms} = 1,4 \cdot \exp(-2,5 \cdot D_{50})$$

[D_{50} expresado en mm]

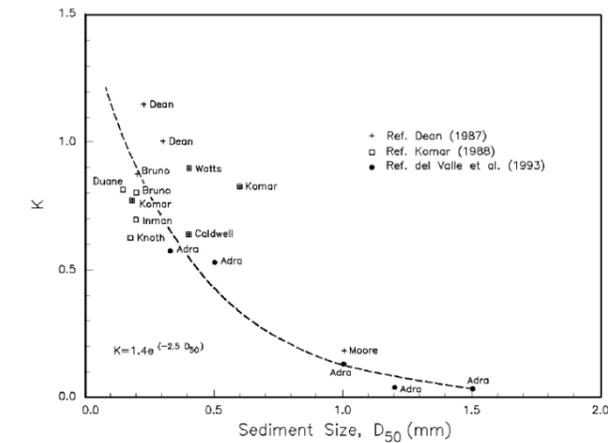


Figura 29.- Calibración del modelo de Del Valle para la definición de K_{rms} (Fuente: *Coastal Engineering Manual*, 2002)

5.2.2.2 Fórmula de Kamphuis

Partiendo de una idea similar a la formulación del CERC y basándose en un análisis dimensional y calibraciones con datos de laboratorio y de campo, Kamphuis (1991) propuso la siguiente expresión para el cálculo del transporte longitudinal,

$$Q_l = \frac{0,0013}{(1-n) \cdot (\rho_s - \rho)} \cdot \frac{\rho \cdot H_{s,br}^3}{T_p} \cdot \tan^{0,75} \beta_{br} \cdot \left(\frac{H_{s,br}}{L_0}\right)^{-1,25} \cdot \left(\frac{H_{s,br}}{D_{50}}\right)^{0,25} \cdot \text{sen}^{0,6}(2 \cdot \theta_{br}) \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

donde T_p es el período pico del oleaje y el resto de parámetros los mismos que se emplean en la fórmula del CERC.

Por consiguiente esta expresión tiene en cuenta simultáneamente la pendiente de la playa y el tamaño medio del sedimento, que como se ha visto anteriormente, son dos de los parámetros que influyen en el valor del transporte de sedimentos, por lo que sus resultados deberían ser más realistas que las anteriores fórmulas.

5.2.2.3 Fórmula de Van Rijn

A partir de datos de laboratorio, de campo y resultados numéricos, Van Rijn (2001) definió la siguiente expresión para el cálculo del transporte longitudinal

$$Q_l = K_0 \cdot K_{swell} \cdot K_{grain} \cdot K_{slope} \cdot H_{s,br}^{2,5} \cdot V_{eff,L} / [(1-n) \cdot \rho_s] \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

donde

- $K_0 = 42$

- K_{swell} es el factor de corrección para oleaje swell, definido como $K_{swell} = 1$ para oleaje de viento y $K_{swell} = T_{swell}/T_{ref}$ para oleaje de fondo (con $H_s < 2$ m), siendo $T_{ref} = 6$ s.
- K_{grain} es el factor de corrección del tamaño de sedimento, definido como $K_{grain} = D_{50,ref}/D_{50}$, siendo $D_{50,ref} = 0,20$ mm (para $D_{50} > 2$ mm se debe tomar el valor mínimo $K_{grain,min} = 0,10$).
- K_{slope} es el factor de corrección de la pendiente, definido como $K_{slope} = (\tan\beta/\tan\beta_{ref})^{1/2}$, siendo $\tan\beta_{ref} = 0,01$ y $\tan\beta$ la pendiente media de la playa entre la línea de costa y la isobata $d = -8$ m y con unos valores límites $0,75 \leq K_{slope} \leq 1,25$.
- $V_{eff,L}$ es la velocidad longitudinal efectiva de la corriente en la zona media de surf debida tanto al oleaje como a la marea, definida como $V_{eff,L} = (V_{wave,L2} \pm V_{tide,L2})^{1/2}$. Si ambas componentes tienen la misma dirección el signo es positivo y en caso contrario el signo es negativo, siendo
 - $V_{wave,L}$ la componente de la velocidad longitudinal de la corriente inducida por la rotura del oleaje y definida como $V_{wave,L} = 0,3 \cdot (g \cdot H_{s,br})^{1/2} \cdot \sin(2 \cdot \theta_{br})$.
 - $V_{tide,L}$ la componente de la velocidad longitudinal de la corriente inducida por la marea y que toma un valor de 0 m/s en caso que no haya marea; 0,1 m/s para micro-mareas; 0,3 m/s para meso-mareas y 0,5 m/s para macro-mareas.

Por consiguiente esta expresión tiene en cuenta simultáneamente la pendiente de la playa y el tamaño medio del sedimento y la existencia de corrientes longitudinales debidas a la marea por lo que sus resultados deberían ser más realistas que las anteriores.

5.2.3 IMPLEMENTACIÓN DE LAS FÓRMULAS

Todas las fórmulas anteriores han sido empleadas para efectuar el cálculo del transporte potencial o capacidad de transporte longitudinal de sedimentos, para lo cual se ha utilizado el programa matemático LONGTRANS, desarrollado por MARCIGLOB.

Los datos de partida de dicho programa son

- Alineación media de la costa (ζ).
- Límites direccionales del fetch, esto es, el abanico de direcciones de oleaje que pueden llegar a la zona de estudio ($\alpha_{f,max}$ y $\alpha_{f,min}$).
- Características del sedimento (tamaño medio, densidad y porosidad).
- Pendiente media de la playa a lo largo de toda la zona de rotura.
- Velocidad longitudinal neta de la corriente de marea.
- Frecuencias medias de presentación del oleaje en aguas profundas para diferentes sectores direccionales (definidos a través de su dirección media α) e intervalos de H_s .
- Correlación entre H_s y T_p .

Todo ello de acuerdo al criterio de signos mostrado en la Figura 30.-.

El oleaje en alta mar es propagado hacia costa hasta la rotura empleando el programa REFRAC, desarrollado por MARCIGLOB.

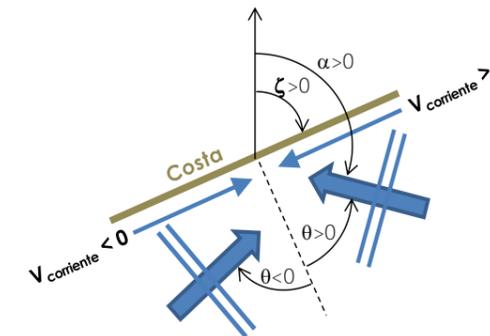


Figura 30.- Criterios de signo del programa LONGTRANS (Fuente: elaboración propia)

5.2.4 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE LONGITUDINAL

5.2.4.1 Resultados de estudios anteriores

Se ha podido recopilar los resultados de al menos dos estudios en los que se evaluó la capacidad de transporte litoral cerca de la zona de estudio.

En la "Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa. Lote nº 1. Demarcación Hidrográfica de Cataluña" se empleó la fórmula del CERC y se obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 31.-.



Figura 31.- Capacidad de transporte en la zona según el documento "Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa" (Fuente: Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar)

Por su parte en el “*Libre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya*” se empleó la fórmula del CERC y de Kamphuis y se obtuvieron los resultados de la Figura 32.- .



Figura 32.- Capacidad de transporte en la zona según el “*Libre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya*”; Izquierda: fórmula de Kamphuis; derecha: fórmula del CERC (Fuente: CIIRC / Generalitat de Catalunya)

En el tramo entre los puertos de El Masnou y Premià se obtienen unos valores de capacidad de transporte longitudinal que van desde los 26.000 a los 50.000 m³/año con dirección NE a SW. Es importante señalar que en todos los casos se aprecia que en el tramo de estudio se produce una reducción de la capacidad de transporte respecto a la de los tramos contiguos (a levante del Puerto de Premià y a poniente del Puerto de El Masnou) como consecuencia de un cambio en la orientación media de la línea de costa y barimetría,

Además en las zonas situadas a l sombra de ambos puertos el transporte invierte su sentido, pasando de SW a NE como consecuencia de la difracción del oleaje.

5.2.4.2 Resultados obtenidos específicamente para este estudio

Mediante el programa LONGTRANS (ver apartado 5.2.3) se ha procedido a calcular el transporte potencial en la zona de estudio. En primer lugar se ha procedido a definir los ángulos límites de incidencia del oleaje, que de acuerdo a la Figura 33.- resultan ser $\alpha_{f,min} = 62,9^\circ N$ y $\alpha_{f,max} = 217,1^\circ N$, valores que vienen condicionados por el delta del Tordera (a levante) y el Puerto de Barcelona (a poniente). No obstante dichos límites son teóricos ya que oleajes en alta mar con direcciones menores a $62,9^\circ N$ o mayores a $217,1^\circ N$ sí pueden incidir en la zona de estudio tras refractarse. Por todo ello como direcciones límites se tomarán las extremas de los sectores direccionales en los que se encuentran dichos límites teóricos, es decir, $56,25^\circ N$ y $236,25^\circ N$ que corresponden a los límites entre los sectores NE y ENE y entre los sectores SW y WSW respectivamente.

En cuanto a la alineación media de la batimetría, ζ , de acuerdo con la Figura 34.- se pueden considerar dos valores según la zona: $72^\circ N$ en los dos tercios de playa más orientales y $65^\circ N$ en el tercio más occidental, que coincide con el tramo del playa apoyada en el dique del Puerto de El Masnou

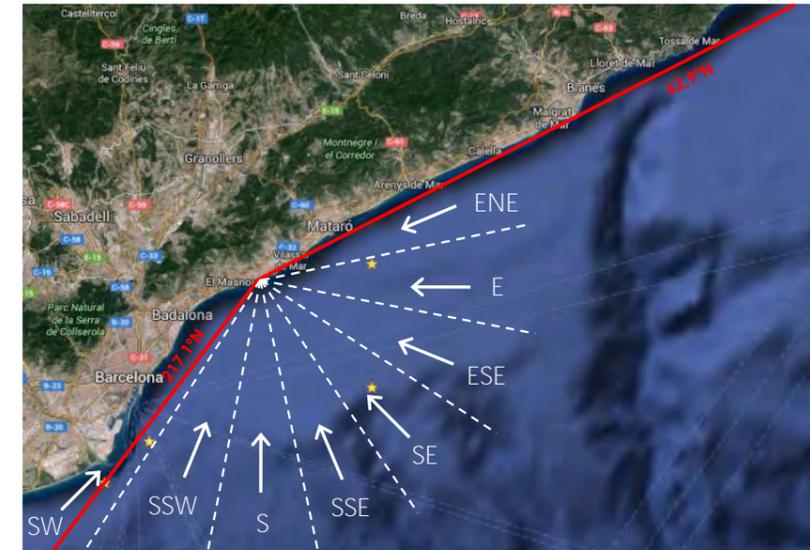


Figura 33.- Límites de incidencia del oleaje en la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia)

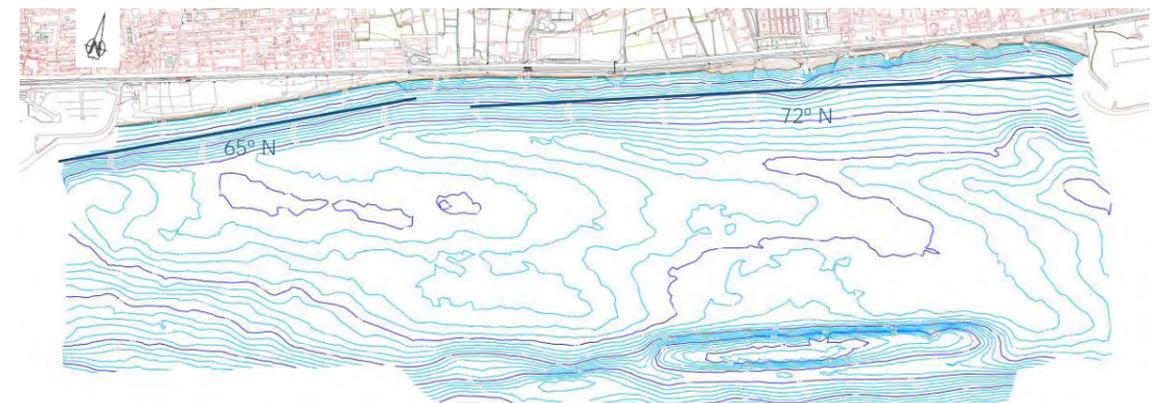


Figura 34.- Alineación media de la batimetría en la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia)

Tal como se muestra en la Figura 35.- para estas alineaciones de la costa la capacidad de transporte longitudinal neto de sedimentos es de 4.642 m³/año y de 13.749 m³/año respectivamente, mientras que la capacidad de transporte longitudinal bruto de sedimentos –esto es, sin tener en cuenta el sentido del transporte– es de 115.475 m³/año y de 125.529 m³/año (promedio de los resultados de las fórmulas de Van Rijn, Kamphuis y CERC con el coeficiente K obtenido a partir de la expresión de Del Valle, que como se comentó son las más fiables y empleando los datos WANA).

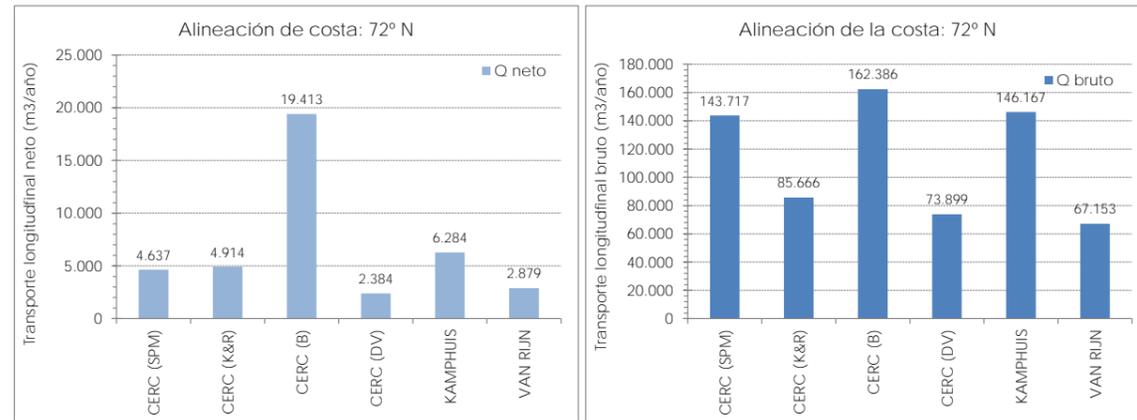


Figura 35.- Capacidad de transporte longitudinal en las playas situadas en los dos tercios de levante de la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia)

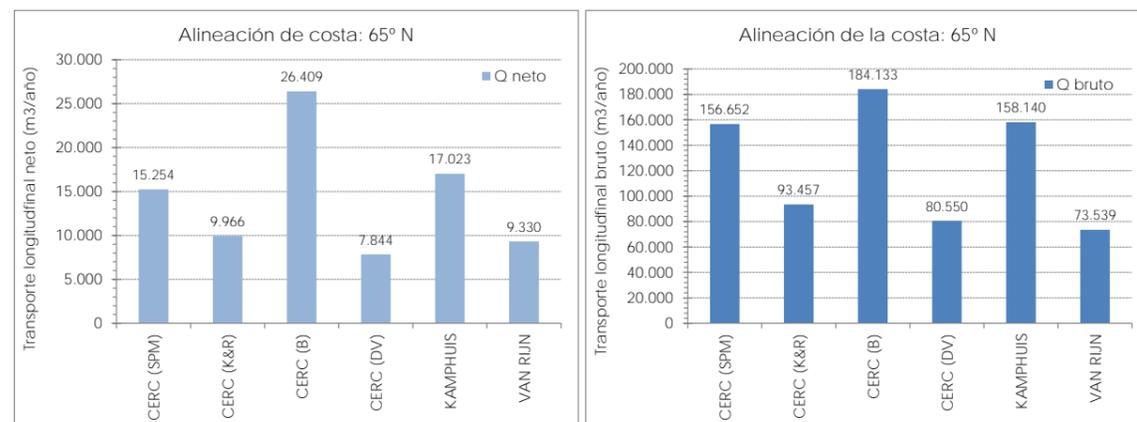


Figura 36.- Capacidad de transporte longitudinal en las playas situadas en el tercio de poniente de la zona de estudio. Base de datos de oleaje: punto WANA 2114128 (Fuente: Elaboración propia)

La existencia de un transporte longitudinal bruto considerable (en el entorno de los 120.000 m³/año) significa que existirán importantes movimientos alternativos de la arena hacia levante y hacia poniente en función del oleaje reinante (y que en promedio dan lugar a un total –es decir, el transporte neto– de NE a SW) que pueden inducir cambios a corto plazo en la configuración en planta, más significativos cuanto menor sea la longitud de la playa.

Así ligeras diferencias en las frecuencias de presentación de los oleajes de levante (E) frente a los de garbí (SW) en comparación a las de las bases de datos SIMAR y WANA se traducirían en valores superiores del transporte longitudinal (NE a SW).

En la Figura 37.- se muestra la comparación de los valores de capacidad de transporte longitudinal obtenidos con las 3 fuentes de datos de oleaje para diferentes alineaciones de la línea de costa.

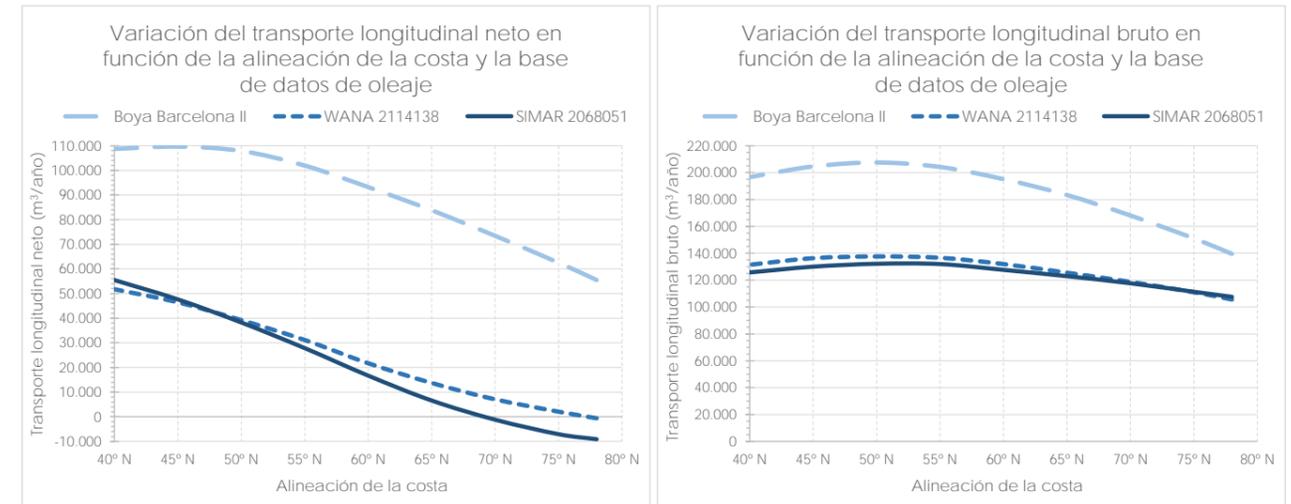


Figura 37.- Comparación de la capacidad de transporte longitudinal en función de los datos de oleaje (Fuente: Elaboración propia)

Puede apreciarse que los resultados con los datos WANA y SIMAR son muy similares, mientras que los valores obtenidos de la boya Barcelona II son mucho mayores (como consecuencia de la infravaloración de los oleajes del SW por estar situada en aguas intermedias).

De todo lo anterior se concluye que un valor razonable de la capacidad de transporte longitudinal neto en los dos tercios de playa más orientales sería de $Q_i = 23.500 \text{ m}^3/\text{año}$ con dirección NE-SW y en el tercio más occidental, (playa apoyada en el dique del Puerto de El Masnou) sería $Q_i = 34.500 \text{ m}^3/\text{año}$ con dirección NE-SW, valores que se han obtenido como promedio de los calculados con las 3 bases de datos y que están en el orden de magnitud de los valores obtenidos en estudios anteriores (ver apartado 5.2.4.1).

Pese a todo ello, las limitaciones que en este caso presenta la metodología descrita aconsejan analizar el transporte de sedimentos mediante modelado numérico que da lugar a resultados más realistas, lo cual se efectúa en el siguiente apartado.

5.3 CÁLCULO MEDIANTE MODELADO NUMÉRICO

Dada la complejidad de la morfodinámica en la zona de rompientes, existe una metodología que permite calcular con mayor aproximación el transporte de sedimentos en las zonas costeras. Dicha metodología consiste en la determinación de los patrones de propagación y rotura del oleaje, la obtención de los tensores de radiación, el cálculo de las corrientes de oleaje a partir de dicho tensor y, finalmente, el transporte de sedimentos inducido conjuntamente por oleaje y corrientes.

Todo ello se ha realizado en el sistema playero de estudio, mediante el programa Sistema de Modelado Costero (SMC); desarrollado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas

(G.I.O.C.) de la Universidad de Cantabria, para la antigua Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente.

5.3.1 CONCEPTOS PREVIOS SOBRE EL MODELO UTILIZADO

La utilización de un modelo numérico es un procedimiento muy útil para el cálculo del transporte sedimentario, ya que es una herramienta muy potente y relativamente poco costosa que permite obtener la capacidad teórica de transporte de forma rápida y fiable. De todas maneras estos modelos deben ser siempre validados y calibrados correctamente para obtener resultados satisfactorios. Actualmente en la ingeniería marítima los modelos numéricos son recientes y están en periodo de perfeccionamiento, entre ellos los modelos acerca de la dinámica sedimentaria son los que se encuentran en menor desarrollo.

La modelización del transporte sedimentario se ha realizado con el módulo EROS (modelo bidimensional y horizontal de evolución morfológica de una playa). El programa EROS forma parte del Modelo integral de evolución MORfológica de una PLAYa debida a la acción del oleaje y a las corrientes de rotura (MOPLA), el cual, a su vez se engloba en el modelo de análisis a corto plazo de playas del programa SMC. El concepto "corto plazo" debe entenderse como la escala temporal de validez del modelo (horas – días). Es decir, estos modelos son útiles para simular el comportamiento de una playa sometida a la acción de un determinado estado de mar.

El modelo EROS es un modelo numérico que resuelve las ecuaciones del flujo de sedimentos dentro de la zona de rompientes, así como los cambios en la batimetría asociados a las variaciones espaciales del transporte de sedimentos. Este modelo requiere como datos de entrada los siguientes:

- Campo del oleaje (calculados con el módulo OLUCA, también perteneciente al MOPLA)..
- Campo de corrientes inducidas por la rotura del oleaje (calculado con el modelo COPLA, también perteneciente al MOPLA).
- Datos de características del sedimento de la playa.

Los campos del oleaje y de corrientes se presentan en el Anejo nº 3 del Proyecto, en el que se ha efectuado la propagación de diferentes casos de oleaje espectral, con las direcciones características de la zona (E, SE, S y SSW) y con unas alturas de ola correspondientes al oleaje morfológico (aquel que tiene la misma energía que todas las olas de un determinado sector direccional) y al excedido 12 h/año (y cuyos valores de H_s y T_p se muestran en el Anejo nº 2). El tamaño de sedimento introducido en el modelo es el que se corresponde con el tamaño medio (D_{50}) de las arenas existentes en el sistema susceptibles de ser incorporadas al transporte litoral, que en este caso son del orden de 0,54 mm (ver apartado 3.2.2).

Con el modelo se obtienen resultados sobre el vector transporte de sedimentos en todo el dominio de cálculo, que permite cuantificar magnitudes y sentido del transporte. Para ello se ha aplicado el modelo de Soulsby-Van Rijn (1997), que es una expresión analítica experimental que aproxima de manera bastante aproximada a la formulación para ola-corriente de van Rijn, evaluando tanto el

transporte por fondo como por suspensión sobre fondo horizontal (se considera el efecto de la pendiente por fondo en el inicio del transporte). Se ha tomado para los cálculos una viscosidad de remolino de 8 m²/s. Para la aplicación del modelo, las ecuaciones se resuelven mediante un método de diferencias finitas sobre una malla rectangular.

5.3.2 RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO

Los resultados gráficos del modelo numérico referente al transporte potencial de los 8 escenarios de oleaje analizados se incluyen en el Apéndice 1 de este anejo.

De su análisis se desprende lo siguiente:

- Los oleajes del E y SE producen un transporte longitudinal de sedimentos de NE a SW y los oleajes del SS y SSW un transporte longitudinal de sedimentos de SW a NE.
- Los oleajes que provocan un mayor transporte son el E y el SSW.
- Los patrones por direcciones son muy parecidos para el oleaje morfológico y para el oleaje excedido 12 h/año si bien en este último caso el transporte es obviamente mucho mayor.
- En general los patrones solamente indican transporte longitudinal, salvo en algún punto en que se detecta transporte transversal (perpendicular a la costa) debido a la presencia de alguna obra (espigón, dique de puerto) que interrumpe y desvía la corriente longitudinal.

En la Figura 38.- se muestran sendos ejemplos que ilustran lo anterior.

Se ha realizado la integración espacial del campo de transporte de sedimentos (que presenta unidades de m³/h/m) a lo largo de tres perfiles transversales situado en el centro de la mitad oriental (Perfil I), en el centro de la mitad occidental de la zona de estudio (Perfil II) y a la altura del Puerto de El Masnou (Perfil III) con objeto de poder calcular el transporte. Cada uno de los valores obtenidos para los 8 escenarios de oleaje analizados ha sido ponderados por su frecuencia anual de presentación (en términos de h/año). Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 3.- Resultados del transporte de sedimentos obtenido con el programa EROS (Fuente: elaboración propia)

Oleaje	Transporte neto		
	Perfil I	Perfil II	Perfil III
Morfológico	16.000 m ³ /año (NE-SW)	21.000 m ³ /año (NE-SW)	0 m ³ /año
Excedido 12 h/año (H_{s12})	6.000 m ³ /año (NE-SW)	8.000 m ³ /año (NE-SW)	2.000 m ³ /año (NE-SW)

De los oleajes analizados, el que proviene de la dirección SSW es el que tiene una capacidad potencial mayor de transporte seguido del oleaje del E. Es evidente que para situaciones de temporal (que podríamos identificar con la H_{s12} calculada), las tasas de transporte se incrementan notablemente, aunque obviamente de manera menos prolongada en el tiempo.

No obstante debe tenerse en cuenta que este tipo de modelos de "corto plazo" son muy dependientes de la batimetría empleada en la modelación, de manera que cambios significativos en la misma pueden suponer diferencias considerables en los resultados. Por todo ello su extrapolación para efectuar valoración a medio/largo plazo (por ejemplo, en la determinación del transporte medio anual) debe realizarse con cierta cautela.

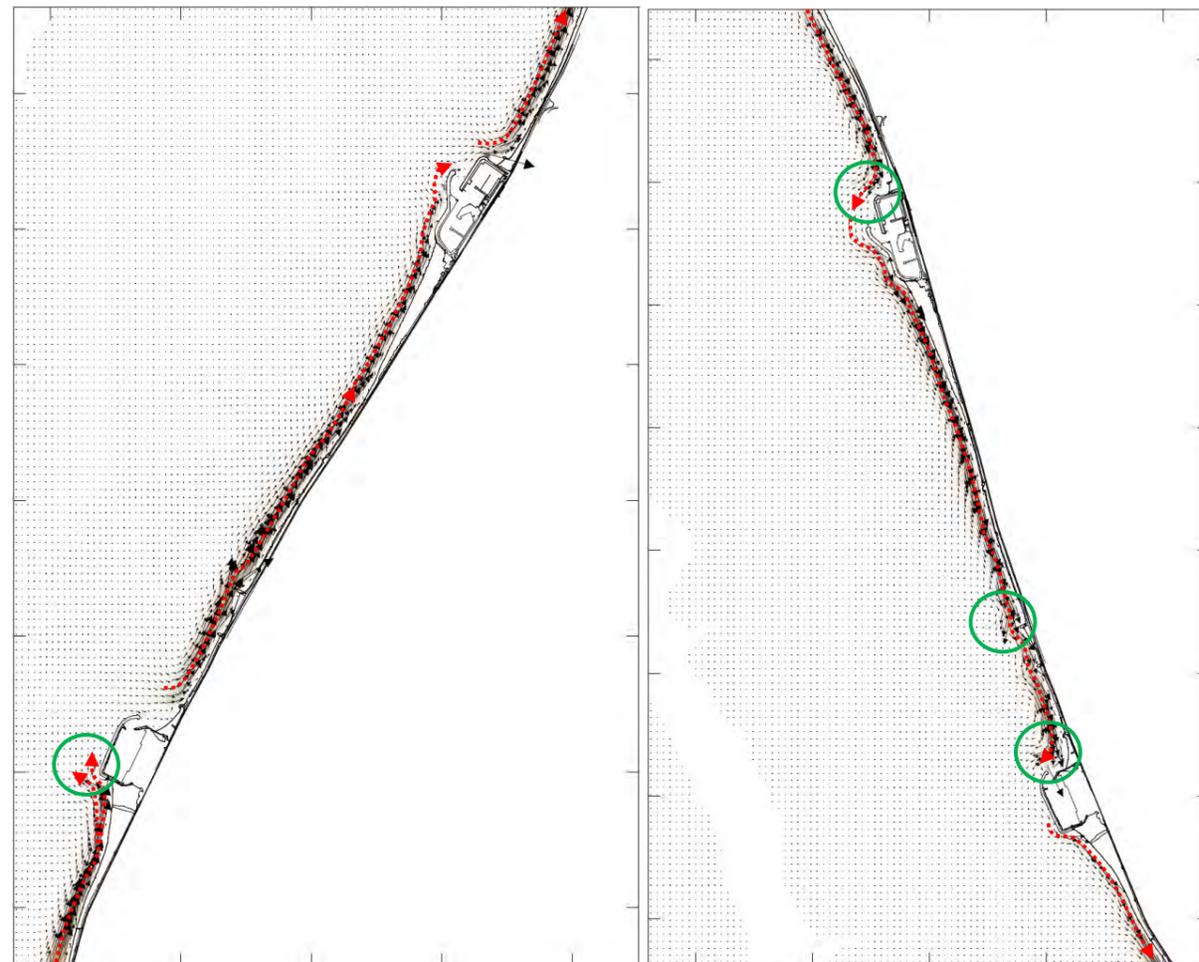


Figura 38.- Patrones de transporte de los oleaje H_{s12} del E (izquierda) y SSW (derecha). Los círculos verdes indican zonas donde se detecta transporte transversal (Fuente: elaboración propia)

5.4 COMENTARIOS RESPECTO AL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

5.4.1 TRANSPORTE LONGITUDINAL

El cálculo teórico del transporte longitudinal a partir de formulaciones (CERC, Kamphuis, Van Rijn...) tiene unas limitaciones importantes y se trata de un transporte siempre potencial sin tener en consideración las condiciones locales tanto de la batimetría como de la línea de costa. Por otro lado el modelo numérico resuelve las ecuaciones del flujo de sedimentos dentro de la zona de rompientes,

así como los cambios en la batimetría asociados a las variaciones espaciales del transporte de sedimentos. De todos modos ha podido comprobarse que en este caso ambos métodos describen bien la situación del transporte en la zona de manera cualitativa ya que arrojan resultados similares. Así tanto con el programa LONGTRANS como con el EROS se obtiene que la dirección asociada a un mayor transporte es el SSW seguida del E, tal como se aprecia en la siguiente figura

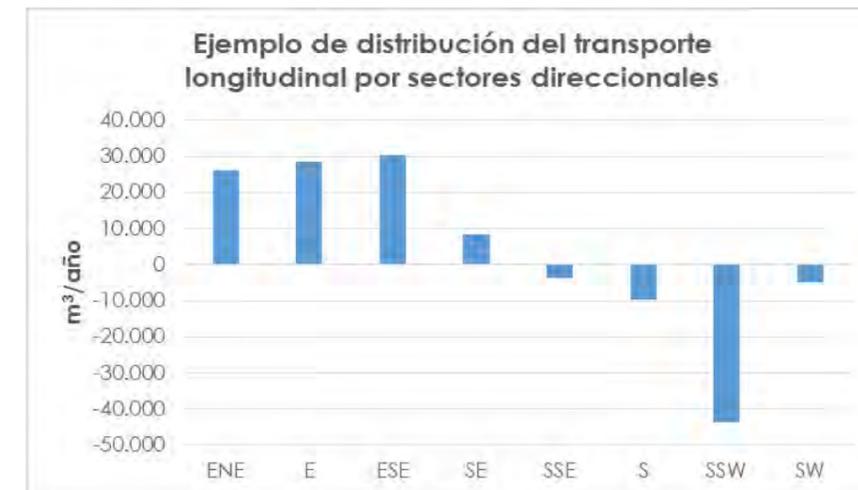


Figura 39.- Ejemplo de variación del transporte longitudinal (fórmula de Van Rijn) en función de la dirección de incidencia del oleaje. Valores positivos: NE-SW; valores negativos: SW-NE (Fuente: elaboración propia)

Por todo ello y teniendo en cuenta todas las consideraciones realizadas se considerará que el transporte longitudinal neto de sedimentos estará entre los $Q_l = 25.000 \text{ m}^3/\text{año}$ con dirección NE a SW (en la mitad oriental) y los $Q_l = 30.000 \text{ m}^3/\text{año}$ con dirección NE a SW (en la mitad occidental). A la altura del puerto de El Masnou se produce un transporte longitudinal $Q_l = 2.000 \text{ m}^3/\text{año}$ con dirección NE a SW, que supone una pérdida neta de arena de la playa existente entre ambos puertos.

En cuanto al alcance espacial de este transporte longitudinal, en la Figura 40.- se compara el campo vectorial de transporte obtenido con los oleajes asociados a H_{s12} y la profundidad activa (es decir, aquella a partir de la cual el transporte longitudinal deja de ser significativo y en cuyo cálculo se emplea H_{s12} , tal como se vio en el apartado 4.2.1).

Puede comprobarse que en general los vectores de transporte se encuentran mayoritariamente dentro de la zona denominada 'litoral' (definida entre la línea de costa y la profundidad activa), salvo en el morro del dique del Puerto de El Masnou para los oleaje del E y del SSW (que son los más energéticos, es decir, con mayor altura de ola).

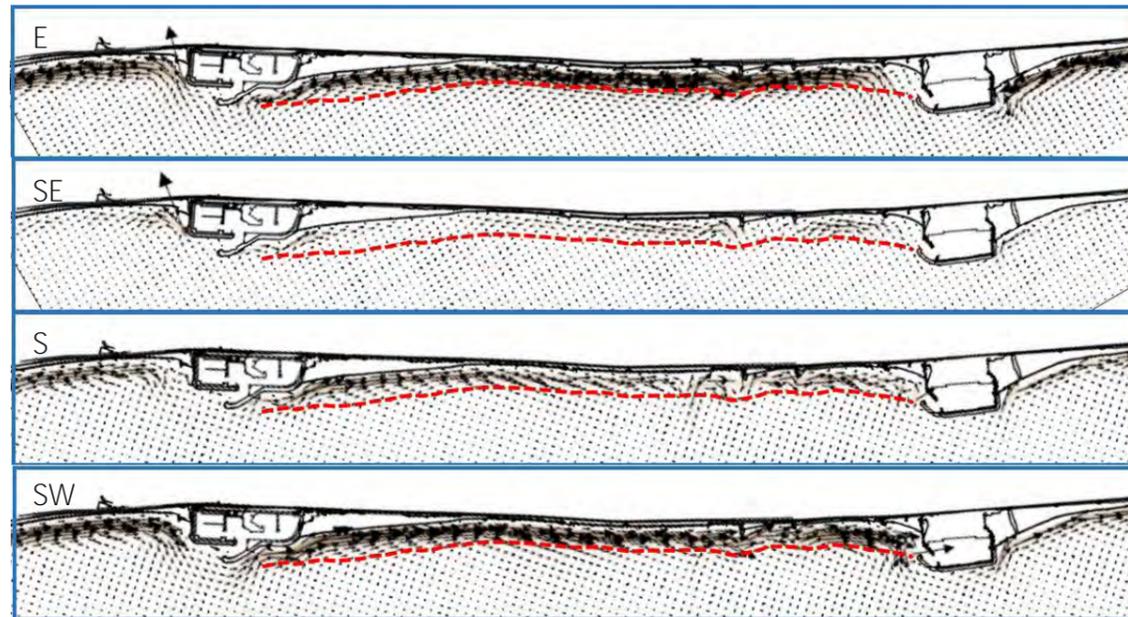


Figura 40.- Comparación de la profundidad activa (línea roja discontinua) con el patrón de transporte de sedimentos asociado al oleaje con una excedencia de 12 h/año (Fuente: elaboración propia)

5.4.2 TRANSPORTE TRANSVERSAL

Al tratarse de un modelo integral, EROS debería permitir obtener no solamente el transporte longitudinal sino también el transversal. No obstante en este caso los patrones muestran un transporte prácticamente longitudinal, sin apreciarse un patrón de transporte longitudinal playa seca y estrán y acumulación en la barra sumergida).

6. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y BALANCE SEDIMENTARIO

6.1 EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

6.1.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

6.1.1.1 Consideraciones generales

El tramo litoral en el cual se incluye la zona en estudio pertenece a la unidad fisiográfica limitada por los puertos de Arenys y de Barcelona y que en el pasado perteneció a una unidad fisiográfica mayor que se extendía desde Blanes hasta el macizo del Garraf.

El litoral entre el límite norte del macizo del Garraf y el puerto de Blanes es el borde costero de una faja aluvial de anchura variable formada por la degradación del sistema orográfico de los Catalánides. La red drenante del tramo fue la responsable de aquella formación.

El macizo del Garraf constituye el extremo meridional de la antigua unidad fisiográfica. En él la costa es acantilada a excepción de la playa de Sitges y algunas pequeñas calas. Los fondos son arenosos y de suave pendiente en la playa sumergida a lo largo de toda la costa del Garraf.

Al norte del litoral anterior, desde punta Ginesta hasta Badalona, los ríos Llobregat y Besós crearon un abombamiento del borde costero muy pronunciado. A partir de Badalona y hasta Blanes la línea de orilla se presenta relativamente rectilínea con algunos cambios de orientación y algunos salientes provocados por los cauces que desembocan. Entre El Masnou y Mataró (incluido en el sub-tramo anterior) el borde costero es ligeramente convexo. Al norte de Blanes desaparece la llanura aluvial entrando directamente en contacto la cordillera litoral catalana y el mar, produciéndose una costa muy abrupta tanto en su fachada emergida como en los fondos próximos a los acantilados.

La composición mineralógica de las fracciones ligera y pesada de estas playas son un reflejo de la geología de la zona prelitoral, representando la fracción ligera casi todo el material y estando constituida por la sílice procedente de la degradación del granito, componente fundamental de la cordillera litoral.

El tamaño medio del grano es cada vez mayor a medida que nos desplazamos hacia el norte. En la playa sumergida la arena se presenta continuamente en todo el tramo, si bien la anchura de la franja y la profundidad que alcanza es variable. La batimetría no presenta irregularidades destacables excepto en una zona al SW de Mataró.

En los planos parcelarios levantados por el Instituto Hidrográfico de la Marina a finales del siglo XIX la costa entre Blanes y punta Ginesta presentaba una playa continua a excepción de algún afloramiento rocoso de poca importancia. Esta playa fue alimentada en su mayor parte por las aportaciones sólidas de los ríos Tordera, Besós y Llobregat y en menor cantidad por las rieras que desembocan en esta franja litoral, como, por ejemplo, las rieras de Santa Susana, de Sant Pol, de Arenys, de Argentona...

La situación actual es bien diferente ya que se han construido numerosas obras marítimas de todo tipo que han tenido un papel muy importante en la evolución del litoral, rompiendo el equilibrio natural de estas playas al introducir modificaciones que impedían el movimiento natural de las arenas. Los elementos que en mayor medida alteraron negativamente este equilibrio fueron los puertos de Barcelona y de Arenys de Mar que subdividieron la unidad fisiográfica en tres tramos claramente diferenciados, estando la zona de estudio ubicada en el tramo central entre dichos puertos. En las últimas décadas nuevas infraestructuras portuarias y de defensa han magnificado aún más el problema.

Efectivamente, haciendo un cálculo de la profundidad activa, d^* , (profundidad a partir de la cual el movimiento de arena deja de ser significativo, tal como se ha comentado), se puede observar que la profundidad a la que llega el extremo del dique de Arenys está en el entorno de este valor, por lo que puede considerarse que dicho puerto está actuando como una barrera prácticamente total al transporte de sedimentos⁴. Ello comporta una acumulación de arena a levante del puerto y una erosión a poniente del mismo, al ser NE-SW la dirección predominante del movimiento de arenas (como ya se indicó en el apartado 5). Al hecho de que el Puerto de Arenys actúe como una barrera casi total, hay que añadir:

- La construcción y en algunos casos posterior ampliación de las infraestructuras costeras y portuarias: puertos de El Balís, Mataró, Premià de Mar y El Masnou, cuyo impacto sobre la dinámica litoral resulta ser de gran importancia al establecer nuevas barreras totales al paso de la corriente sedimentaria NE-SW.
- La construcción en el siglo XIX de la línea ferroviaria de la costa y posteriormente de sus obras de defensa costera que se realizó sobre el trasdós natural de la playa eliminando totalmente la posibilidad de que dicha arena se incorporase a la dinámica litoral en caso de temporales (transporte transversal o de perfil).
- La pérdida de eficacia de la fuente principal de sedimentos, el río Tordera, debido a la acción humana por necesidades de agua y de áridos, urbanización del suelo, repoblación forestal, etc. (esto mismo es aplicable a las numerosas ramblas existentes en la zona y que en la actualidad apenas aportan sedimentos durante las crecidas debido a su fuerte urbanización). Por otra parte, dada la estructura rocosa del litoral al límite norte de esta unidad fisiográfica, no parece que a través de él se pueda incorporar material sedimentario a la unidad en cantidades significativas.

A la altura de Arenys, como se ha dicho, la construcción del puerto en la década de los años 30, supuso el establecimiento de una barrera casi total a la corriente sólida litoral. Las arenas que aportaba el río Tordera y que eran arrastradas por la acción de los diferentes agentes dinámicos hacia el sur-oeste quedaron atrapadas en la playa descansando en su dique de levante. Esta actuación impidió la alimentación de las playas situadas aguas abajo, produciéndose erosiones considerables.

⁴ En el estudio "Segunda campaña de seguimiento de la evolución de las playas del Maresme. Tramo de Arenys de Mar a Port Balís (Barcelona)", que fue dirigido por el autor del presente proyecto, se efectuó un completo análisis mediante comparación de batimetrías, trazadores y modelado numérico y pudo comprobarse que el Puerto de Arenys no es una barrera total, y que deja pasar un transporte longitudinal (en dirección NE a SW) en el entorno de los 5.000 m³/año

La costa al sur del puerto, hacia Caldes d'Estrac y Sant Vicenç de Montalt, fue duramente castigada: las playas casi desaparecieron, de manera que la costa se presentaba sin arena y ocupada por escolleras longitudinales y espigones construidos en la década de los 50 con la intención de frenar la erosión. Sólo una pequeña playa situada al este del puerto de Arenys no desapareció ya que como consecuencia de la difracción del oleaje en el dique de abrigo se producían unas corrientes locales en sentido SW-NE que ocasionaron la acumulación de arena a poniente de contradique.

La causa de esta erosión generalizada es clara: la corriente longitudinal que se genera como consecuencia del clima de oleaje predominante en la unidad fisiográfica, saturaba su capacidad de transporte con la arena existente. Es decir, las playas aguas abajo del Puerto de Arenys pasaron a ser la nueva fuente de sedimentos, a costa de sufrir severas erosiones.

El puerto de El Balís es otro importante obstáculo en el movimiento de arena por la notable profundidad en que llega su dique de levante. Las medidas que se adoptaron para combatir la regresión de las playas situadas al sur de este puerto fueron las escolleras longitudinales. Estos métodos de defensa tuvieron que prolongarse aguas abajo a medida que progresaba la erosión (Sant Andreu de Llavaneres, Mataró, Cabrera de Mar...).

Un efecto parecido al del puerto de El Balís, fue el provocado por los puertos de Premià y el de El Masnou y posteriormente por el puerto de Mataró. Se han producido acumulaciones del sedimento en las playas del NE de los diques y erosiones aguas abajo de los puertos, pero los efectos han sido más reducidos y difíciles de delimitar por ser el resultado de superposiciones de causas.

A partir de la playa de Badalona comienza a hacerse notable el efecto de retención que provoca el dique del puerto de Barcelona, de modo que las playas más meridionales (Badalona, Sant Adrià, Barcelona) han ido sufriendo un proceso de acreción y por tanto aumentando paulatinamente sus superficies secas si bien localmente se han producido oscilaciones sin una tendencia definida como consecuencia del uso que tuvieron en el pasado, especialmente frente a la ciudad de Barcelona, en la que fueron utilizadas como vertederos de escombros. El esquema del funcionamiento de la dinámica litoral en esta unidad fisiográfica se puede apreciar en la Figura 41.- .

En la década de los 80 se llevaron a cabo actuaciones en el litoral del Maresme con el objetivo de recuperar el aspecto original de sus deterioradas playas. Este es el caso de las regeneraciones de la playa de Malgrat (eliminando parcialmente las obras de escollera) y del tramo El Masnou – Premià de Mar. De esta manera se consiguió no tan solo defender de la erosión estos tramos del litoral sino también darles un aspecto estéticamente más agradable minimizando el máximo posible la cantidad de escollera utilizada.

La última de estas grandes actuaciones consistió en la regeneración del tramo Puerto de Arenys - Puerto Balís (realizada entre 1992 y 1993), con la creación de una nueva playa con un ancho variable de la zona seca entre los 70 y los 110 metros y el desmantelamiento parcial de los espigones construidos en los años 50.

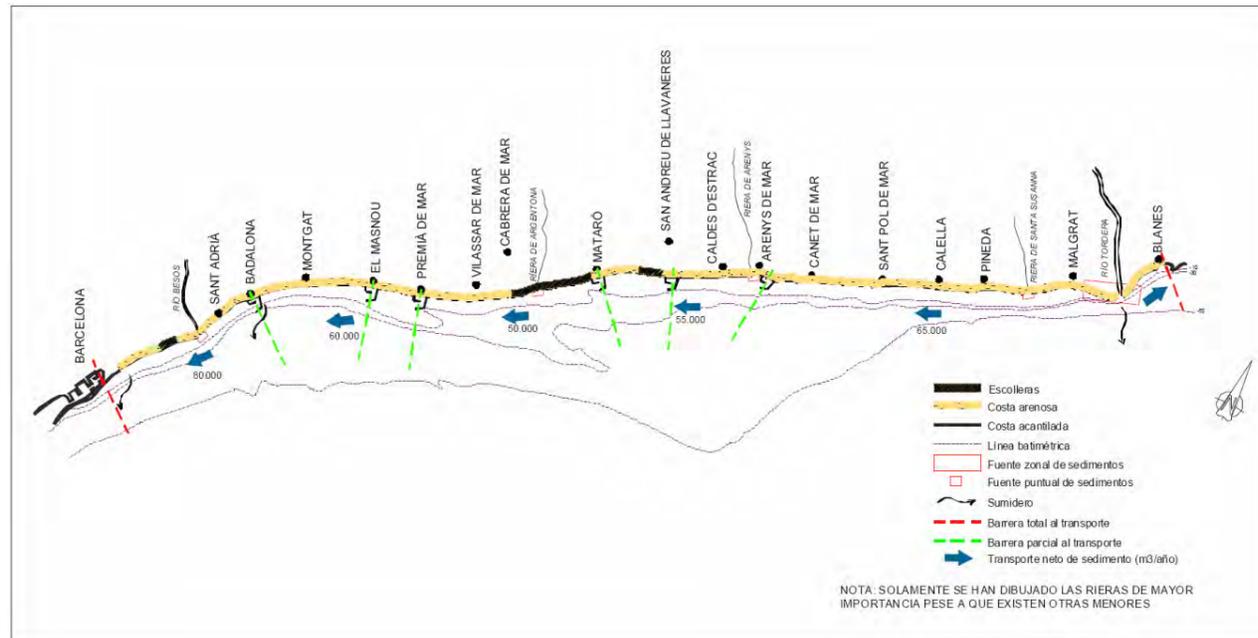


Figura 41.- Esquema del funcionamiento de la dinámica litoral en esta unidad fisiográfica (Fuente: CEPYC)

Posteriormente ya no se han efectuado grandes actuaciones en esta zona (con excepción de la realizada en 2005 en la que se vertió 1 millón de m³ de arena entre los municipios de Cabrera, Vilassar y Premià, de los cuales, 400.000 m³ a poniente del puerto de Premià), salvo aquellas puntuales recargas de arena necesarias para solucionar problemas locales de erosión, los cuales han seguido produciéndose como consecuencia del funcionamiento de la dinámica litoral comentado.

La siguiente tabla muestra las aportaciones de arena realizadas en la zona de estudio.

Tabla 4.- Aportaciones de arena realizadas en la zona de estudio. (Fuente: Demarcación de Costas en Cataluña)

Título	Año	Término Municipal	Volumen (m ³)	Procedencia
Regeneración de las playas del Maresme. Tramo Montgat-Premià	1986	Montgat-Masnou-Premià de Mar	2.228.888	Banco frente a Premià
Reposición de arenas. Playas Maresme (Premià de Mar) y Marbella	1988	Barcelona-Premià de Mar	904.517	Banco frente a Premià
Regeneración periódica del Maresme. Premià de Mar	1993	Premià de Mar	640.452	Banco frente a Premià
Recargas puntuales de arena Premià de Mar, Vilassar de Mar y Cabrera de Mar	2005	Premià de Mar, Vilassar de Mar y Cabrera de Mar	1.095.155 (1)	Banco frente a Premià
Mantenimiento y Conservación de la costa de Barcelona (2007-2009)	2009	Premià de Mar	80.959	Entorno Port Premià
Obras de emergencia en Premià de Mar	2010	Premià de Mar	33.406	Banco frente a Premià

(1) De este volumen, 397.890 m³ fueron vertidos a poniente del Puerto de Premià entre el 23-12-15 y el 01-01-16

Por otro lado se dispone de la siguiente información acerca de los trasvases de arena realizados por el concesionario del Puerto de Premià en los últimos años y que consistieron en la excavación de arena acumulada a levante y su vertido a poniente, en la playa de Pla de l'Ós.

Tabla 5.- Traslados de arena realizados en el Puerto de Premià. (Fuente: Demarcación de Costas en Cataluña)

Año	Volumen (m ³)	Zona de excavación	Zona de vertido
2012	60.000	Playa apoyada en el dique	Playa de Pla de l'Ós
2013	30.000	Playa apoyada en el dique	Playa de Pla de l'Ós
2014	3.200	Playa apoyada en el dique	Playa de Pla de l'Ós
2015	5.351	Bocana	Playa de Pla de l'Ós

6.1.1.2 Evolución de la línea de costa

El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) dispone para toda la costa mediterránea española de una serie de restituciones fotogramétricas de la línea de costa obtenidas de fotografías aéreas de diferentes años (06/1947, 06/1957, 06/1965, 07/1973, 11/1977 y 06/1983 y 02/1995).

En la Figura 42.- se muestran dichas líneas de costa en el tramo entre los puertos de El Masnou y Premià. Puede apreciarse como a partir de 1965 (línea verde) se va notando el efecto del Puerto de El Masnou (inicialmente con sólo un espigón en las líneas de 1965 y 1973 -línea negra-, y ya posteriormente con la construcción del actual dique de levante) que supuso unas acumulaciones de sedimento y que la línea de orilla fuese avanzando de modo más o menos continuo hasta 1984 (línea roja).

En el resto de tramo hasta el puerto de Premià apenas se aprecia una progresiva erosión de la playa desde las líneas de 1947 (línea magenta) y 1957 (línea azul) hasta las más recientes (1984).

La construcción del puerto de Premià (inicialmente un embarcadero de menores dimensiones) supuso un efecto similar al de El Masnou: acumulaciones y adelantamiento de la línea de orilla desde 1977 (línea cian) hasta 1995 (línea marrón).

Puede apreciarse el gran avance de la línea de orilla entre 1983 y 1995 (línea marrón) como consecuencia de la gran aportación de arena realizada en la década de los 80.

Por su parte la Generalitat de Catalunya dispone de información cartográfica de las líneas de costa de los años 1995, 2000 y 2004. En la Figura 43.- (extraída del *Llibre Verd*) se presentan dichas líneas, en las que puede apreciarse una erosión generalizada desde 1995 en todo el tramo, si bien menores conforme nos acercamos al Puerto de El Masnou.



Figura 42.- Evolución histórica de la línea de costa entre 1947 y 1995 (Fuente: CEDEX)

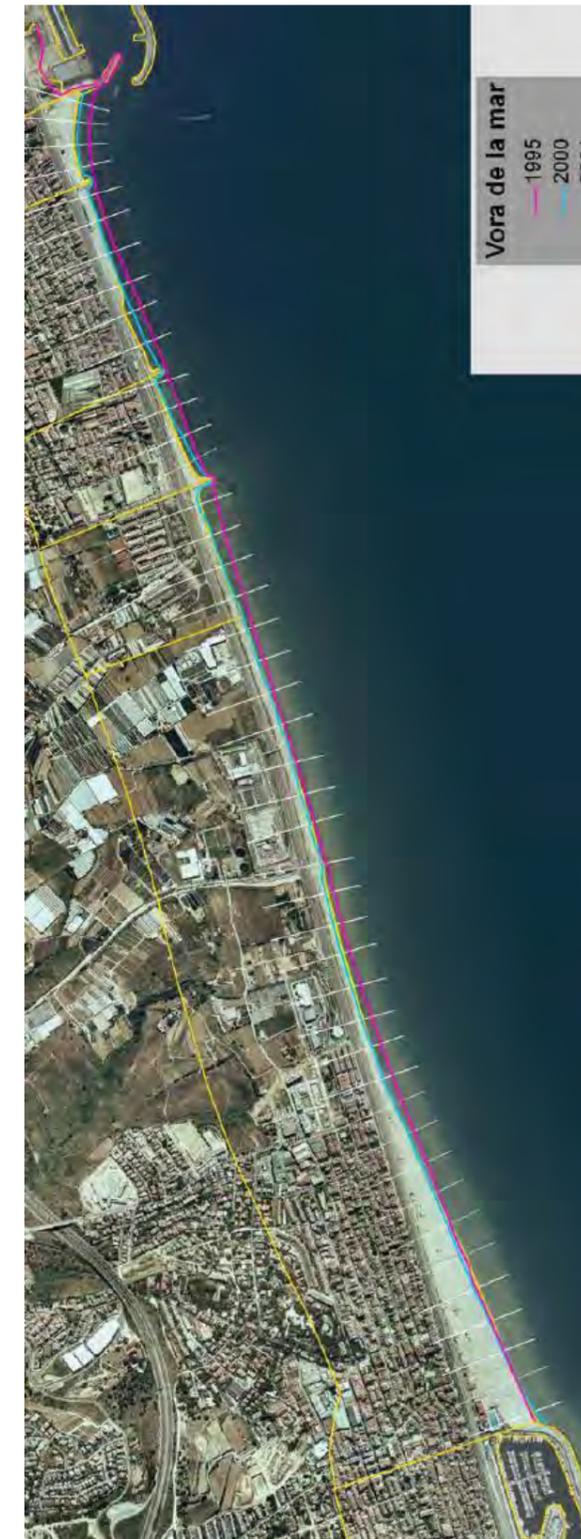


Figura 43.- Evolución histórica de la línea de costa entre 1995 y 2004 (Fuente: CIIRC / Generalitat de Catalunya)

De dicho comportamiento se infiere una clara tasa erosiva en lo que respecta a la evolución de la línea de costa en este período, tal como se muestra en la Figura 44.-, en la que solamente los 2 perfiles más occidentales muestran una evolución positiva (acreción).



Figura 44.- Tasas de evolución histórica de la línea de costa en m/año (Fuente: CIIRC / Generalitat de Catalunya)

Cuantitativamente se tiene que en la mitad oriental (playas de Bellamar, Pla de l'Ós, La Descàrrega y Ponent) la tasa media es un retroceso de la línea de costa superior a los 5 m/año, y en la mitad occidental (playa de Ocata) la tasa media es un retroceso entre 2 y 5 m/año.

Esta pérdida generalizada de sedimento en todo el tramo costero (pese al efecto barrera casi total del Puerto de El Masnou) no es consecuencia del transporte longitudinal, ya que éste a lo sumo provocaría una redistribución del material y solamente puede ser explicado mediante el transporte transversal, que se caracteriza por una movilización de la arena hacia zonas sumergidas más o menos profundas (en muchas ocasiones generando una barra) durante el ataque de los temporales de invierno, provocando el consiguiente retroceso de la línea de costa; posteriormente durante primavera y verano parte de esa arena es de nuevo transportada hacia la playa seca lo que permite recuperar parcialmente la posición de la línea de costa.

No obstante, el balance neto de este proceso generalmente es negativo por un doble motivo: i) durante los temporales más energéticos parte de la arena es transportada a grandes profundidades y ya no puede ser recuperada por la dinámica transversal y ii) la arena que durante los temporales hibernales es transportada a profundidades menores de la activa es arrastrada por las corrientes longitudinales ya que no existe ningún obstáculo que lo impida y esta arena no puede ser reemplazada (puesto que en esta zona no existe ninguna fuente de sedimento tras la construcción del puerto de Premià), de modo que se produce un déficit de arena para ser transportada hacia playa durante la primavera y verano. Por consiguiente una parte importante de la arena se pierde del sistema morfológico, de manera que las playas acaban teniendo una componente neta regresiva. Este efecto es especialmente notorio en las playas más orientales ya que las más occidentales sí reciben sedimento por lo que su recuperación puede ser mejor.

A partir de fotografías aéreas de Google Earth se ha analizado la evolución en el período 2004-2016 (ver Figura 45.- y Figura 46.-). Si bien en este caso la digitalización de la línea de orilla no es una fotorrestitución y presenta más error que en los casos anteriores, sí es útil para ver las tendencias cualitativas. Así puede apreciarse un importante avance de la línea de costa en todo el tramo analizado entre junio de 2004 y diciembre 2006 (consecuencia de la gran aportación de arena realizada en diciembre de 2005), si bien a partir de esta fecha se produce un comportamiento diferenciado:

- En el extremo oriental (playas de Bellamar, Pla de l'Ós, La Descàrrega y Ponent) la línea de costa retrocedió rápidamente: un año después (noviembre de 2007) la anchura de playa se había reducido a la mitad en las playas de Pla de l'Ós y La Descàrrega y siguió retrocediendo en 2008. A partir de esta fecha el comportamiento fue más errático, registrándose tanto avances como retrocesos.
- En el extremo occidental (playa apoyada en el dique del Puerto de El Masnou) siguió avanzando de manera más o menos continua hasta 2012, año a partir del cual la línea de costa comenzó a retroceder.

Es importante señalar que en este caso no se aprecia un comportamiento erosivo generalizado en la línea de costa como el de la Figura 44.-, sino que (al menos hasta 2012) la playa apoyada en el dique de El Masnou siguió avanzando como consecuencia del transporte longitudinal neto (que como ya se dijo tiene dirección NW a SE).

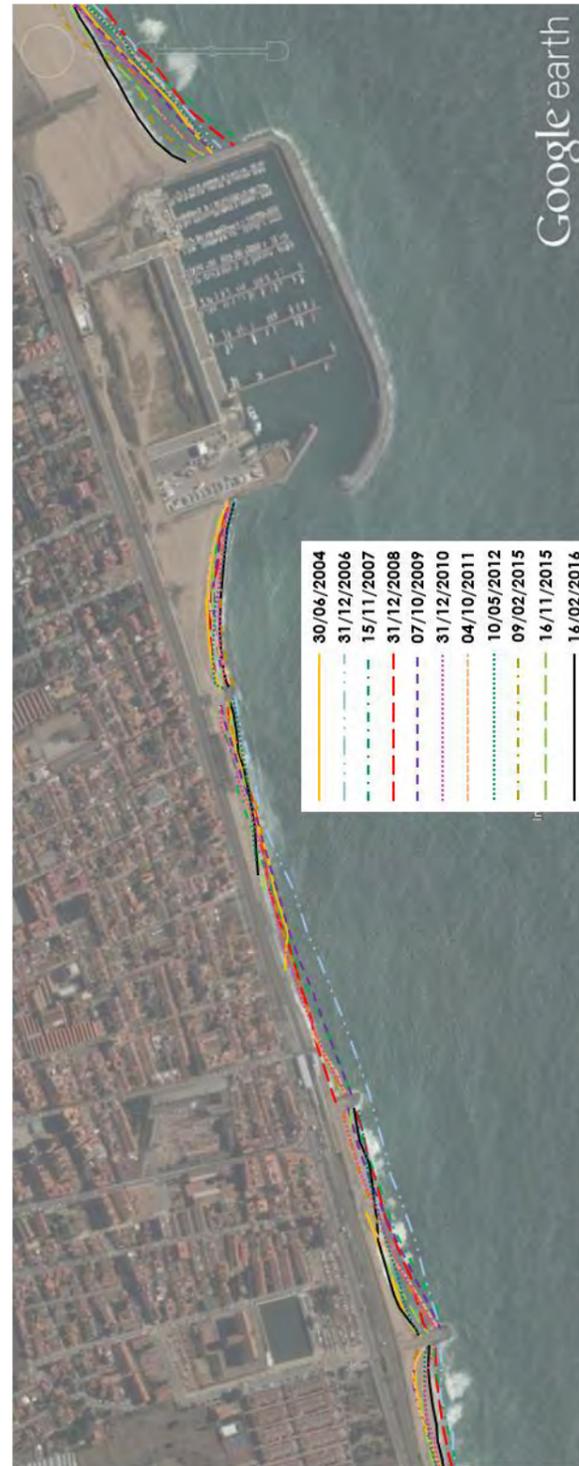


Figura 45.- Evolución histórica de la línea de costa entre 2004 y 2016 (Fuente: Elaboración propia a partir de fotos de Google Earth)

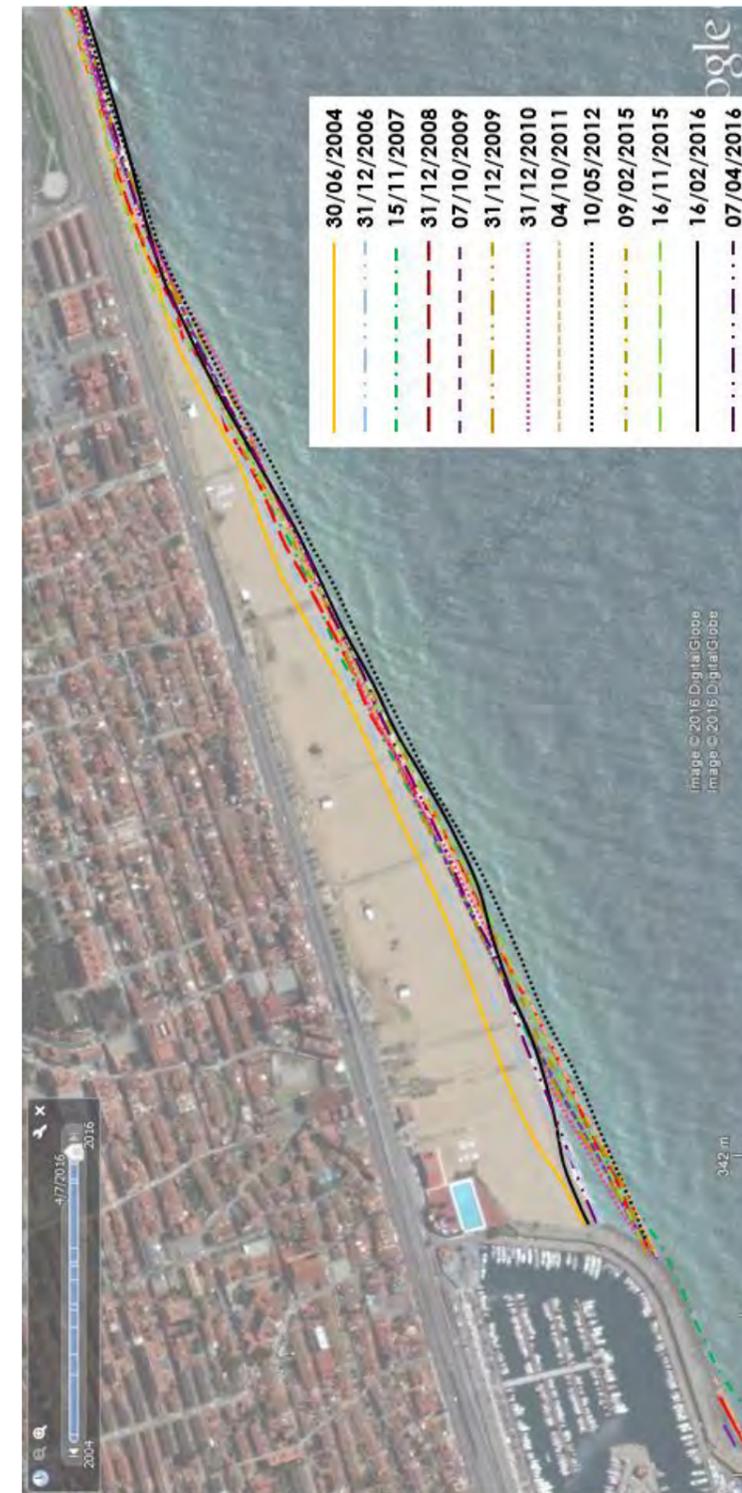


Figura 46.- Evolución histórica de la línea de costa entre 2004 y 2016 (Fuente: Elaboración propia a partir de fotos de Google Earth)

6.1.2 EVOLUCIÓN FUTURA

De acuerdo con el apartado anterior, la evolución futura de las playas analizadas será probablemente la siguiente:

- Por lo que respecta a su comportamiento longitudinal, se seguirá produciendo un transporte neto de NW a SE de manera que en general la arena quedará acumulada en la playa apoyada en el Puerto de El Masnou (si bien existe una posición máxima de la línea de costa a partir de la cual la playa no puede avanzar más ya que el dique del puerto deja de tener efecto barrera –y que estará próxima a la de mayo de 2012 de la Figura 46.-). En los espigones existentes a poniente de las playas de Pla de l'Ós y La Descàrrega se seguirá acumulando arena (especialmente en este último caso) si bien las cantidades serán pequeñas ya que existe poca disponibilidad de material sedimentario, si bien de un modo global las playas de Pla de l'Ós, La Descàrrega y Ponent tendrán un comportamiento neto deficitario. En cualquier caso ante episodios de oleaje del SW estas tres playas bascularán temporalmente de manera que la arena se acumulará en el extremo de poniente de las playas. La playa de Bellamar al estar encajada entre el Puerto de Premià y el espigón que la separa de la playa de Pla de l'Ós tendrá un comportamiento en planta mucho más estable que el resto.
- En cuanto al comportamiento transversal, si bien el modelado numérico no ha detectado su existencia, los temporales hivernales movilizarán el sedimento del estrán de la playa hacia la berma sumergida y los oleajes de primavera y verano tenderán a transportar de nuevo esa arena hacia la playa seca, si bien una parte de sedimento habrá sido transportada por las corrientes longitudinales fuera del ámbito de las playas, por lo que no podrá reincorporarse a la dinámica transversal y volver a la playa seca o al estrán, y la fracción de sedimento movilizado hasta mayores profundidades por los temporales más intensos tampoco podrá ser movilizada por la dinámica transversal y se quedará en esas profundidades mayores, de modo que el balance neto en la zona será de pérdida de arena, que se traducirá en una regresión de la línea de costa y disminución de la superficie de playa seca.

6.2 BALANCE SEDIMENTARIO

Para efectuar el balance sedimentario de la playa objeto de estudio, se han considerado los siguientes límites:

Longitudinalmente	A levante: puerto de Premià
	A poniente: puerto de El Masnou
Transversalmente	Por el lado tierra: línea de FFCC + escollera de protección
	Por el lado mar: isóbata correspondiente a la profundidad de cierre (-9,45 m)

Desde el punto de vista del transporte longitudinal se produce una movilización de la arena a lo largo de la playa con dirección NE-SW o SW-NE en función del oleaje incidente. En promedio la dirección

neta es en dirección NE-SW, lo que provoca una acumulación de arena de la playa apoyada en el Puerto de El Masnou, si bien éste no es capaz de retener toda la arena, de manera que en promedio se pierden 2.000 m³/año hacia poniente.

Desde el punto de vista del transporte transversal, durante los temporales más energéticos parte de la arena de la playa seca/orilla es transportada a grandes profundidades (más allá de la zona litoral, limitada por la profundidad activa e incluso de la zona de asomeramiento, limitada por la profundidad de cierre) y ya no puede ser recuperada por la dinámica transversal. Durante los temporales hivernales más habituales y no tan energéticos la arena de la playa seca/orilla es transportada a profundidades menores de la activa (y por tanto dentro de la zona litoral) pero es arrastrada por las corrientes longitudinales ya que no existe ningún obstáculo que lo impida. En la mitad más oriental de la playa esta arena no puede ser reemplazada (puesto que en esta zona no existe ninguna fuente de sedimento tras la construcción del puerto de Premià), de modo que se produce un déficit de arena para ser transportada hacia playa durante la primavera y verano; por consiguiente una parte importante de la arena se pierde del sistema morfológico de las playas más situadas a levante, de manera que acaban teniendo una componente neta regresiva. En el caso de la playa más oriental esto no sucede ya que sí recibe sedimento procedente precisamente de las playas más orientales, por lo que su recuperación tras los temporales hivernales puede ser mejor. Todo ello se refleja en la siguiente figura.



Figura 47.- Esquema del balance sedimentario de la zona de estudio. (Fuente: elaboración propia)

7. RECURSOS DISPONIBLES DE ÁRIDOS Y CANTERAS. PREVISIÓN DE DRAGADOS O TRASVASES DE ARENAS

7.1 RECURSOS DISPONIBLES DE ÁRIDOS Y CANTERAS

En las proximidades a la zona de estudio existen suficientes canteras en explotación que pueden proveer la escollera necesaria para la construcción de los espigones. En el Anejo nº 6. Disponibilidad de los materiales se detalla su ubicación.

7.2 PREVISIÓN DE DRAGADOS O TRASVASE DE ARENAS

Una de las actuaciones incluidas en este proyecto consiste en el trasvase de la arena acumulada en el dique del puerto de El Masnou hasta el extremo oriental de la playa de Ocata.

Otra de las actuaciones incluidas en este proyecto incluye la aportación de arena procedente del yacimiento submarino existente frente a la zona de estudio a unas profundidades superiores a los 10 metros y que ha sido caracterizada en el Anejo nº 1 del presente proyecto.

8. PROPUESTA PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LAS OBRAS Y MEDIDAS CORRECTORAS Y COMPENSATORIAS

En el Estudio de Impacto Ambiental que acompaña el proyecto se analizan impactos sobre el medio marino en su globalidad (más allá de la dinámica litoral), así como las correspondientes medidas mitigadoras, correctoras y compensatorias.

9. PLAN DE SEGUIMIENTO DE LAS ACTUACIONES PREVISTAS

Se propone como medida de seguimiento de las actuaciones el levantamiento topo-batimétrico de la playa. Estos levantamientos se realizarán antes del inicio de las obras y pasados 1, 2 y 3 años, con objeto de poder analizar el eventual impacto. Para evitar desajustes estacionales en estos perfiles, deberán ser tomados preferiblemente en el mismo mes.

10. DINÁMICAS RESULTANTES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

10.1 ANTECEDENTES

El Reglamento General de Costas (aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre) especifica en su artículo 93 que el Estudio de Dinámica Litoral incluirá un estudio de las dinámicas resultantes de los efectos del cambio climático.

Además en su artículo 92 especifica que la evaluación de los efectos del cambio climático incluirá la consideración de la subida del nivel medio del mar, la modificación de las direcciones de oleaje, los incrementos de altura de ola, la modificación de la duración de temporales y en general todas aquellas modificaciones de las dinámicas costeras actuantes en la zona, en un periodo de tiempo que en el caso de obras de protección del litoral, puertos y similares será de un mínimo de 50 años desde la fecha de solicitud y que se deberán considerar las medidas de adaptación que el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) defina en la Estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático.

El MAGRAMA ha financiado el proyecto llamado 'Cambio Climático en la Costa Española' (C3E), que diagnostica y proyecta los efectos del Cambio Climático en toda la costa española peninsular y sus archipiélagos de forma más detallada, y ha desarrollado diversas herramientas para integrar dichos efectos en las políticas y medidas de protección costera, las cuales pueden obtenerse en su página web.

Los resultados de este proyecto están sirviendo de base para la elaboración de la "Estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático", de acuerdo a lo dispuesto en la Disposición adicional octava de la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.

En relación con dicha Estrategia, la web del Ministerio anuncia que, a fecha de redacción del presente proyecto, se ha elaborado el Documento de inicio y el borrador de la Estrategia para iniciar la tramitación de la Evaluación Ambiental Estratégica de este documento.

Los resultados del proyecto C3E se basan en buena parte en las conclusiones del estudio "Impacto en la costa Española por efecto del cambio climático" realizado por el GIOC por encargo del antiguo Ministerio de Medioambiente y la Oficina Española del Cambio Climático. De este estudio se han obtenido las tendencias de variación de las diferentes variables en la zona de estudio.

10.2 VARIACIÓN DE LA DINÁMICA COSTERA

En la Fase I-C del mencionado estudio se presentan los resultados de la evolución histórica de diferentes variables de la dinámica costera entre 1958 y 2001. Como se comenta en ese estudio, dichas tendencias pueden ser extrapoladas hasta el año 2050 con cierta fiabilidad.

A continuación se presentan de forma gráfica la tendencia evolutiva de las variables principales ligadas al oleaje y a la marea meteorológica en la costa española.

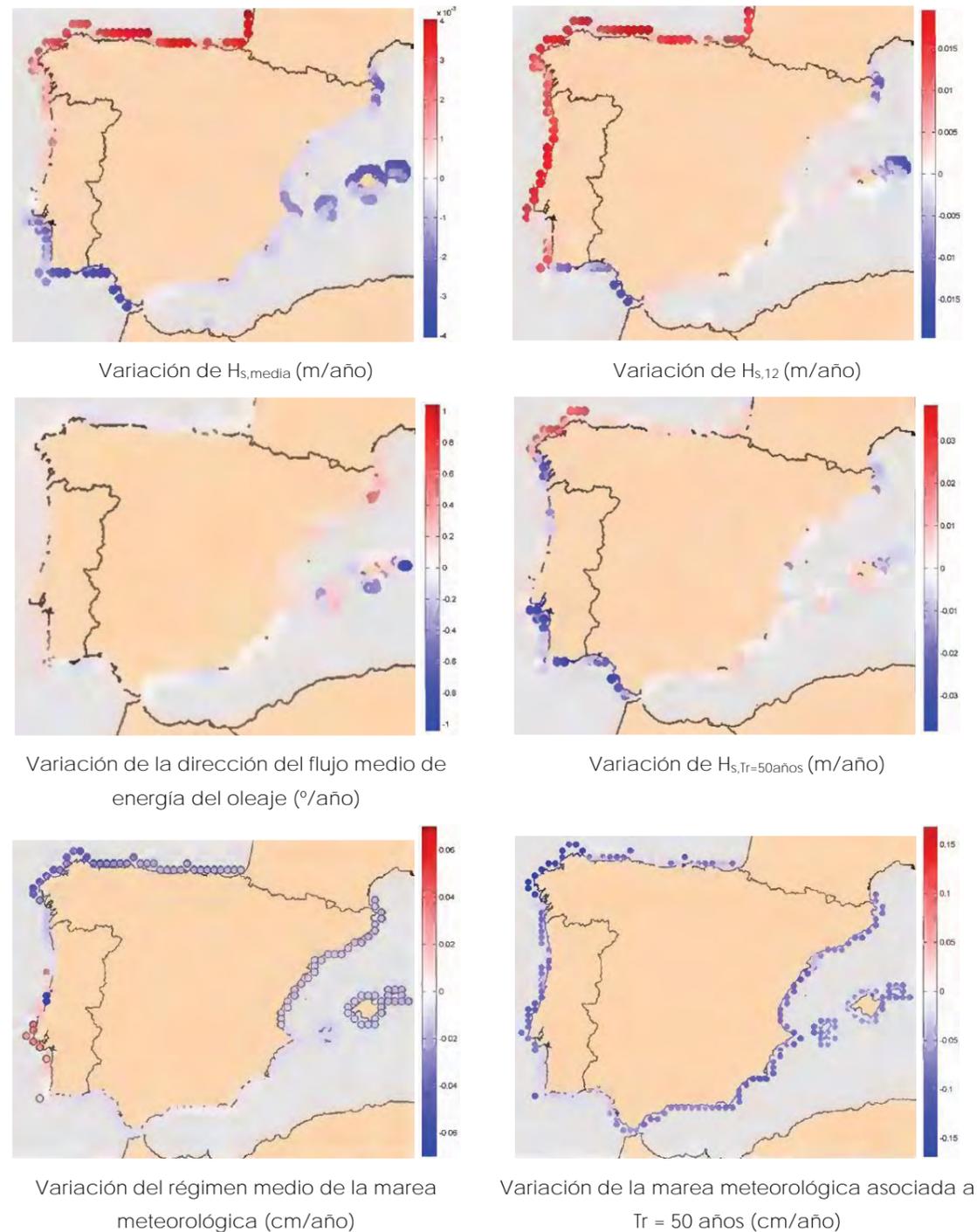


Figura 48.- Variación histórica de las principales variables de la dinámica costera en la costa española

Por lo que respecta al incremento del nivel medio del mar, en dicho estudio se propone la siguiente figura para toda la costa española:

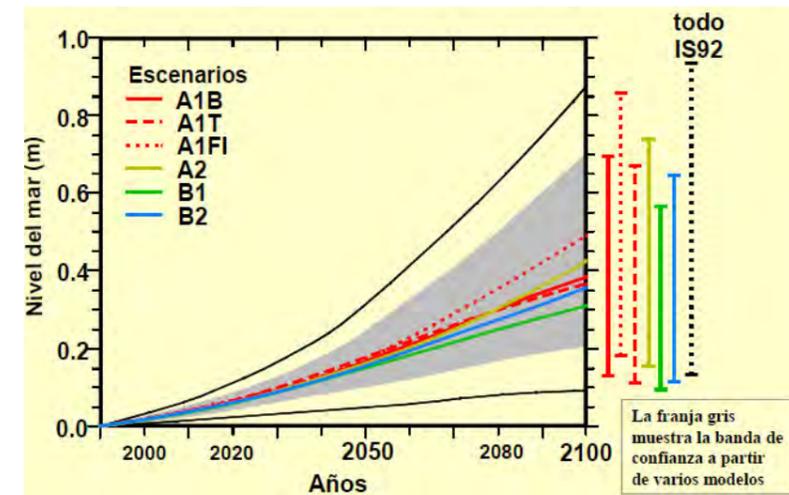


Figura 49.- Variación del nivel medio del mar

Como resultados numéricos en la zona de estudio se han considerado los del punto 225 de la página web www.c3e.ihcantabria.com (con coordenadas 2,38° E, 41,45° N), por ser el más cercano, y que son los siguientes:

$$\delta H_{s,media} = -0,057 \text{ cm/año}$$

$$\delta H_{s,12} = -0,142 \text{ cm/año}$$

$$\delta \theta_{FE} = -0,109^\circ/\text{año}^5$$

$$\delta H_{s,Tr=50años} = 0 \text{ m/año}$$

$$\delta \eta = +0,149 \text{ cm/año}^6$$

$$\delta MM_{Tr=50años} = -0,0437 \text{ cm/año}$$

De acuerdo con el Reglamento de Costas, el periodo de tiempo a considerar es de 50 años (en este caso hasta el año 2.066). En este caso la variación absoluta de las anteriores variables anteriores respecto a sus valores en la actualidad serán los siguientes:

- Incremento de la altura de ola significativa media: $\Delta H_{s,media} = -2,85 \text{ cm}$

⁵ El valor positivo se corresponde al sentido de las agujas del reloj

⁶ Este valor se obtiene a partir del análisis de la tendencia de la variación del nivel del mar en los últimos años. Si se complementa con los modelos globales implementados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) la variación del nivel medio del mar se incrementa, de manera que dentro de 50 años estaría en el entorno de un aumento de 25 cm.

- Incremento de la altura de ola significativa asociada a 12 h/año: $\Delta H_{s,12} = -7,1$ cm
- Incremento de la dirección media del flujo de energía del oleaje: $\Delta \theta_{FE} = -5,45^\circ$
- Incremento de la altura de ola significativa asociada a $T_R = 50$ años: $\Delta H_{s,T_R=50años} = 0$ m
- Incremento del nivel medio del mar: $\Delta \eta = +25$ cm
- Incremento de la marea meteorológica asociada a $T_R = 50$ años: $\Delta MM_{T_R=50años} = -2,19$ cm

- $\Delta \eta$ la variación del nivel medio del mar ($\Delta \eta = +25$ cm)
- $H_{s,12}$ la altura de ola significativa asociada a una excedencia del 12 h/año ($H_{s,12} = 2,45$ m)
- w la velocidad de caída del grano ($w = 0,070$ m/s, asociada a $D_{50} = 0,541$ mm, que es el tamaño medio de la arena de aportación, de acuerdo a lo especificado en la Tabla 1.-)
- B la altura de la berma ($B = +2,25$ m – $\eta_{medio} = +2,25 - 0,19 = 2,06$ m)

10.3 EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PLAYA DE ESTUDIO

La modificación del clima marítimo en la zona (representada por los valores presentados en el apartado anterior) se traduce fundamentalmente en tres efectos:

- Variación de la cota de inundación (ΔCI).
- Retroceso de la playa como consecuencia del incremento del nivel del mar ($RE_{1,max}$).
- Retroceso de la playa como consecuencia del giro del flujo medio de energía del oleaje ($RE_{2,max}$).

La variación de la cota de inundación (ΔCI) puede obtenerse mediante la expresión:

$$\Delta CI = \Delta MM + \Delta \eta + 0,0396 \cdot (gT^2/2\pi)^{0,5} \cdot \Delta H_s/H_s^{0,5}$$

siendo

- ΔMM la variación de la marea meteorológica ($\Delta MM = -2,19$ cm),
- $\Delta \eta$ la variación del nivel medio del mar ($\Delta \eta = +25$ cm),
- H_s la altura de ola significativa asociada a una excedencia del 2 %⁷ ($H_s = 2,45$ m),
- T el período pico asociado ($T = 9,2$ s), y
- ΔH_s la variación de la altura de ola significativa asociada a una excedencia del 2 % ($\Delta H_s = -7,1$ cm).

A partir de las variables indicadas entre paréntesis se obtiene un incremento de la cota de inundación

$$\Delta CI = 0,21 \text{ m}^{(8)}$$

En cuanto al máximo retroceso de la playa debido al incremento del nivel del mar ($RE_{1,max}$) puede obtenerse mediante la expresión

$$RE_1 = \Delta \eta \cdot (1,57 \cdot H_{s,12})^{1,5} \cdot (0,51 \cdot w^{0,44})^{-1,5} / (1,57 \cdot H_{s,12} + B)$$

siendo

⁷ A falta de información sobre $H_{s,2\%}$ se considerará $H_{s,2\%} = H_{s,12}$.

⁸ En realidad el valor de será algo menor ya que $H_{s,2\%} < H_{s,12}$, que ha sido la utilizada en los cálculos.

A partir de las variables indicadas entre paréntesis se obtiene un máximo retroceso

$$RE_1 = 5,07 \text{ m}$$

Finalmente, por lo que respecta al máximo retroceso de la playa debido al giro del oleaje ($RE_{2,max}$), así como el máximo avance, en el caso de playas encajadas se producirá en los extremos de las playas y su valor dependerá de la variación de la dirección del flujo medio de energía ($\Delta \theta_{FE}$) y de la longitud de la playa (L) a partir de la ecuación

$$RE_2 = 0,50 \cdot L \cdot \text{tg}(\Delta \theta_{FE})$$

Considerando un valor $\Delta \theta_{FE} = -5,45^\circ$ y se obtienen los siguientes retrocesos:

$$\text{Para } L = 250 \text{ m} \quad RE_2 = 11,92 \text{ m}$$

$$\text{Para } L = 500 \text{ m} \quad RE_2 = 23,85 \text{ m}$$

Debe tenerse en cuenta que en este caso el retroceso no es constante en toda la playa, sino que éste es el valor máximo en el extremo de levante de la playa mientras que en el otro extremo se producirá un avance de la línea de orilla, de manera que la superficie de playa que retroceda y la que avance se compensen, lo cual es una simplificación que los volúmenes erosionados y acumulados se compensen, ya que en este caso no hay pérdida de arena, solamente su redistribución espacial.

De esta manera el máximo retroceso de la línea de orilla se obtiene sumando las dos componentes (por sobre elevación del nivel del mar y por giro del oleaje).

En cuanto al retroceso medio de la línea de orilla coincidirá con el valor de RE_1 ya que como se ha dicho anteriormente el valor de RE_2 varía a lo largo de la playa, pasando de retroceso en un extremo a avance en el otro.

$$RE_{med} = RE_1 = 5,07 \text{ m}$$

10.4 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Los resultados de retroceso deberán ser tenidos en cuenta, de manera que el incremento de anchura que se proyecte sea al menos superior a dichos valores, de manera que la situación en 50 años no sea peor a la actual. Por todo ello en la zona donde se cree nueva playa la anchura deberá ser de al menos 30 m.

Por otro lado, como medida de adaptación se ha decidido que la cota inicialmente prevista para la berma superior (que era la +2,25 m r /CA en el Proyecto original) pase a ser la +2,50 m r /CA, con lo cual se absorbe uno de los tres fenómenos (el incremento de la cota de inundación).

Además el aumento de esta cota implica una leve reducción del máximo retroceso RE_1 , que pasa a ser $RE_1 = 4,87$ m.

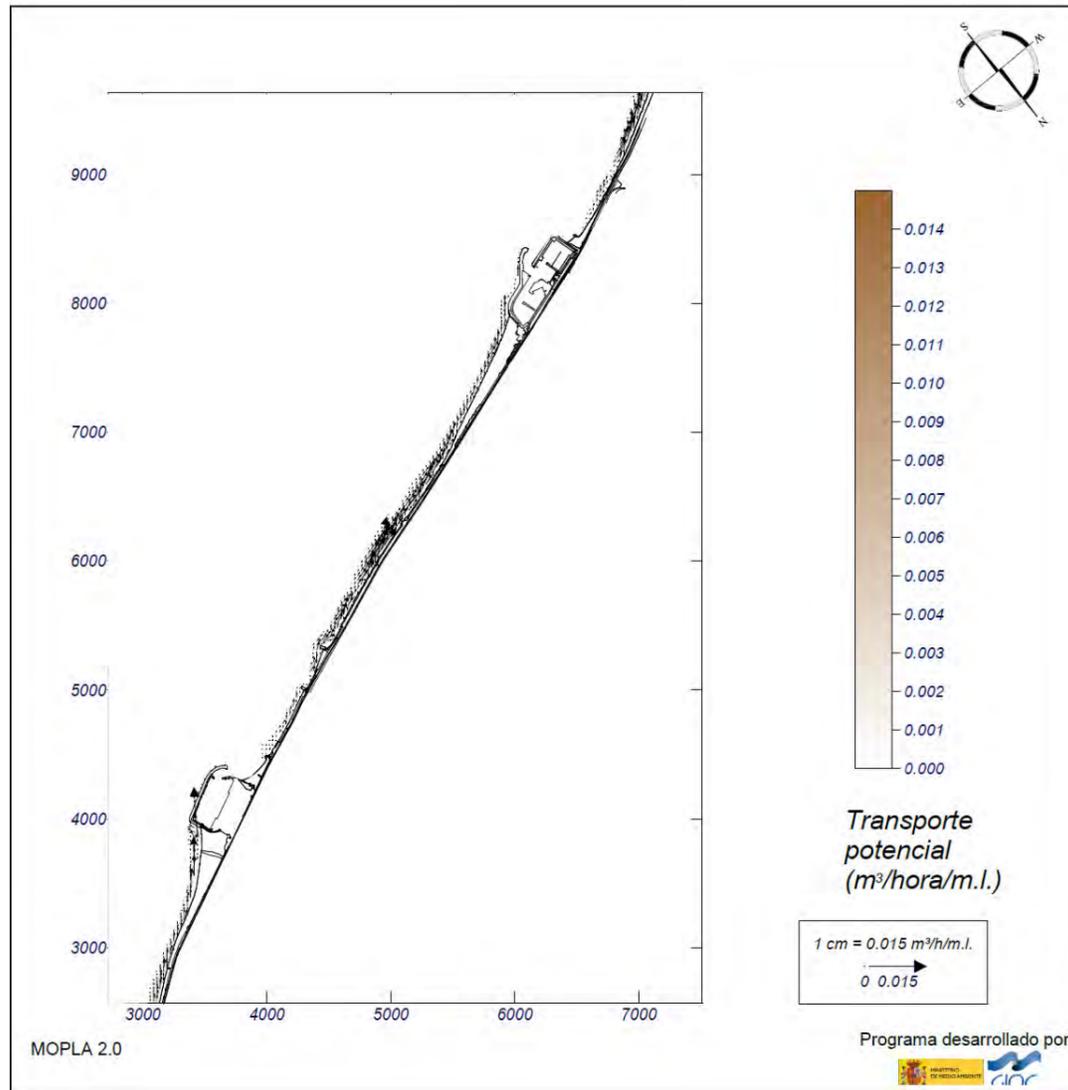
Apéndice 1. Figuras del transporte de sedimentos (modelo EROS)

Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

Caso espectral: B103
B1: detalle levantes
03: Hs morf E

Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 1 m h: 10 m fp: 0.15625 Hz (Tp: 6.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 7 Espectro direccional θ _m : 40° (E) σ: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse K _{swc} : 1 m Viscosidad de remolino ε: 8 m ² /s	D ₅₀ : 0.54 mm Duración: 12.0 h Formulación: Soulsby

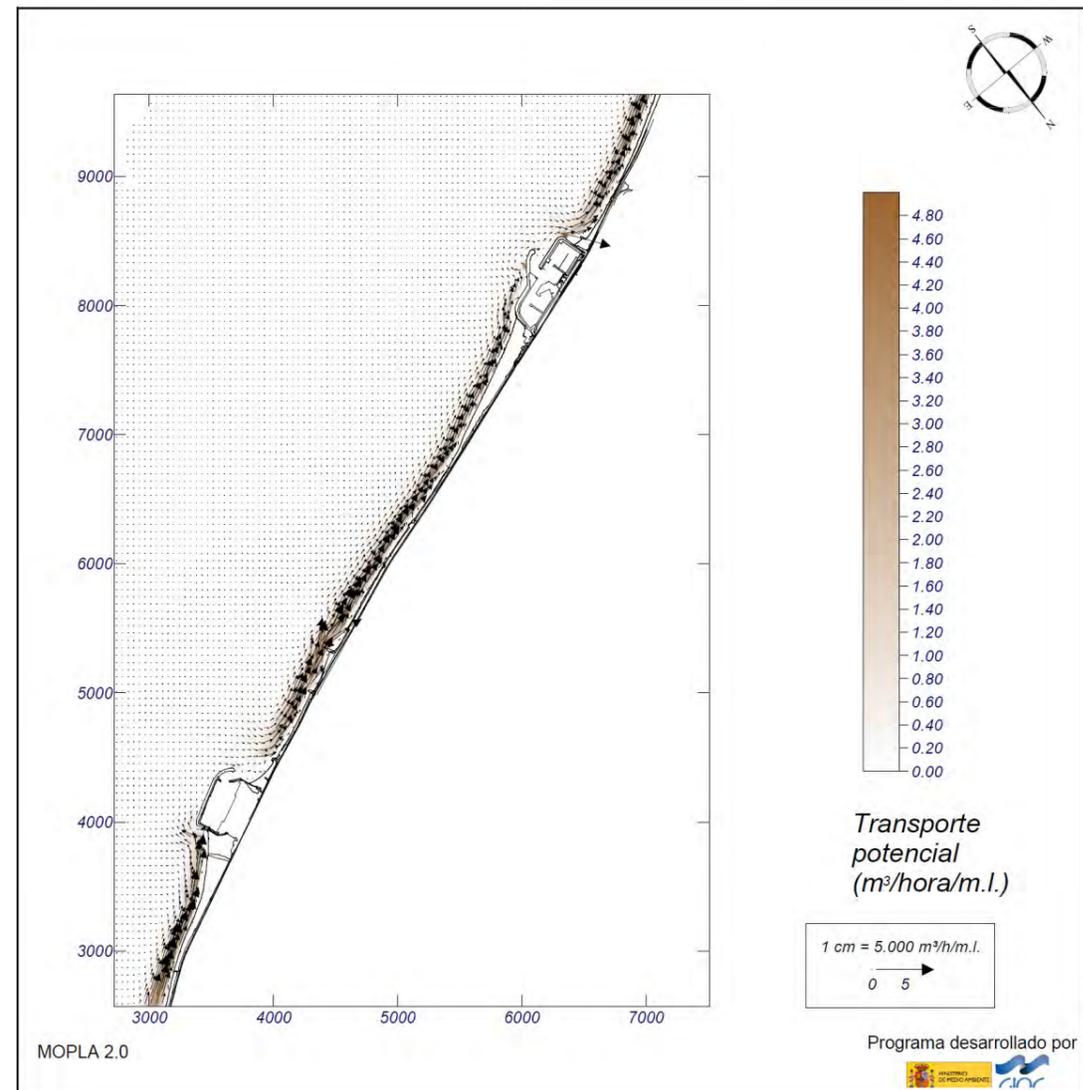


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

Caso espectral: B115
B1: detalle levantes
15: Hs12 E

Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 3.65 m h: 10 m fp: 0.103093 Hz (Tp: 9.70001 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 7 Espectro direccional θ _m : 40° (E) σ: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse K _{swc} : 1 m Viscosidad de remolino ε: 8 m ² /s	D ₅₀ : 0.54 mm Duración: 12.0 h Formulación: Soulsby

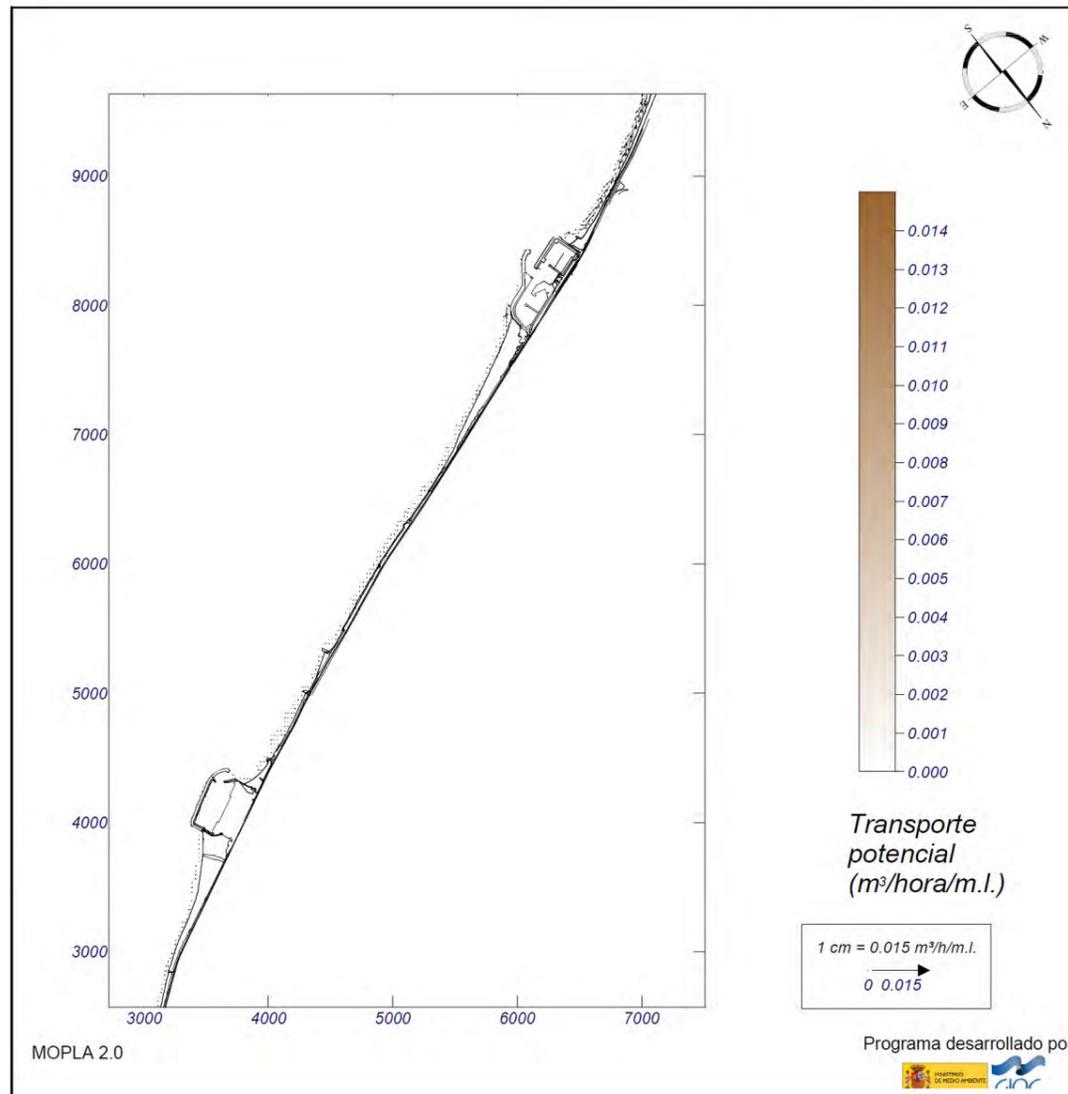


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

Caso espectral: B106
B1: detalle levantes
06: Hs morf SE

Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.65 m h: 10 m fp: 0.178571 Hz (Tp: 5.6 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θ _m : -5° (S45.0E) σ: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse K _{swc} : 1 m Viscosidad de remolino ε: 8 m ² /s	D ₅₀ : 0.54 mm Duración: 12.0 h Formulación: Soulsby

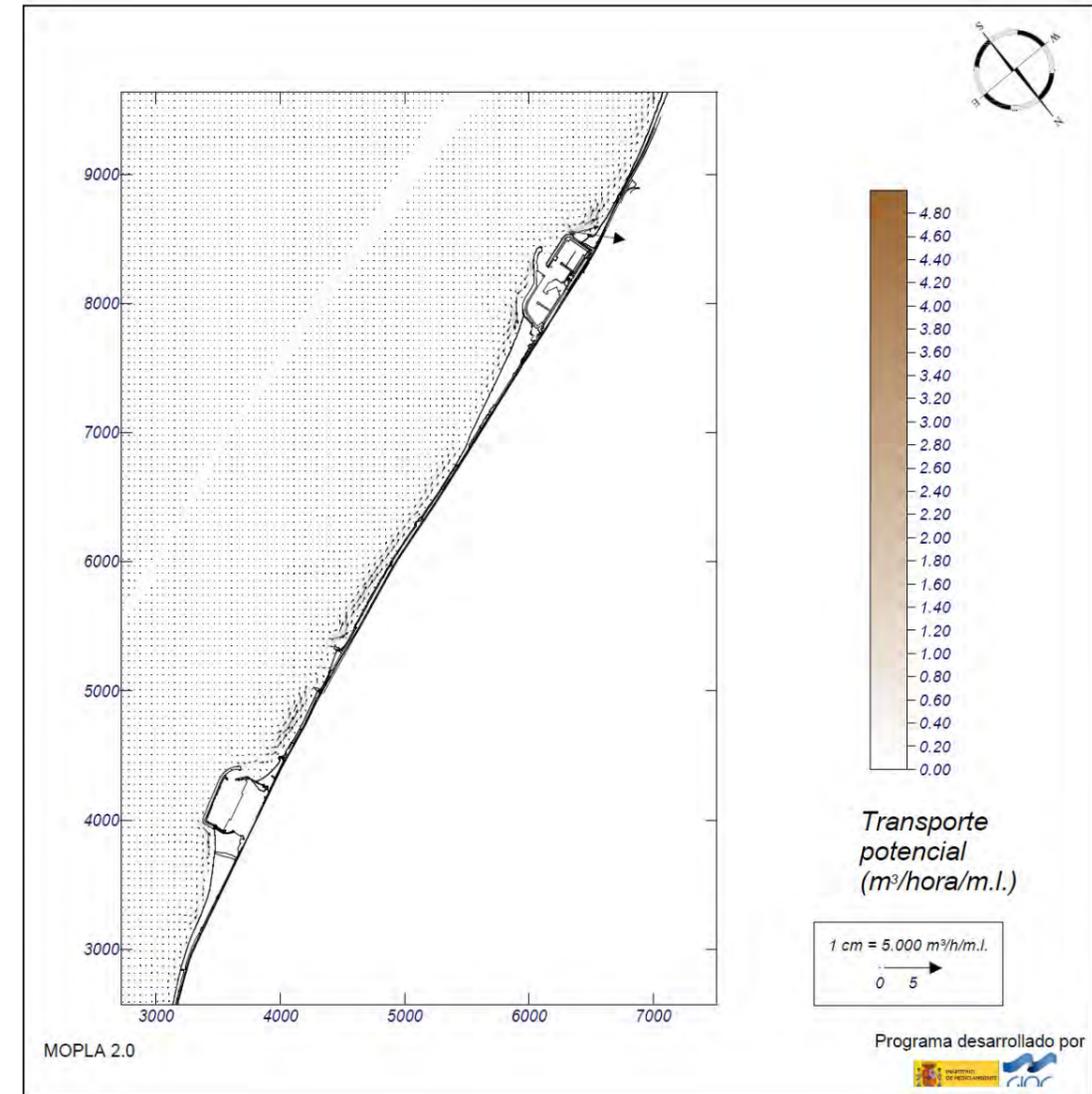


Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

Caso espectral: B116
B1: detalle levantes
16: Hs12 SE

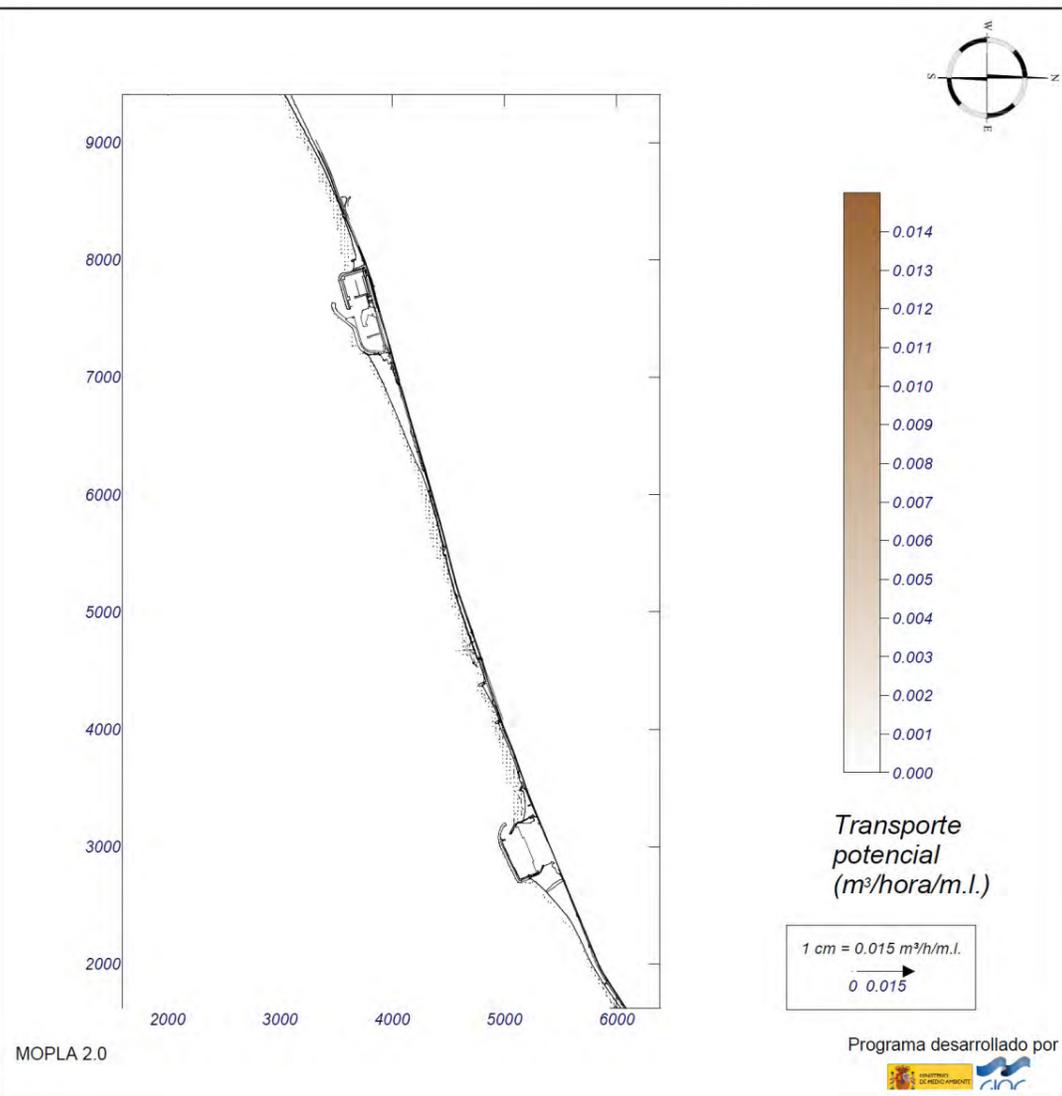
Características de la simulación		
OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 2.15 m h: 10 m fp: 0.120482 Hz (Tp: 8.3 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θ _m : -5° (S45.0E) σ: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse K _{swc} : 1 m Viscosidad de remolino ε: 8 m ² /s	D ₅₀ : 0.54 mm Duración: 12.0 h Formulación: Soulsby



Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

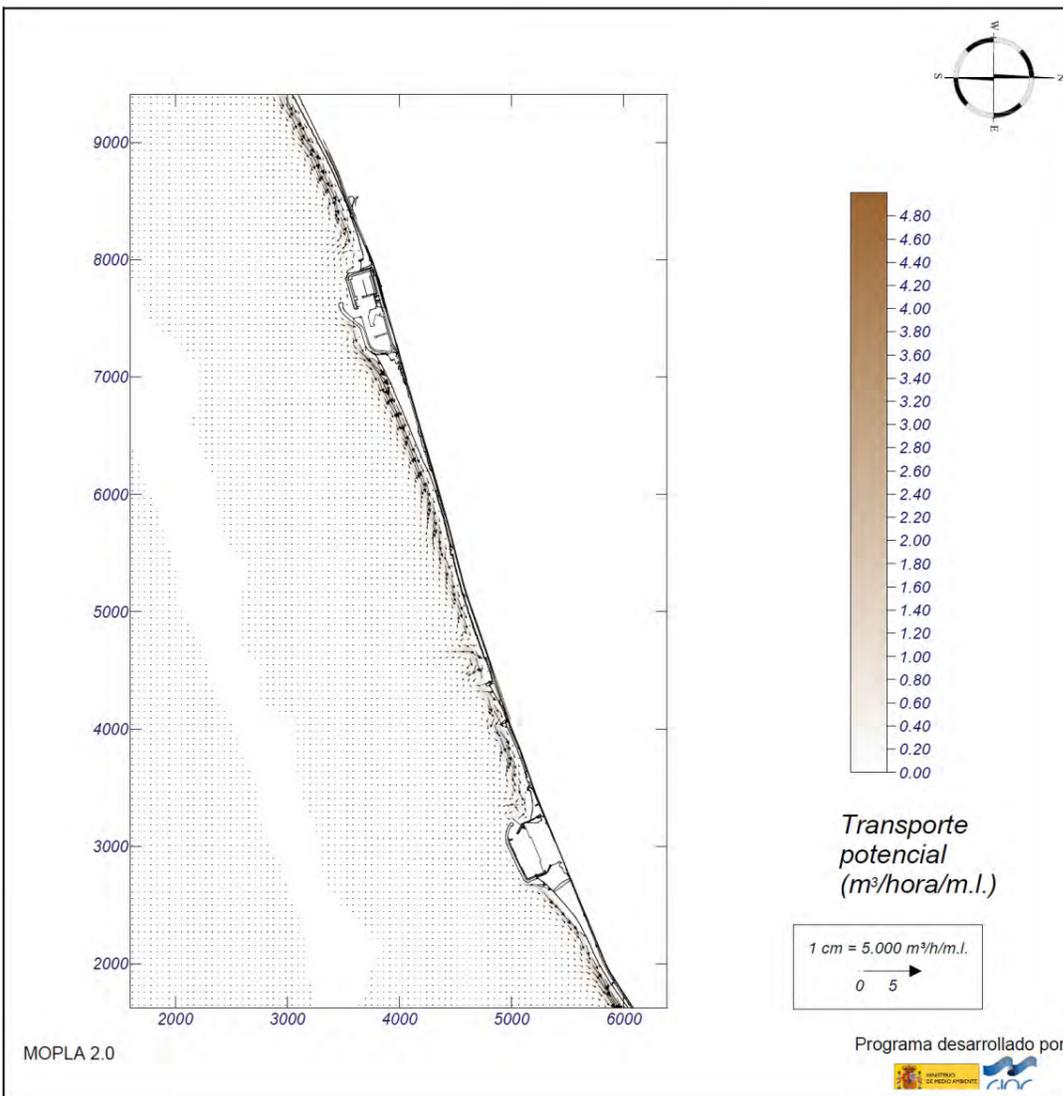
Caso espectral: C109 C1: detalle ponientes 09: Hs morf S	Características de la simulación		
	OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
	Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.71 m h: 10 m fp: 0.175439 Hz (Tp: 5.7 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θ _m : 0° (S) α: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse K _{swc} : 1 m Viscosidad de remolino ε: 8 m ² /s	D ₅₀ : 0.54 mm Duración: 12.0 h Formulación: Soulsby



Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

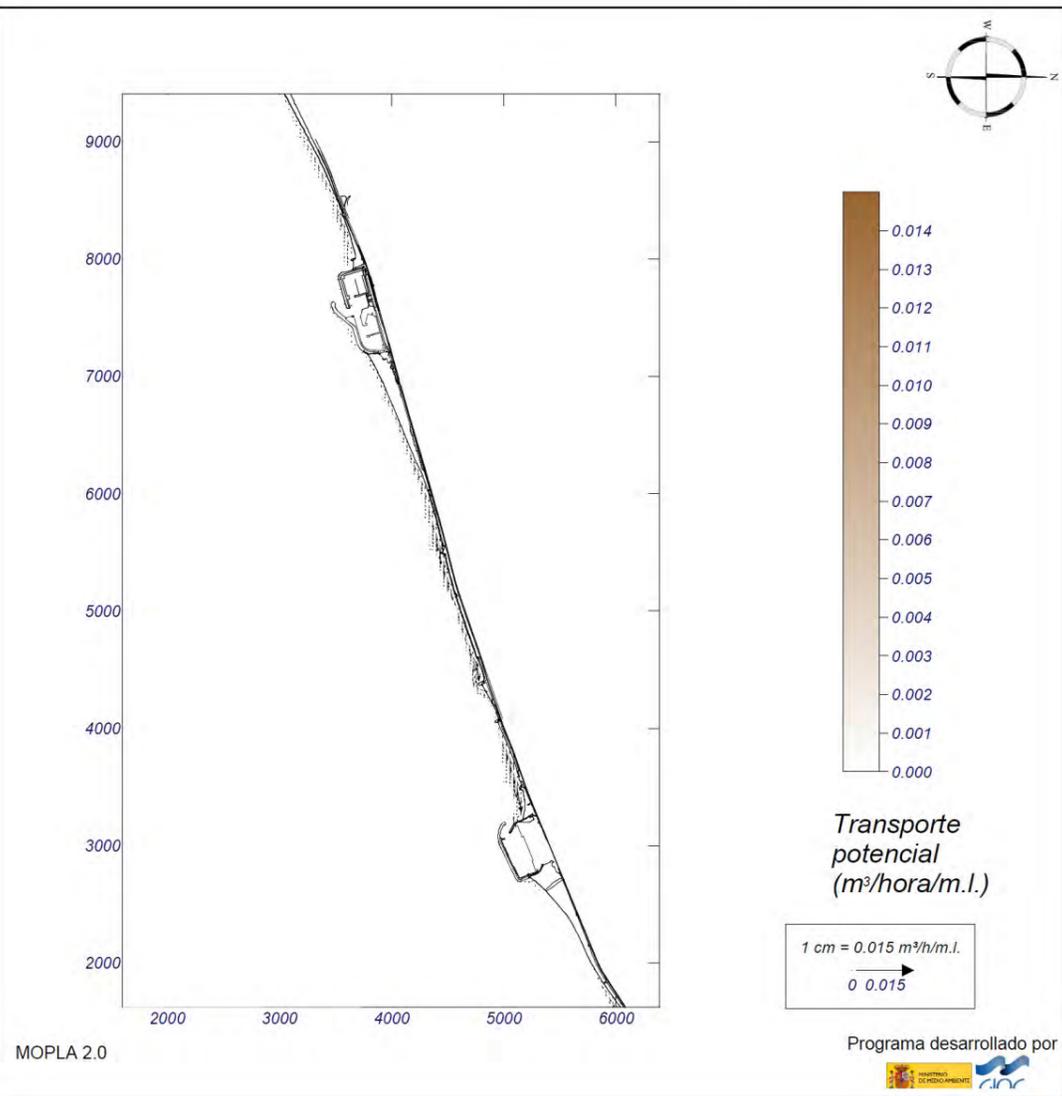
Caso espectral: C117 C1: detalle ponientes 17: Hs12 S	Características de la simulación		
	OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
	Espectro frecuencial (TMA) Hs: 2.54 m h: 10 m fp: 0.113636 Hz (Tp: 8.80003 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θ _m : 0° (S) α: 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse K _{swc} : 1 m Viscosidad de remolino ε: 8 m ² /s	D ₅₀ : 0.54 mm Duración: 12.0 h Formulación: Soulsby



Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

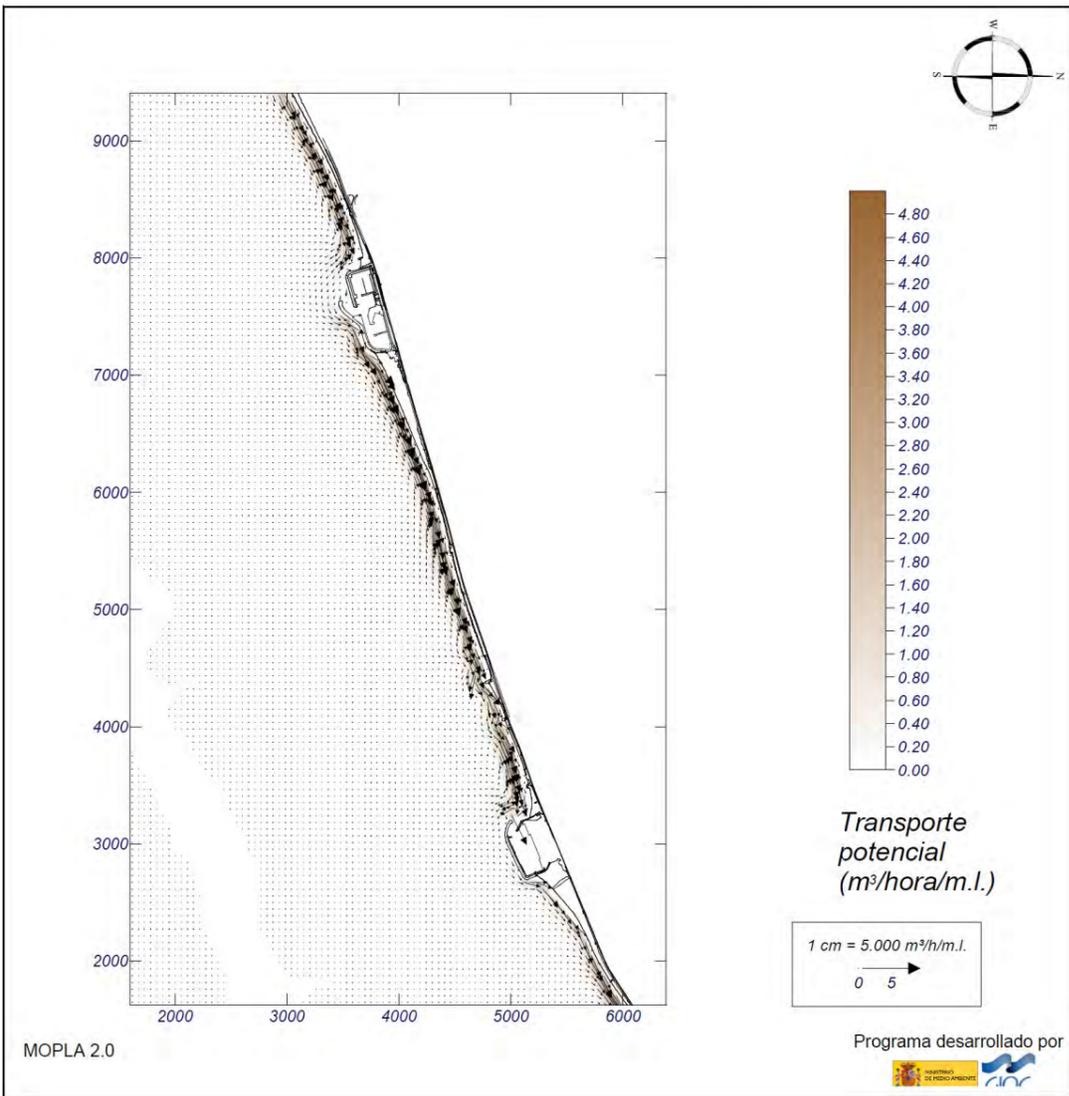
Caso espectral: C112 C1: detalle ponientes 12: Hs morf SSW	Características de la simulación		
	OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
	Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.8 m h: 10 m fp: 0.169492 Hz (Tp: 5.9 s) γ : 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θ_m : -22.5° (S22.5W) σ : 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse Kswc: 1 m Viscosidad de remolino ϵ : 8 m ² /s	D ₅₀ : 0.54 mm Duración: 12.0 h Formulación: Soulsby



Proyecto: Tramo de playa Port Masnou-Port Premià

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

Caso espectral: C118 C1: detalle ponientes 18: Hs12 SSW	Características de la simulación		
	OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
	Espectro frecuencial (TMA) Hs: 2.96 m h: 10 m fp: 0.108696 Hz (Tp: 9.2 s) γ : 3.3 Nº Comp.: 5 Espectro direccional θ_m : -22.5° (S22.5W) σ : 5° - Nº Comp.: 5	Rugosidad de Nikuradse Kswc: 1 m Viscosidad de remolino ϵ : 8 m ² /s	D ₅₀ : 0.54 mm Duración: 12.0 h Formulación: Soulsby



ANEJO N° 5. REPORTAJE FOTOGRÁFICO

ÍNDICE

1. FOTOGRAFÍAS ACTUALES DESDE TIERRA.....	1
2. FOTOGRAFÍAS HISTÓRICAS	6
3. FOTOGRAFÍAS AÉREAS	8

Índice de figura

Figura 1.- Ubicación de las fotografías (Fuente: Elaboración propia)	1
--	---

Índice de tablas

Fotografía 1.- Panorámica de la playa de Llevant, apoyada en el dique del puerto deportivo de Premià (Fuente: elaboración propia)	2
Fotografía 2.- Panorámica de la playa de Bellamar junto al contradique del puerto deportivo de Premià (Fuente: elaboración propia)	2
Fotografía 3.- Playa de Bellamar en Premià de Mar desde el escollero situado en su extremo occidental (Fuente: elaboración propia)	6
Fotografía 4.- Playa del Pla de l'Os en Premià de Mar desde el escollero situado en su extremo oriental (Fuente: elaboración propia)	6
Fotografía 5.- Extremo occidental de la playa del Pla de l'Os –junto al primer espigón– (Fuente: elaboración propia)	6
Fotografía 6.- Extremo oriental de la playa de Ponent en Premià de Mar –junto al segundo espigón– (Fuente: elaboración propia)	6
Fotografía 7.- Extremo oriental de la playa de Ocata en El Masnou (Fuente: elaboración propia)	7
Fotografía 8.- Parte occidental de la playa de Ocata, apoyada en el dique del puerto deportivo de El Masnou (Fuente: elaboración propia)	7
Fotografía 9.- Extremo oriental de la playa de Ocata, junto al puerto deportivo de El Masnou (Fuente: elaboración propia)	7
Fotografía 10.- Rampa de acceso a la playa de Ocata junto al puerto deportivo de El Masnou (Fuente: elaboración propia)	6
Fotografía 11.- Vista histórica de la playa de Ocata (años 1920 – 30) (Fuente: www.iefc.cat)	6

Fotografía 12.- Vista histórica de la playa de La Descàrrega (Fuente: www.todocoleccion.net)	6
Fotografía 13.- Vista histórica de las playas de La Descàrrega y Pla de l'Os (años 1920 – 30) (Fuente: www.iefc.cat)	7
Fotografía 14.- Vista histórica de la playa del Pla de l'Os (Fuente: www.pueblos-espana.org)	7
Fotografía 15.- Vista histórica de las playas del Pla de l'Os (años 1920 – 30) (Fuente: www.iefc.cat)	7
Fotografía 16.- Vista histórica de la playa de Bellamar (década de los 50) (Fuente: www.el-trastero.eu)	7
Fotografía 17.- Extremo occidental de la playa de Ocata (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)	8
Fotografía 18.- Parte occidental de la playa de Ocata (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)	8
Fotografía 19.- Parte central de la playa de Ocata (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)	8
Fotografía 20.- Parte oriental de la playa de Ocata (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)	8
Fotografía 21.- Extremo oriental de la playa de Ocata (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)	9
Fotografía 22.- Escollera entre las playas de Ocata y Ponent (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)	9
Fotografía 23.- Playas de Ponent y La Descàrrega (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)	9
Fotografía 24.- Extremo oriental de la playa La Descàrrega y playa del Pla de l'Os (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)	9
Fotografía 25.- Extremo oriental de la playa Pla de l'Os y playa de Bellamar (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)	10
Fotografía 26.- Playa de Llevant de Premià de Mar (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)	10

1. FOTOGRAFÍAS ACTUALES DESDE TIERRA

En la Figura 1.- se muestra la ubicación de las diferentes fotografías tomadas desde la zona de proyecto

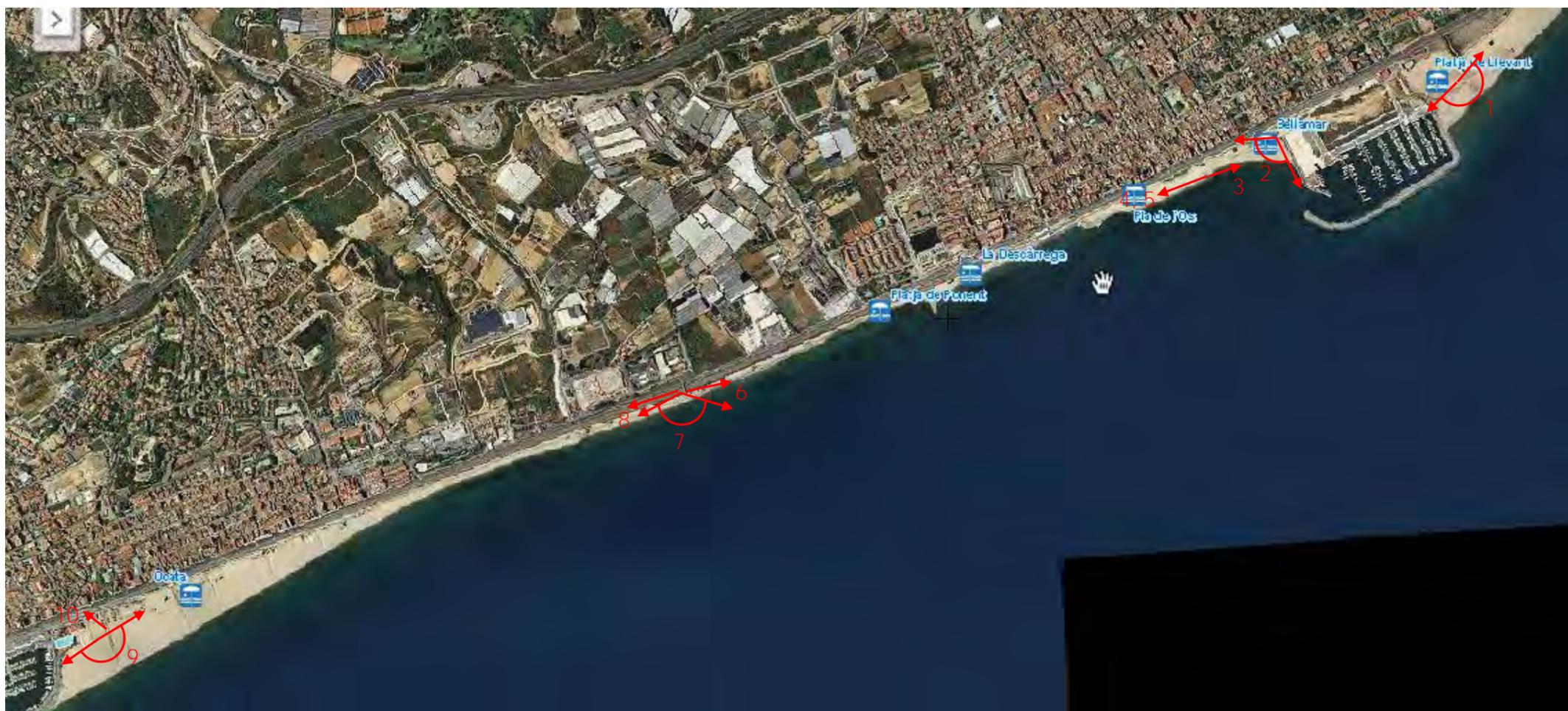


Figura 1.- Ubicación de las fotografías (Fuente: Elaboración propia)



Fotografía 1.- Panorámica de la playa de Llevant, apoyada en el dique del puerto deportivo de Premià (Fuente: elaboración propia)



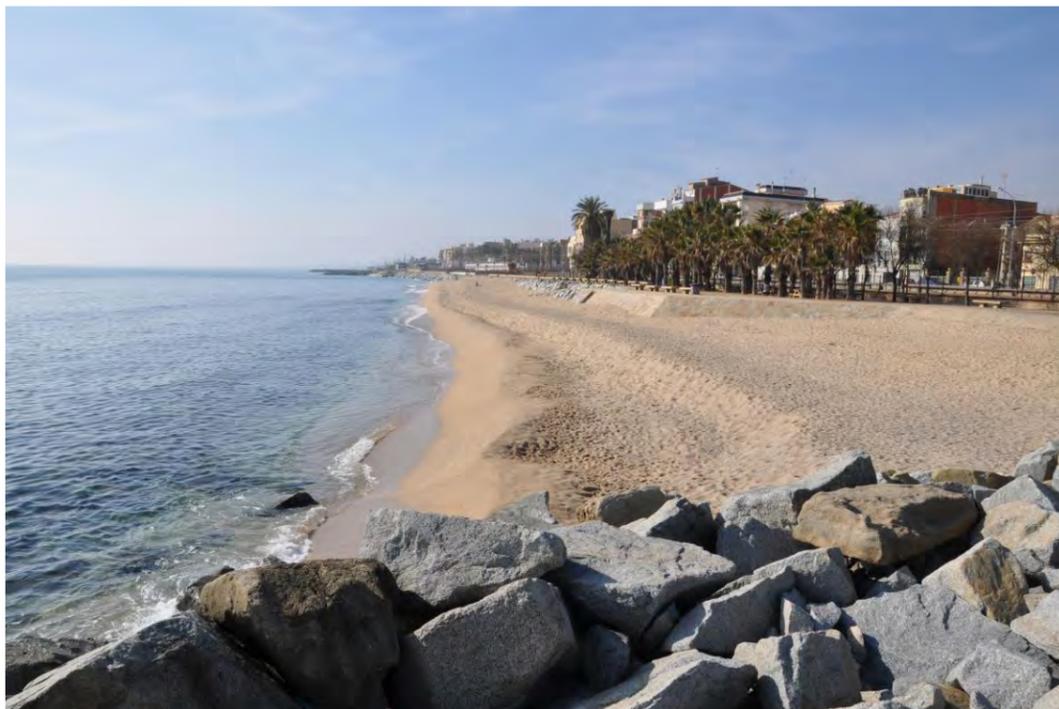
Fotografía 2.- Panorámica de la playa de Bellamar junto al contradique del puerto deportivo de Premià (Fuente: elaboración propia)



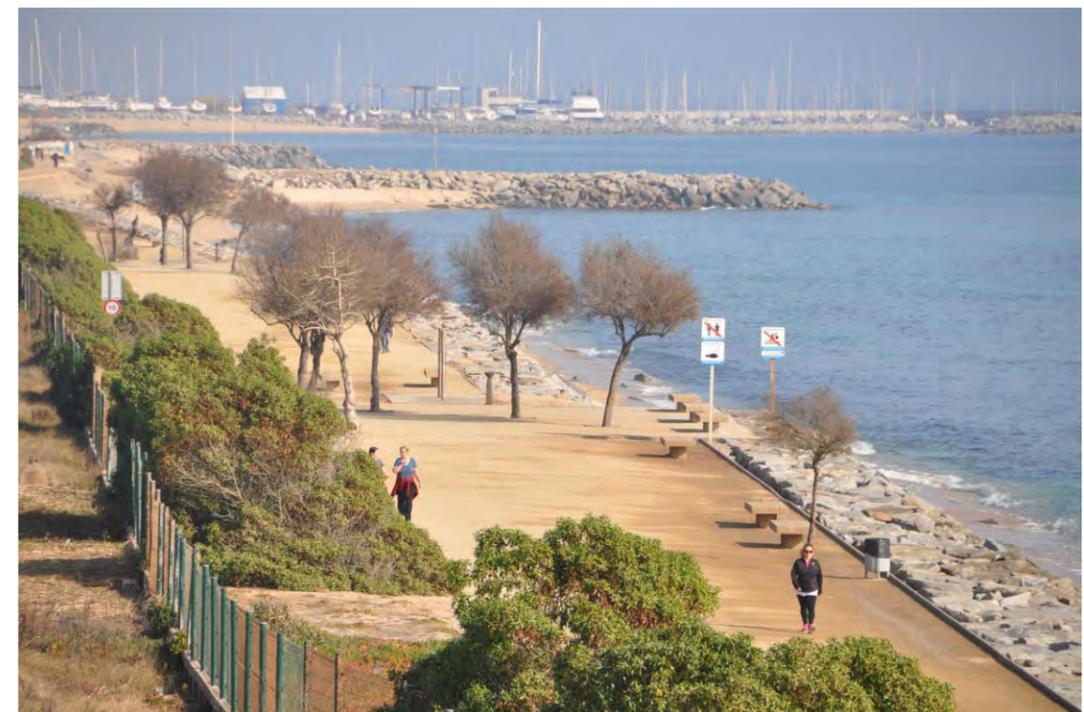
Fotografía 3.- Playa de Bellamar en Premià de Mar desde el escollero situado en su extremo occidental (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 5.- Extremo occidental de la playa del Pla de l'Os –junto al primer espigón– (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 4.- Playa del Pla de l'Os en Premià de Mar desde el escollero situado en su extremo oriental (Fuente: elaboración propia)



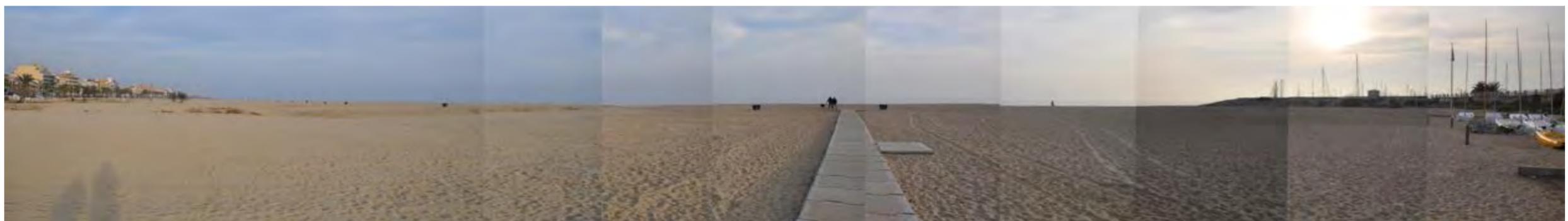
Fotografía 6.- Extremo oriental de la playa de Ponent en Premià de Mar –junto al segundo espigón– (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 7.- Extremo oriental de la playa de Ocata en El Masnou (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 8.- Parte occidental de la playa de Ocata, apoyada en el dique del puerto deportivo de El Masnou (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 9.- Extremo oriental de la playa de Ocata, junto al puerto deportivo de El Masnou (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 10.- Rampa de acceso a la playa de Ocata junto al puerto deportivo de El Masnou (Fuente: elaboración propia)

2. FOTOGRAFÍAS HISTÓRICAS



Fotografía 11.- Vista histórica de la playa de Ocata (años 1920 – 30) (Fuente: www.iefc.cat)



Fotografía 12.- Vista histórica de la playa de La Descàrrega (Fuente: www.todocoleccion.net)



Fotografía 13.- Vista histórica de las playas de La Descàrrega y Pla de l'Os (años 1920 – 30) (Fuente: www.iefc.cat)



Fotografía 15.- Vista histórica de las playas del Pla de l'Os (años 1920 – 30) (Fuente: www.iefc.cat)



Fotografía 14.- Vista histórica de la playa del Pla de l'Os (Fuente: www.pueblos-espana.org)



Fotografía 16.- Vista histórica de la playa de Bellamar (década de los 50) (Fuente: www.el-trastero.eu)

3. FOTOGRAFÍAS AÉREAS



Fotografía 17.- Extremo occidental de la playa de Ocata (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)



Fotografía 18.- Parte occidental de la playa de Ocata (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)



Fotografía 19.- Parte central de la playa de Ocata (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)



Fotografía 20.- Parte oriental de la playa de Ocata (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)



Fotografía 21.- Extremo oriental de la playa de Ocata (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)



Fotografía 23.- Playas de Ponent y La Descàrrega (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)



Fotografía 22.- Escollera entre las playas de Ocata y Ponent (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)



Fotografía 24.- Extremo oriental de la playa La Descàrrega y playa del Pla de l'Os (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)



Fotografía 25.- Exremo oriental de la playa Pla de l'Os y playa de Bellamar (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)



Fotografía 26.- Playa de Llevant de Premià de Mar (Fuente: antigua Dirección Gral. de Costas)

ANEJO N° 6. ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD DE MATERIALES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ARENA DE APORTACIÓN	1
2.1 ARENA PROCEDENTE DE LA PLAYA DE OCATA	1
2.2 ARENA PROCEDENTE DEL YACIMIENTO SUMERGIDO.....	2
3. ESCOLLERAS	4

Índice de figuras

Figura 1.- Ubicación de muestras en la zona de excavación de la playa de Ocata (Fuente: elaboración propia).....	1
Figura 2.- Análisis granulométricos de las muestras de los perfiles P-1 y P-2 (Fuente: elaboración propia).....	2
Figura 3.- Ubicación de la zona de extracción (Fuente: elaboración propia).....	2
Figura 4.- Análisis granulométricos de las 9 muestras en la zona de extracción (Fuente: elaboración propia).....	2
Figura 5.- Ubicación de la zona de extracción finalmente seleccionada (Fuente: elaboración propia).....	3
Figura 6.- Análisis granulométricos de las 5 muestras en la zona de extracción finalmente seleccionada, incluyendo la MG-D-5 (Fuente: elaboración propia).....	3
Figura 7.- Ubicación de las canteras próximas a la zona de obras (Fuente: Google Maps).....	4

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se efectúa un estudio de la posible procedencia de los principales materiales necesarios para la ejecución de la obra proyectada: arena para la regeneración de la playa y escollera para la construcción del espigón sumergido.

2. ARENA DE APORTACIÓN

Pese a que una de las actuaciones incluidas en el proyecto consiste en la retirada de un importante volumen de sedimento retenido por el dique del Puerto de El Masnou, no resulta suficiente para las actuaciones en las playas de Bellamar y del Pla de l'Ós, por lo que se requiere obtener arena de otra zona, en particular el yacimiento submarino situado al SW del puerto de Premià.

2.1 ARENA PROCEDENTE DE LA PLAYA DE OCATA

En la Figura 1.- se muestra la ubicación de las muestras sedimentarias obtenidas en el tramo de playa de Ocata apoyada en el dique del Puerto de El Masnou y que será retirada para retroalimentar el extremo de levante de dicha playa y cuyos análisis granulométricos se muestran en los Anejos nº 1 y 4.

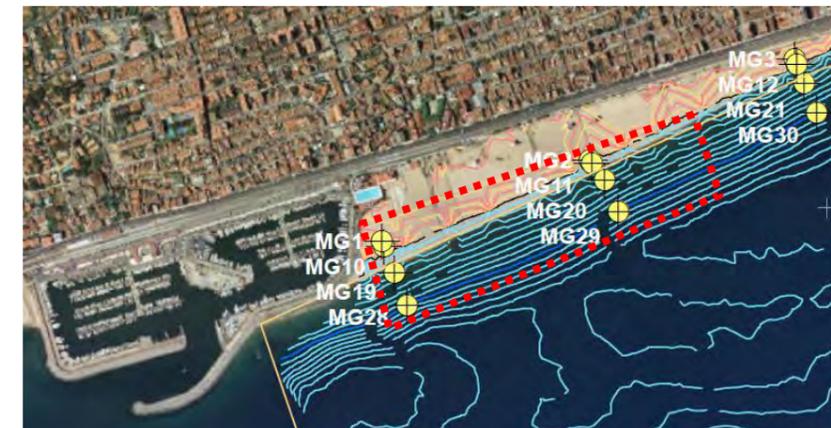


Figura 1.- Ubicación de muestras en la zona de excavación de la playa de Ocata (Fuente: elaboración propia)

En particular la zona donde se va a retirar la arena corresponde a los perfiles P-1 y P-2, los más occidentales, cuyas curvas granulométricas se muestran en la Figura 2.- .

Las características de la muestra mezcla representativa de la arena de playa de ambos perfiles son:

$$D_{16} = 1,282 \text{ mm}$$

$$D_{50} = 0,675 \text{ mm}$$

$$D_{84} = 0,343 \text{ mm}$$

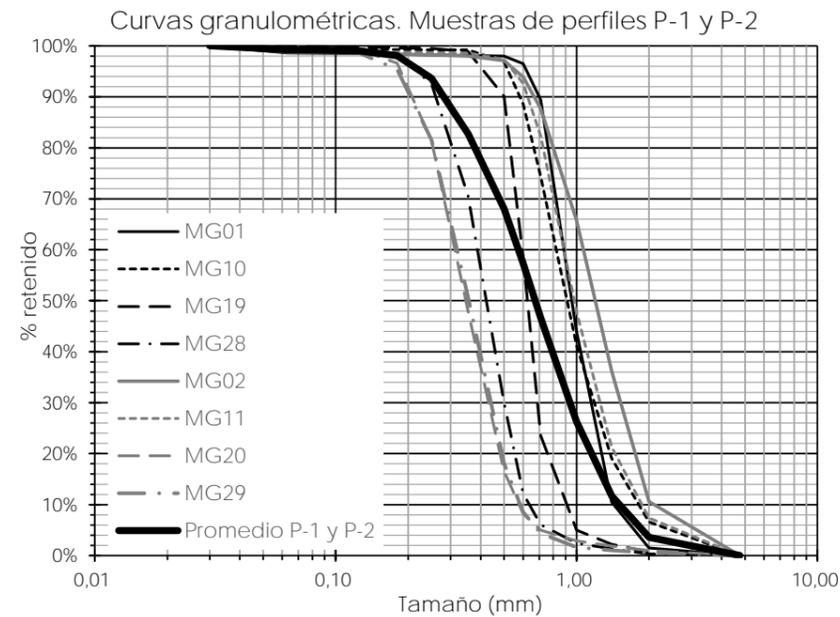


Figura 2.- Análisis granulométricos de las muestras de los perfiles P-1 y P-2 (Fuente: elaboración propia)

2.2 ARENA PROCEDENTE DEL YACIMIENTO SUBMARINO

En una reunión entre la Demarcación de Costas de Cataluña de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa (representada por la Directora de este proyecto) se acordó que la fuente de suministro para la aportación de arena sería la zona situada al sur del Puerto de Premià (ver Figura 3.-) y que tradicionalmente ha venido siendo empleado en regeneraciones realizadas por la DGSCM.

Dicha zona fue sometida a un completo análisis físico, químico y medioambiental, cuyos resultados se presentan en el Anejo nº 1 de este proyecto. De dicho análisis se concluye que no hay ningún impedimento químico (contaminación) para el empleo de la arena existente.

En particular se tomaron 9 muestras de arena (cuya posición también se presenta en la Figura 3.-), que fueron sometidas a análisis granulométricos y que se muestran en los Anejos nº 1 y 4 de este proyecto.

Las características granulométricas de las muestras de arena obtenidas en estas zonas se resumen en la Figura 4.- en la que se representan las curvas granulométricas de cada muestra y la de la muestra mezcla (es decir, aquella que se obtendría mezclando proporcionalmente las 5 muestras). Se aprecia que cinco de las muestras (MG-D-3, 4, 6, 8 y 9) corresponden con Arenas Medias (AM, es decir, con un tamaño medio D_{50} entre 0,25 y 0,50 mm) y las otras cuatro (MG-D-1, 2, 5 y 7) corresponden con Arenas Medias (AG, es decir, con un tamaño medio D_{50} entre 0,50 y 1 mm). Los diámetros medios D_{50} de las muestras oscilan entre 0,275 y 0,538 mm.



Figura 3.- Ubicación de la zona de extracción (Fuente: elaboración propia)

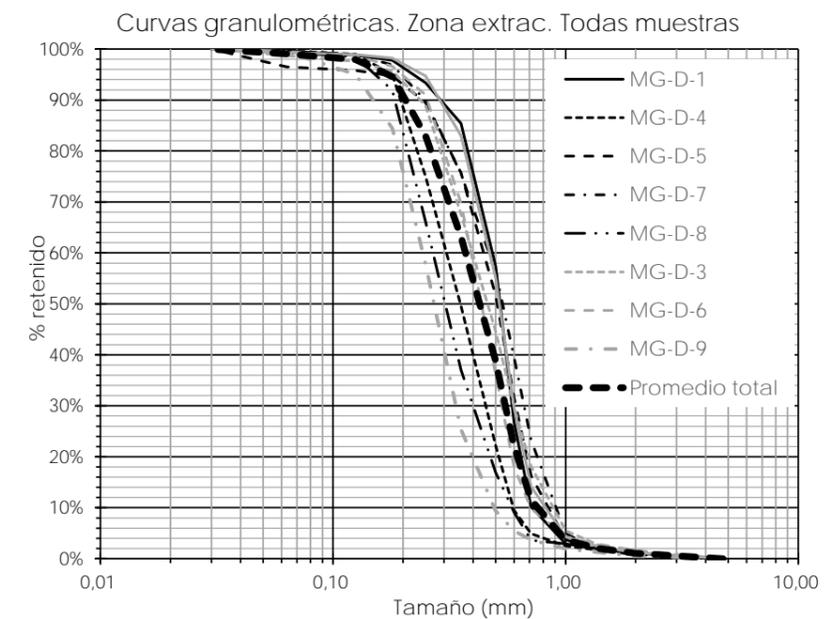


Figura 4.- Análisis granulométricos de las 9 muestras en la zona de extracción (Fuente: elaboración propia)

Las características de la muestra mezcla representativa de la arena marina de aportación o préstamo son:

$$D_{16} = 0,664 \text{ mm}$$

$$D_{50} = 0,434 \text{ mm}$$

$$D_{84} = 0,243 \text{ mm}$$

No obstante el análisis batimétrico se ha detectado la presencia de una zanja con una profundidad máxima de -18 m, lo que indicaría que dicha zona no se ha recuperado tras las extracciones anteriores realizadas. Por otro lado se observa que la muestra MG-D-9 es, con diferencia la que presenta una arena más fina ($D_{50} = 0,275 \text{ mm}$), por lo que parece adecuado no emplearla,

Por todo ello parece lógico restringir la zona de extracción al polígono indicado en la Figura 5.- y que estaría representado por las muestras MG-D-1, 2, 3, 4, 5 y 6 (se incluye la MG-D-5 por su proximidad al límite del polígono considerado). La muestra mezcla de estas cinco muestras se presenta en la Figura 6.-.

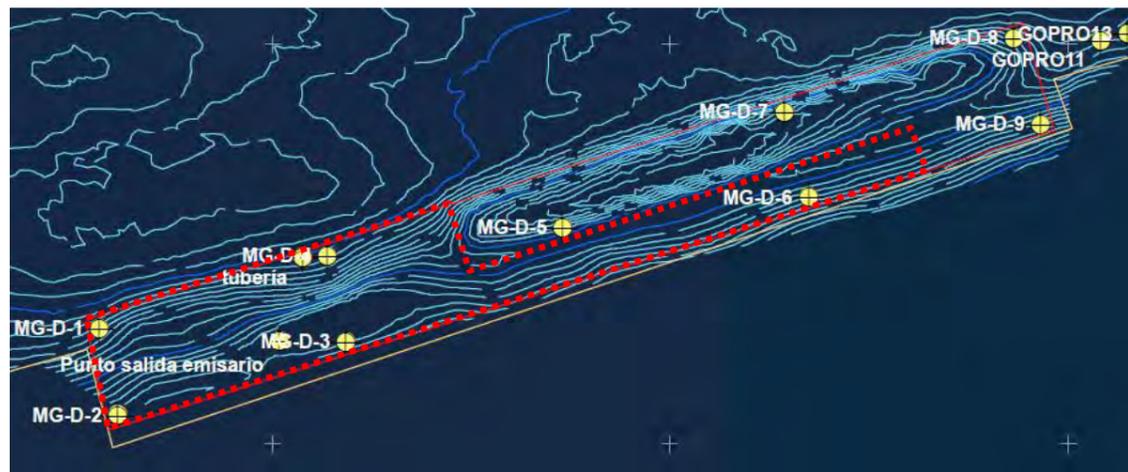


Figura 5.- Ubicación de la zona de extracción finalmente seleccionada (Fuente: elaboración propia)

En este caso, las características de la muestra mezcla representativa de la arena marina de aportación o préstamo sería:

$$D_{16} = 0,675 \text{ mm}$$

$$D_{50} = 0,471 \text{ mm}$$

$$D_{84} = 0,279 \text{ mm}$$

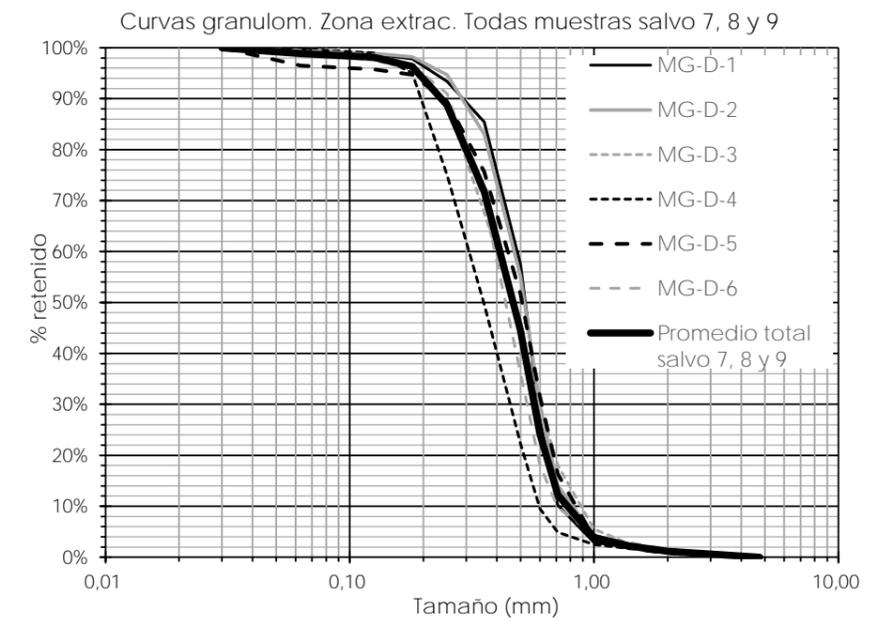


Figura 6.- Análisis granulométricos de las 5 muestras en la zona de extracción finalmente seleccionada, incluyendo la MG-D-5 (Fuente: elaboración propia)

3. ESCOLLERAS

Para la construcción de los espigones se necesitará escollera de diferente categoría:

- Todo uno (escollera sin clasificar) para el Núcleo
- Escollera clasificada para capa filtro: 250 kg, 350 kg y 400 kg
- Escollera clasificada para manto exterior: 3.500 kg, 5.000 kg y 6.000 kg

En las proximidades de la obra existen cinco canteras que comercializan este tipo de productos.

- Cantera de la empresa ÀRIDS GARCIA CANTERES GRANÍTIQUES, S.L., situada en la carretera de Cardedeu a Dosrius (BV-5103), km. 6.500, El Coll; 08450 Llinars del Vallès.
Oficinas centrales en c/Josep Umbert, 48, entl.3ª; 08402 Granollers
Teléfonos: 93-871-14-23 / 93-845-41-17 / 661-207-977 / 93-861-60-15.
Dirección web: www.aridsgarcia.com.
- Cantera CAN ROCÀ en carretera de Can Pruna 1; 08319 Dosrius
- Cantera PEDRA PLAVA situada en la carretera de Òrrius (BV-5106); 08317 Òrrius.
Explotada por la empresa Pedracor, S.A. Oficinas centrales: Apartado de correos 24; 08310 Argentona.
Teléfono: 93 758 97 18; Fax: 93 741 69 26
<https://www.pedracor.com>
- Cantera SANTA QUITÈRIA en Parc Ambiental Santa Quitèria, 08410 Vilanova del Vallès
- Cantera de la empresa CANTERAS CANRO, S.A., situada en la carretera de Sant Adrià de Besòs a la Roca del Vallès (BV-5001), km. 10; 08105 San Fost de Campsentelles.
Teléfono: 935 705 342; Fax: 935 705 282
Dirección web: www.canteras-de-piedras.es/barcelona/canteras-canro.

En la Figura 7.- se muestra la ubicación de estas canteras Las distancias hasta la zona de proyecto se muestran en la Tabla 1

Tabla 1 Distancias y tiempos de recorrido entre las canteras y las zonas de proyecto (Fuente: elab. propia)

Cantera	Puerto de Premià	Puerto de El Masnou
Àrids García	21,3 km (26 min)	27,5 km (28 min)
Can Rocà	21,4 km (26 min)	27,7 km (28 min)
Pedra Blava	20,9 km (21 min)	26,1 km (32 min)
Santa Quitèria	23,9 km (30 min)	14,4 km (26 min)
Canro	26,6 km (37 min)	19,3 km (28 min)

El volumen de escollera requerido en este caso es suficientemente pequeño de manera que no habrá problemas en el suministro de tales cantidades por cualquiera de las canteras mencionadas.

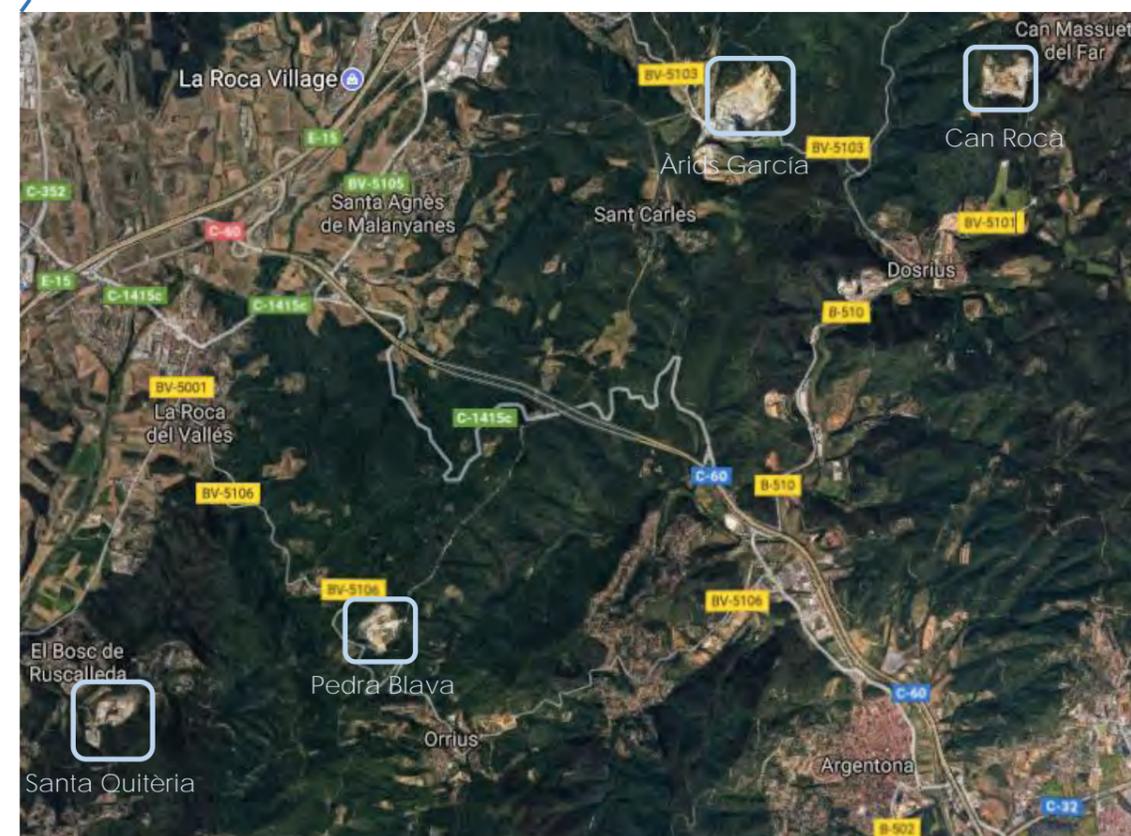


Figura 7.- Ubicación de las canteras próximas a la zona de obras (Fuente: Google Maps)

ANEJO N° 7. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

ÍNDICE

1.	CONCEPCIÓN GENERAL DE LAS ALTERNATIVAS	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.1.1	SOBRE LA DINÁMICA LITORAL	1
1.1.2	SOBRE EL ESTUDIO REALIZADO POR EL CEDEX (2014)	1
2.	ACTUACIÓN 1. ESTABILIZACIÓN DE LAS PLAYAS DE PREMIÀ A PONIENTE DE SU PUERTO	3
2.1	OBJETIVO DE LA ACTUACIÓN	3
2.2	ALTERNATIVAS PLANTEADAS	3
2.2.1	ALTERNATIVA 0. NO ACTUACIÓN	3
2.2.2	ALTERNATIVA 1. RECRECIMIENTO DEL ACTUAL ESPIGÓN Y APORTE DE ARENA	3
2.2.2.1	Variante 1A	3
2.2.2.2	Variante 1B.....	5
2.2.3	ALTERNATIVA 2. RECRECIMIENTO DEL ACTUAL ESPIGÓN, APORTE DE ARENA Y NUEVO ESPIGÓN EXENTO.....	5
2.2.3.1	Variante 2A	5
2.2.3.2	Variante 2B.....	5
2.2.4	ALTERNATIVA 3. RECRECIMIENTO DEL ACTUAL ESPIGÓN Y APORTE DE ARENA Y NUEVO ESPIGÓN PERPENDICULAR A LA PLAYA	6
2.2.4.1	Variante 3A	6
2.2.4.2	Variante 3B.....	7
2.3	ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS	8
3.	ACTUACIÓN 2. RETROALIMENTACIÓN DE LAS PLAYAS DE EL MASNOU A LEVANTE DE SU PUERTO	10
3.1	OBJETIVO DE LA ACTUACIÓN	10
3.2	ALTERNATIVAS PLANTEADAS	10
3.2.1	ALTERNATIVA 0. NO ACTUACIÓN	10

3.2.2	ALTERNATIVA 1	10
3.3	ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS	11
4.	ACTUACIÓN 3. CONSTRUCCIÓN DE UN DIQUE DE APOYO EN LA PLAYA DE OCATA EL MASNOU.....	12
4.1	OBJETIVO DE LA ACTUACIÓN	12
4.2	ALTERNATIVAS PLANTEADAS	12
4.2.1	ALTERNATIVA 0. NO ACTUACIÓN	12
4.2.2	ALTERNATIVA 1	12
4.3	ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS	13

Apéndice 1. Planos

Índice de figuras

Figura 1.-	Propuestas de actuación en el tramo entre los puertos de El Masnou y Premià sugeridas en el informe del CEDEX. (Fuente: CEDEX)	1
Figura 2.-	Alternativa de la actuación 1 con espigón exento sugerida en el informe del CEDEX. (Fuente: CEDEX)	2
Figura 3.-	Sección tipo transversal de las alimentaciones propuestas en el informe del CEDEX. (Fuente: CEDEX)	2
Figura 4.-	Forma de equilibrio en planta de la playa de Bellamar (Fuente: elaboración propia)	3
Figura 5.-	Planta de la alternativa 1A de la actuación 1 (Fuente: elaboración propia).....	4
Figura 6.-	Zona en la que se produce un adelantamiento de la escollera de protección en la transición entre las playas de Bellamar y Pla de l'Ós. (Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth).....	4
Figura 7.-	Planta de la alternativa 1B de la actuación 1 (Fuente: elaboración propia).....	5
Figura 8.-	Planta de la alternativa 2A de la actuación 1 (Fuente: elaboración propia).....	6
Figura 9.-	Planta de la alternativa 2B de la actuación 1 (Fuente: elaboración propia)	6
Figura 10.-	Planta de la alternativa 3A de la actuación 1 (Fuente: elaboración propia).....	7
Figura 11.-	Planta de la alternativa 3B de la actuación 1 (Fuente: elaboración)	8

Figura 12.-	Evolución de la playa apoyada en el dique del Puerto de El Masnou desde 2004. La posición tan retrasada de 2004 respecto a la de 2006 se explica por la regeneración realizada a finales de 2005 (Fuente: elaboración propia)	11
Figura 13.-	Planta de la alternativa 1de la actuación 2 (Fuente: elaboración propia)	11
Figura 14.-	Perfill simplificado (lineal) a emplear en la retirada de la arena (Fuente: elaboración propia).....	11
Figura 15.-	Planta de la alternativa 1de la actuación 3 (Fuente: elaboración propia)	13

Índice de tablas

Tabla 1.-	Comparación de las diferentes alternativas propuestas de la actuación 1 (Fuente: elaboración propia)	9
Tabla 2.-	Presupuesto de las alternativas (Fuente: elaboración propia)	9
Tabla 3.-	Comparación de las diferentes alternativas propuestas de la actuación 2 (Fuente: elaboración propia).....	12
Tabla 4.-	Comparación de las diferentes alternativas propuestas de la actuación 2 (Fuente: elaboración propia).....	13

1. CONCEPCIÓN GENERAL DE LAS ALTERNATIVAS

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 SOBRE LA DINÁMICA LITORAL

En el Anejo nº 4 de este proyecto se efectuó un completo análisis de la dinámica litoral del tramo de costa entre los puertos de El Masnou y Premià con objeto de determinar las causas que motivan una pérdida más o menos continuada de la arena (pese a que hay algunas temporadas en la que se recupera anchura de playa seca). Las principales conclusiones de dicho estudio son las siguientes:

- Desde el punto de vista del transporte longitudinal se produce una movilización de la arena a lo largo de la playa con dirección NE-SW o SW-NE en función de la dirección del oleaje incidente. En promedio la dirección neta es en dirección NE-SW con unos valores entre los 25.000 m³/año (en la mitad oriental) y los 30.000 m³/año en la mitad (occidental), lo que provoca una acumulación de arena de la playa apoyada en el Puerto de El Masnou, si bien éste no es capaz de retener toda la arena, de manera que en promedio se pierden 2.000 m³/año hacia poniente.
- Desde el punto de vista del transporte transversal, durante los temporales más energéticos parte de la arena de la playa seca/orilla es transportada a grandes profundidades (más allá de la zona litoral, limitada por la profundidad activa e incluso de la zona de asomeramiento, limitada por la profundidad de cierre) y ya no puede ser recuperada por la dinámica transversal. Durante los temporales hibernales más habituales y no tan energéticos la arena de la playa seca/orilla es transportada a profundidades menores de la activa (y por tanto dentro de la zona litoral) pero es arrastrada por las corrientes longitudinales ya que no existe ningún obstáculo que lo impida. En la mitad más oriental de la playa esta arena no puede ser reemplazada (puesto que en esta zona no existe ninguna fuente de sedimento tras la construcción del puerto de Premià), de modo que se produce un déficit de arena para ser transportada hacia playa durante la primavera y verano; por consiguiente una parte importante de la arena se pierde del sistema morfológico de las playas más situadas a levante, de manera que acaban teniendo una componente neta regresiva. En el caso de la playa más oriental esto no sucede ya que sí recibe sedimento procedente precisamente de las playas más orientales, por lo que su recuperación tras los temporales hibernales puede ser mejor.

1.1.2 SOBRE EL ESTUDIO REALIZADO POR EL CEDEX (2014)

En abril de 2014 el Centro de Puertos y Costas del CEDEX realizó por encargo de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (DGSCM) el Estudio "Estrategia de actuación en el Maresme (Informe final)", con clave CEDEX: 22-410-5-001. En dicho informe, tras analizar el estado actual del tramo litoral de la comarca del Maresme (en el que se encuentra el tramo objeto de actuación en el presente proyecto) y diagnosticar los principales problemas, se plantean una serie de actuaciones, incluyendo una priorización.

En particular en el tramo entre los puertos de El Masnou y Premià propone la sectorización en cinco celdas, para lo que son necesarias las siguientes actuaciones, que se reflejan en la Figura 1.-.

- Actuación 1. Recrecimiento del espigón que separa las playas de L'Ós y La Descàrrega y vertido de 350.000 m³ de arena en la playa de L'Ós y Bellamar. Esta actuación presentaba 2 alternativas: i) construyendo un espigón exento entre las playas de Bellamar y de L'Ós (ver Figura 2.-) y ii) sin incluir dicho espigón exento.
- Actuación 2. Recrecimiento del espigón que separa las playas de La Descàrrega y de Ponent y vertido de 134.000 m³ de arena en la playa de La Descàrrega.
- Actuación 3. Construcción de un nuevo espigón con forma de L a poniente de la playa de Ponent de Premià (situado a unos 800 m del actualmente existente y cuyo recrecido se plantea en la actuación 2) y vertido de 460.000 m³ de arena en la playa de La Descàrrega.
- Actuación 4. Construcción de un nuevo espigón con forma de L a levante de la playa de Ocata de El Masnou (situado a unos 890 m a poniente del nuevo espigón que se plantea en la actuación 3) y vertido de 500.000 m³ de arena entre ambos espigones.
- Actuación 5. Retroalimentación de arena apoyada en el dique del puerto de El Masnou, dejando una anchura de playa seca en el entorno de 60 m y vertiendo el material sobrante en la mitad oriental de dicha celda (que finaliza 1.200 m a levante del dique del puerto de El Masnou) y el resto de material en la celda situada inmediatamente a levante (la de la actuación 4).
- Actuación 6. Construcción de un espolón adosado al dique del Puerto de El Masnou que controle el nivel de avance de la playa apoyada en él.



Figura 1.- Propuestas de actuación en el tramo entre los puertos de El Masnou y Premià sugeridas en el informe del CEDEX. (Fuente: CEDEX)



Figura 2.- Alternativa de la actuación 1 con espigón exento sugerida en el informe del CEDEX. (Fuente: CEDEX)

En dicho informe se comenta que la idea final es mantener una playa con una cierta estabilidad de una anchura de playa seca en torno a 60 m (ver Figura 3.-) y que será necesario prever un mantenimiento mediante la gestión de la arena para intentar que las zonas con anchuras inferiores a 30 m no existan. Por tanto debe procurarse una retroalimentación dentro de cada celda y, en su caso, dentro del subsector entre ambos puertos.

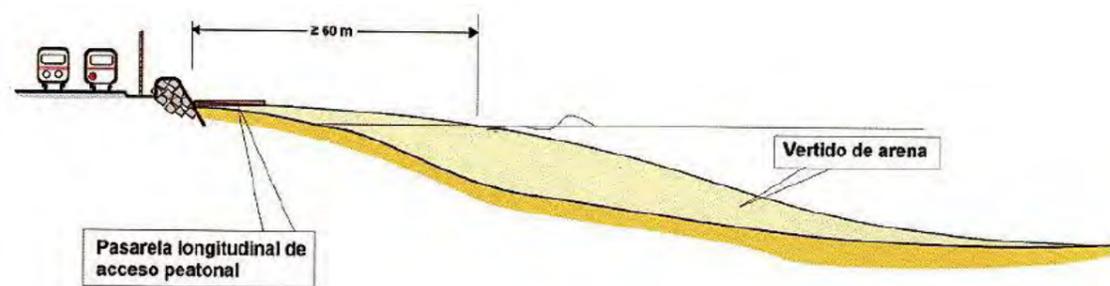


Figura 3.- Sección tipo transversal de las alimentaciones propuestas en el informe del CEDEX. (Fuente: CEDEX)

Dicho documento ha pasado a formar parte de la línea programática de las actuaciones de la DGSCM y de hecho las actuaciones a incluir en el contrato de Asistencia Técnica para la redacción del "Proyecto de actuaciones en el Maresme; TT.MM. de El Masnou – Premià de Mar (Barcelona)" adjudicado por la DGSCM a MARCIGLOB son la número 1, 5 y 6.

Por consiguiente las alternativas que se planteen en este documento no pueden ir en contra de lo expuesto en dicho informe del CEDEX y por tanto abordarán aspectos que no hayan sido correcta o totalmente definidos en dicho documento.

De acuerdo al Pliego de Bases de la presente Asistencia Técnica, los nombres de dichas actuaciones son los siguientes:

- Actuación 1. Estabilización de las playas de Premià de Mar a poniente de su puerto (que coincide con la actuación 1 del informe del CEDEX).
- Actuación 2. Retroalimentación de las playas de El Masnou a levante de su puerto (que coincide con la actuación 5 del informe del CEDEX).
- Actuación 3. Construcción de un dique de apoyo en la playa de Ocata de El Masnou (que coincide con la actuación 6 del informe del CEDEX).

Cada una de estas actuaciones será desarrollada en un proyecto constructivo independiente, si bien el Estudio de Alternativas se efectúa de un modo integral.

2. ACTUACIÓN 1. ESTABILIZACIÓN DE LAS PLAYAS DE PREMIÀ DE MAR A PONIENTE DE SU PUERTO

2.1 OBJETIVO DE LA ACTUACIÓN

De acuerdo con el informe del CEDEX de 2014, el objetivo de esta actuación es controlar la erosión que se aprecia en las playas, aguas abajo del puerto de Premià y mejorar las obras existentes. De este modo se incrementará el volumen de arena en la zona, que resulta prácticamente imprescindible, dado su estado actual.

La actuación consiste en el recrecimiento del espigón que separa las playas de L'Ós y de La Descàrrega, con una forma en planta en L, así como el vertido de unos 350.000 m³ de arena.

Se plantea la opción adicional de construir un espigón exento entre las playas de Bellamar y de l'Ós.

Asimismo se debe incluir el mantenimiento de la playa durante dos años con la recarga de arena en las dos sucesivas temporadas posteriores a la finalización de los trabajos del proyecto principal.

2.2 ALTERNATIVAS PLANTEADAS

Se plantearán las siguientes alternativas

- Alternativa 0. No actuación
- Alternativa 1. Recrecimiento del actual espigón y aporte de arena
- Alternativa 2. Recrecimiento del actual espigón, aporte de arena y nuevo espigón exento
- Alternativa 3. Recrecimiento del actual espigón y aporte de arena y nuevo espigón perpendicular a la playa

A continuación se detallan cada una de estas alternativas.

2.2.1 ALTERNATIVA 0. NO ACTUACIÓN

La no realización de esta actuación implicará que la playa de Pla de l'Ós continúe perdiendo arena hacia el SW, por lo que seguirá siendo necesaria la aportación periódica de sedimento (como por ejemplo la procedente del trasvase de arenas del Puerto de Premià). Por su parte la playa de Bellamar, encajada entre el contradique del Puerto de Premià y un pequeño escollerado situado en su extremo occidental, seguirá con una forma en planta relativamente estable, ya que toda ella está bajo el efecto sombra provocado por el polo situado en el extremo del dique de Puerto de Premià, tal como se puede comprobar en la Figura 4.-, extraída del Anejo nº 4 (puede comprobarse que el punto de control 1, que marca el límite de afección de dicho polo se sitúa precisamente en el pequeño escollerado existente en esa zona). No obstante seguirá sufriendo los avances y retrocesos cíclicos de su línea de orilla que han sido observados en los últimos años (ver Figura 45 del Anexo nº 4).

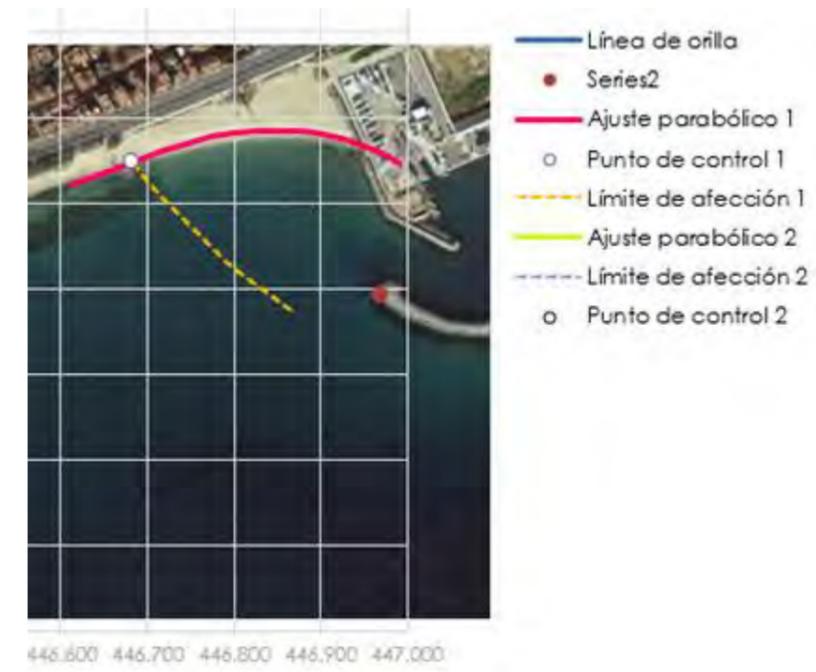


Figura 4.- Forma de equilibrio en planta de la playa de Bellamar (Fuente: elaboración propia)

2.2.2 ALTERNATIVA 1. RECRECIMIENTO DEL ACTUAL ESPIGÓN Y APOORTE DE ARENA

2.2.2.1 Variante 1A

Por lo que respecta a la playa de Bellamar su forma en planta será obtenida de acuerdo a la formulación de Hsu y Evans con una dirección del flujo medio de energía de oleaje 161,1° N (valor obtenido en el punto E para los datos de oleaje SIMAR, ver Anejo nº 4). Como condicionante se ha adoptado no adelantar la línea de costa en su extremo oriental, junto al puerto de Premià, para evitar problemas de aterramiento de su bocana. El punto de control de dicha playa coincidirá con el arranque de la nueva forma en planta de la playa del Pla de l'Ós. En este tramo la playa tendrá una forma en planta perpendicular al flujo medio de energía de oleaje, que tal como se vio en el Anejo nº 4 es 151,4° N (valor obtenido en el punto D para los datos de oleaje SIMAR).

Esta playa se apoya en el actual espigón que separa las playas de Pla de l'Ós y de La Descàrrega, que será recrecido (con forma de "L"), de manera que su nuevo extremo llegue hasta la nueva línea de costa; asimismo se prolongará con un tramo sumergido que alcance la profundidad -5,50 m de la nueva playa, valor que coincide aproximadamente con la profundidad activa, de manera que suponga una barrera total al transporte longitudinal de sedimentos y la arena vertida en esa celda no salga de ella.

La Figura 5.- muestra la planta de las actuaciones de esta alternativa 1. En el plano A7.1.1 (hoja 1) de este anejo se presenta con mayor detalle.

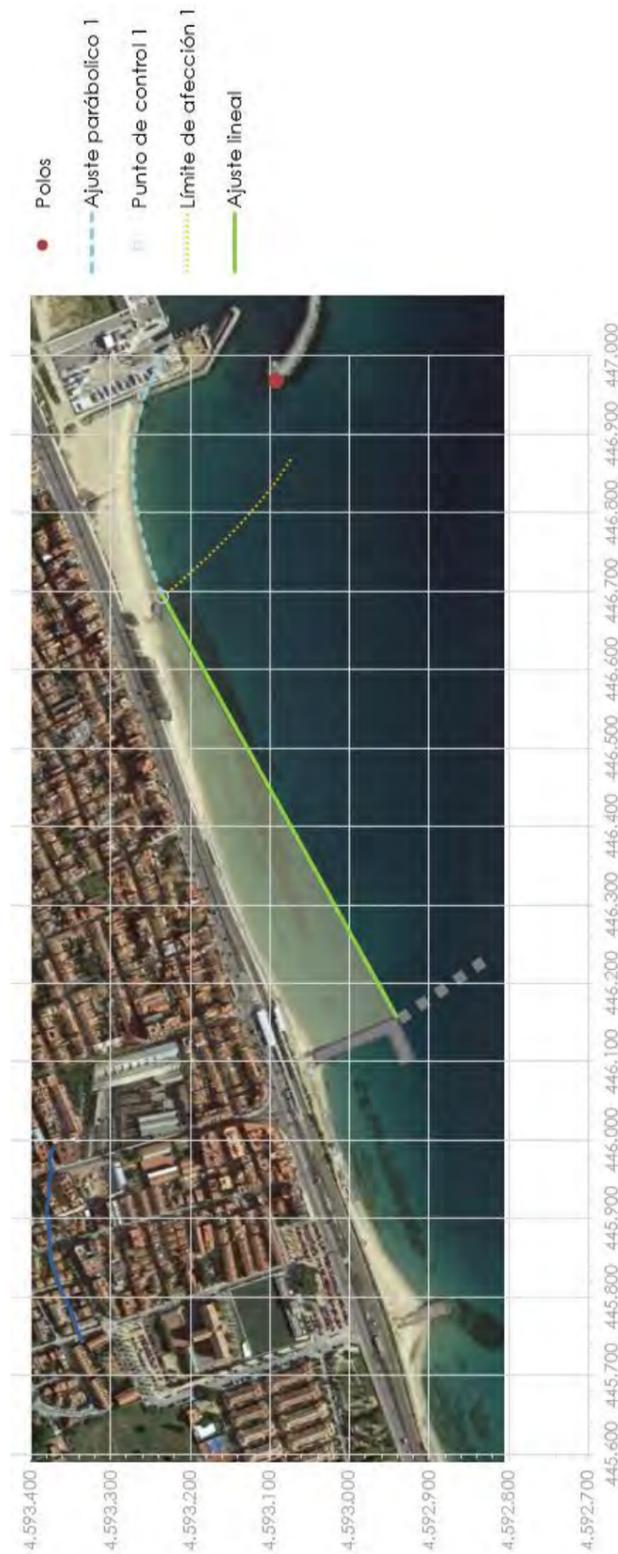


Figura 5.- Planta de la alternativa 1A de la actuación 1 (Fuente: elaboración propia)

En la zona de transición entre el tramo curvo y el rectilíneo no se cumple la anchura mínima de playa seca de 60 m recomendada en el estudio de CEDEX (medida entre la nueva línea +0 y el extremo lado tierra, dado por la escollera longitudinal existente) y que en este caso es de 50 m. El motivo es la existencia de una zona urbanizada de uso recreacional que produce un adelantamiento de la escollera longitudinal de protección y por tanto una reducción "artificial" de la anchura de playa seca (ver Figura 6.-).



Figura 6.- Zona en la que se produce un adelantamiento de la escollera de protección en la transición entre las playas de Bellamar y Pla de l'Ós. (Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth)

Para conseguir en esta zona una anchura de 60 m se debería adelantar más la playa de Bellamar respecto a lo propuesto, lo cual podría provocar problemas de aterramientos en el Puerto de Premià, Esto no se considera viable, por lo que la anchura mínima de playa seca obtenida en este punto (50 m) será un punto débil que requerirá atención por parte de la DGSCM para conseguir el mantenimiento de la anchura de la playa.

En el extremo de poniente de la actuación se supera ampliamente la anchura mínima de 60 m, llegando a los 137 m, valor que no parece adecuado, pues se genera una playa excesivamente ancha que requiere gran volumen de arena para su formación. Además para que el recrecimiento del espigón sea efectivo y retenga toda la arena, deberá prolongarse un pie sumergido que alcance hasta la -5,50 m del nuevo perfil de playa, lo cual encarece todavía más la actuación.

2.2.2.2 Variante 1B

Con objeto de solventar la problemática descrita anteriormente se propone una variante B (para ésta y el resto de alternativas de la actuación 1) en la cual la actual zona recreacional es demolida y trasladada al extremo oriental de la actuación, junto al nuevo espigón en L. De este modo la anchura mínima de playa seca pasa a ser de 60 m, con lo que se cumplen las recomendaciones del CEDEX.

La Figura 7.- muestra la planta de las actuaciones de esta alternativa 1. En el plano A7.1.1 (hoja 2) de este anejo se presenta con mayor detalle. La trama rallada con líneas de color rojo indica la zona a demoler y la trama de color verde su reubicación.

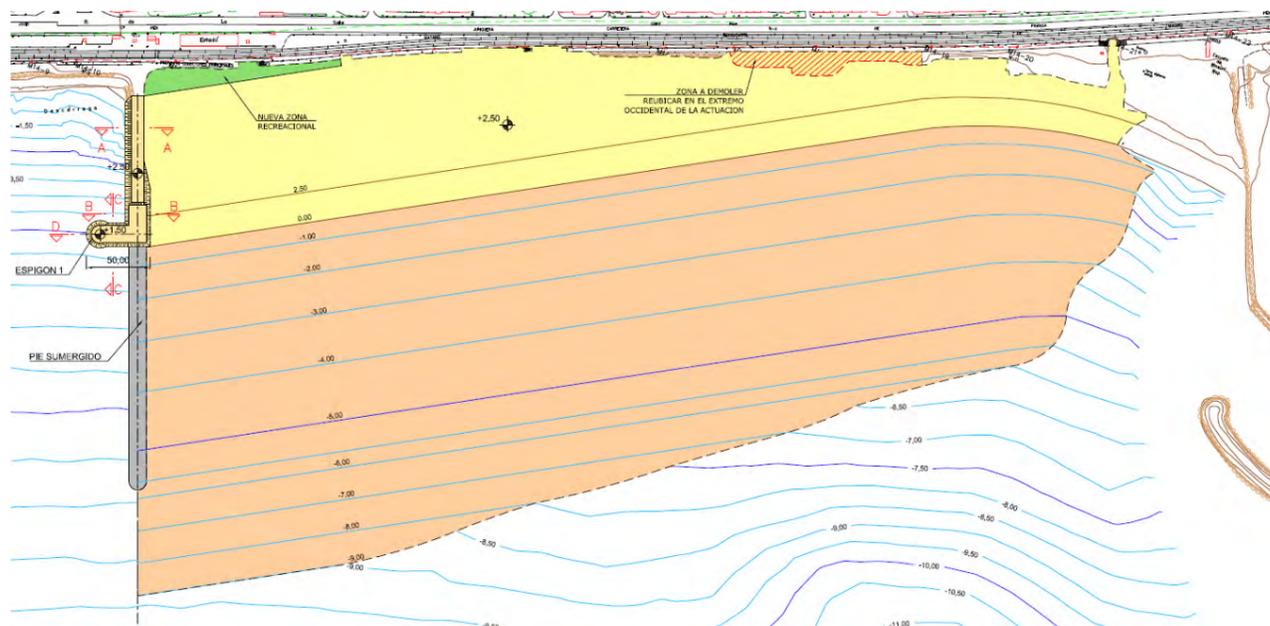


Figura 7.- Planta de la alternativa 1B de la actuación 1 (Fuente: elaboración propia)

2.2.3 ALTERNATIVA 2. RECRECIMIENTO DEL ACTUAL ESPIGÓN, APORTE DE ARENA Y NUEVO ESPIGÓN EXENTO

2.2.3.1 Variante 2A

En este caso además del recrecimiento del actual espigón que separa las playas de Pla de l'Ós y de La Descàrrega por encima de la profundidad de -5,50 m se propone en un punto intermedio entre dicho espigón y el contradique del puerto de Premià la construcción de un nuevo espigón exento en el entorno de esta isóbata con una longitud de 65 metros.

Por lo que respecta a la playa de Bellamar se propone la misma actuación que en la alternativa 1, es decir, un mantenimiento de la actual línea de costa en su extremo oriental. Su forma en planta (línea discontinua en la Figura 8.-) se ha obtenido con la formulación de Hsu y Evans considerando el polo de difracción en el morro del dique del puerto y una dirección del flujo medio de energía de 161,1° N.

En cuanto a la playa de Pla de l'Ós el nuevo espigón exento generará un hemitómbolo cuya forma en planta se ha obtenido con la formulación de Hsu y Evans considerando los polos de difracción en los morros de dicho espigón y unas direcciones del flujo medio de energía de 161,1° N para la mitad oriental (doble línea continua en la Figura 8.-) y 151,4° N para la mitad occidental (línea continua en la Figura 8.-), con lo cual se tiene en cuenta la variación de dicho flujo en este tramo costero.

La Figura 8.- muestra la planta de las actuaciones de esta alternativa 2. En el plano A7.1.2 (hoja 1) de este anejo se presenta con mayor detalle.

Con esta configuración la anchura mínima de playa seca de la mitad occidental de la playa de Pla de l'Ós pasa a ser 58 m (en la zona abrigada por el espigón exento) y la máxima anchura 90 m (junto a la prolongación del espigón), de manera que se reduce considerablemente respecto a la alternativa 1 (en la que se alcanzaban los 137 m). En su extremo oriental (en la zona de contacto con la playa de Bellamar) existe una zona puntual en la que anchura se reduce hasta los 44 m como consecuencia de la existencia de la zona urbanizada que produce un adelantamiento de la escollera longitudinal de protección y por tanto una reducción "artificial" de la anchura de playa seca (ver Figura 6.-). Para conseguir una anchura mayor se debería adelantar toda la línea de costa de la nueva playa creada entre el contradique del puerto y el espigón exento, lo cual podría provocar problemas de aterramiento en el puerto, por lo que se ha descartado. Éste será, por tanto, un punto crítico que requerirá atención por parte de la DGSCM para conseguir el mantenimiento de la anchura de la playa, si bien en este caso a playa será más estable que en la alternativa 1 pues su forma en planta está controlada por dos polos de difracción.

2.2.3.2 Variante 2B

Del mismo modo que se efectuó con la alternativa 1, se propone una variante en la cual la actual zona recreacional es demolida y trasladada al extremo oriental de la actuación, junto al nuevo espigón en L. De este modo la anchura mínima de playa seca pasa a ser de 60 m, con lo que se cumplen las recomendaciones del CEDEX.



Figura 8.- Planta de la alternativa 2A de la actuación 1 (Fuente: elaboración propia)

La Figura 9.- muestra la planta de las actuaciones de esta alternativa 1. En el plano A7.1.2 (hoja 2) de este anejo se presenta con mayor detalle. La trama rallada con líneas de color rojo indica la zona a demoler y la trama de color verde su reubicación.

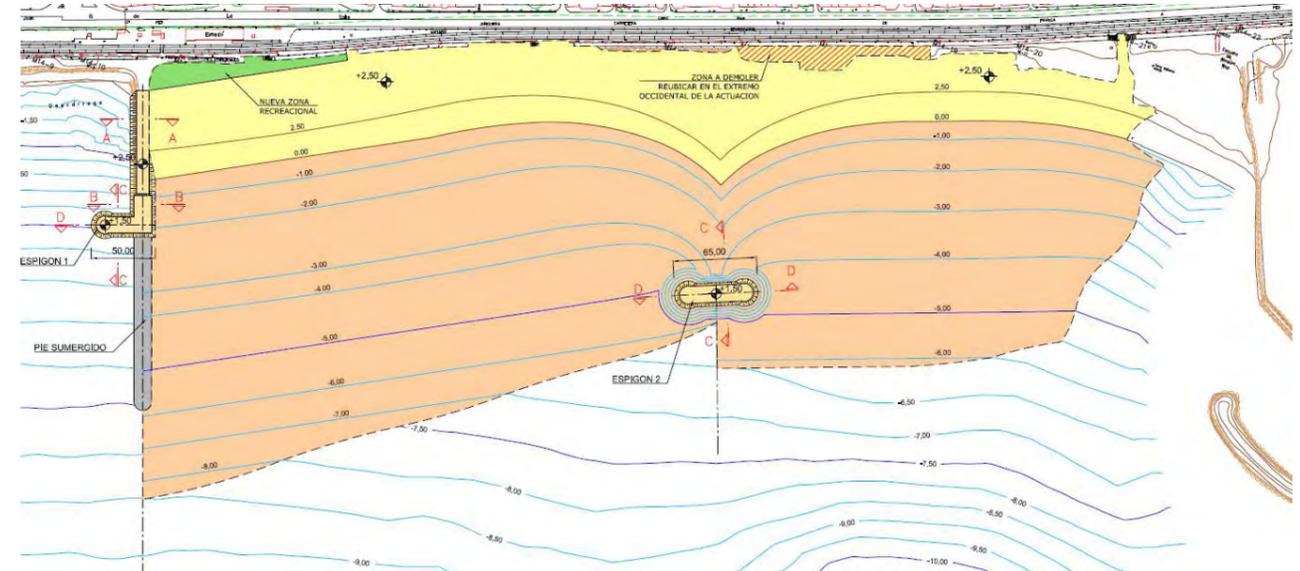


Figura 9.- Planta de la alternativa 2B de la actuación 1 (Fuente: elaboración propia)

2.2.4 ALTERNATIVA 3. RECRECIMIENTO DEL ACTUAL ESPIGÓN Y APORTE DE ARENA Y NUEVO ESPIGÓN PERPENDICULAR A LA PLAYA

2.2.4.1 Variante 3A

Esta propuesta intenta corregir uno de los principales problemas de la alternativa 1: la excesiva anchura en su extremo occidental. Para ello se plantea dividir el tramo rectilíneo de playa en dos mediante un espigón perpendicular que permita retranquear el tramo de poniente hasta conseguir unas anchuras más moderadas.

Por consiguiente además del recrecimiento del actual espigón que separa las playas del Pla de L'Ós y de La Descàrrega por encima de la profundidad de -5,50 m se propone en un punto intermedio de la playa del Pla de L'Ós la construcción de un nuevo espigón perpendicular a la costa, pero con un morro situado a la profundidad de -1 m ya que el objetivo no es compartimentar esta playa en dos sub-tramos (actuación no prevista en el documento del CEDEX) sino permitir el retranqueo de la mitad occidental de la playa. Por consiguiente este espigón será rebasable por las arenas.

La playa apoyada en este nuevo espigón tendrá una forma en planta perpendicular al flujo medio de energía de oleaje, que tal como se vio en el Anejo nº 4 es 151,4° N (línea continua en la Figura 10.-).

La playa apoyada en el espigón más occidental tendrá en su extremo oriental una forma en planta controlada por el morro del nuevo espigón y en el resto una forma rectilínea perpendicular al flujo medio de

energía de oleaje (151,4° N). Se ha obtenido mediante la formulación de Hsu y Evans (doble línea continua en la Figura 10.-).

Por lo que respecta a la playa de Bellamar se propone la misma actuación que en las alternativas 1 y 2, es decir, el mantenimiento de la actual línea de costa. Su forma en planta (línea discontinua en la Figura 10.-) se ha obtenido con la formulación de Hsu y Evans considerando el polo de difracción en el morro del dique del puerto y una dirección del flujo medio de energía de 161,1° N.

La Figura 10.- muestra la planta de las actuaciones de esta alternativa 3. En el plano A7.1.3 (hoja 1) de este anejo se presenta con mayor detalle.

Con esta configuración la anchura mínima de playa seca de la mitad occidental de la **playa de Pla de l'Ós** pasa a ser 64 metros y la máxima anchura 89 metros (junto a la prolongación del espigón), de manera que se reduce considerablemente respecto a la alternativa 1 (en la que se alcanzaban los 137 m). En su mitad oriental la máxima anchura es 110 m y la mínima es de 52 m en la zona de contacto con la playa de Bellamar, donde, como ya se ha comentado en las alternativas 1 y 2 existe un adelantamiento de la escollera longitudinal de protección y por tanto una reducción "artificial" de la anchura de playa seca (ver Figura 6.-).

Para conseguir una anchura mayor se debería adelantar toda la línea de costa de la nueva playa creada entre el contradique del puerto y el espigón perpendicular, lo cual podría provocar problemas de aterramiento en el puerto, por lo que se ha descartado. Éste será, por tanto, un punto crítico que requerirá atención por parte de la DGSCM para conseguir el mantenimiento de la anchura de la playa. Una opción para controlar mejor las eventuales erosiones en este punto es mantener el pequeño espigón existente (ver Figura 6.-) ya que su extremo lado mar estará alineado con la nueva línea de orilla.

2.2.4.2 Variante 3B

Tal como se planteó con las alternativas 1 y 2, se propone una variante en la cual la actual zona recreacional es demolida y trasladada al extremo oriental de la actuación, junto al nuevo espigón en L. De este modo la anchura mínima de playa seca pasa a ser de 60 m, con lo que se cumplen las recomendaciones del CEDEX.

La Figura 11.- muestra la planta de las actuaciones de esta alternativa 1. En el plano A7.1.2 (hoja 2) de este anejo se presenta con mayor detalle. . La trama rallada con líneas de color rojo indica la zona a demoler y la trama de color verde su reubicación.



Figura 10.- Planta de la alternativa 3A de la actuación 1 (Fuente: elaboración propia)

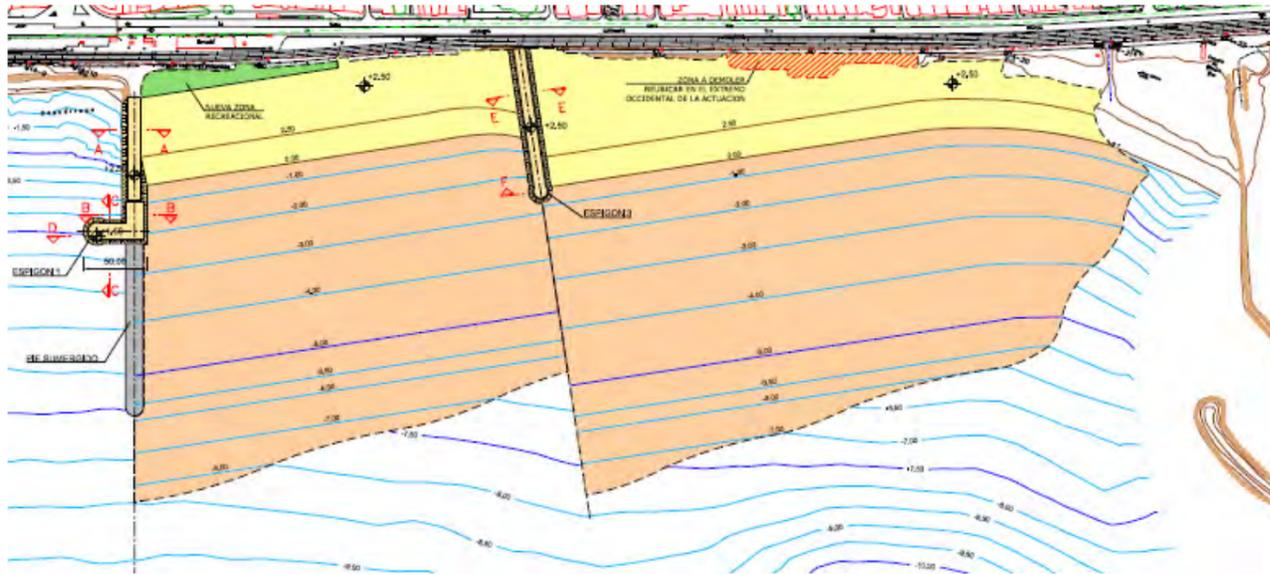


Figura 11.- Planta de la alternativa 3B de la actuación 1 (Fuente: elaboración)

2.3 ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS

Se ha efectuado una comparativa entre las diferentes soluciones (incluyendo la Alternativa 0 consistente en no efectuar ninguna actuación), para lo que se han considerado los siguientes aspectos, a los cuales se les ha aplicado diferentes coeficientes de ponderación p_i (de manera que $\sum p_i = 1,0$):

- Aspectos técnicos (grado de funcionalidad); $p = 0,30$
- Impacto ambiental; $p = 0,30$
- Aspectos económicos, distinguiendo entre Inversión; $p = 0,25$ y Costes de mantenimiento; $p = 0,15$

Cada alternativa ha sido valorada en función de los anteriores aspectos entre 0 (muy negativa o impacto muy alto) y 3 (muy positiva o impacto muy bajo o nulo), incluyendo una gama de colores entre el rojo (para un valor 0) y el verde intenso (para un valor 3). Todo ello se muestra en la Tabla 1.-. Los escalones considerados son los siguientes:

1. Impacto nulo, muy bajo o muy positivo: 0,0 a 0,75 puntos
2. Impacto bajo o positivo: 0,76 a 1,5 puntos
3. Impacto medio/bajo: 1,51 a 1,75 puntos
4. Impacto medio: 1,76 a 2,0 puntos
5. Impacto medio/alto: 2,01 a 2,5 puntos
6. Impacto alto o negativo: 2,51 a 3,75 puntos
7. Impacto muy alto o muy negativo: 2,76 a 3,0 puntos

Los criterios seguidos en la puntuación de cada aspecto se indican a continuación:

- Aspectos técnicos. Se ha tenido en cuenta el grado de solución con lo que cada alternativa resuelve la problemática erosiva de la playa. Así se considera que las Alternativas 1, 2 y 3 (tanto la variante A como la B) resuelven los problemas a medio y largo plazo de un modo muy similar, si bien a la 2 se le ha otorgado el mayor puntaje [3,0] ya que soluciona mejor la erosión en la zona de transición entre las playas de Bellamar y Pla de l'Ós; las propuestas 1 y 3 han sido valoradas con [2,5] puntos, mientras que la Alternativa 0 al no solucionar en absoluto la problemática ha sido puntuada con [0] puntos.
 - Impacto ambiental. Se han considerado 3 aspectos (ocupación de superficie del fondo marino, impacto paisajístico y empleo de recursos naturales –arena y escollera–) a los que se ha dado la misma ponderación. Estos aspectos han sido valorados de [0] a [3] para cada alternativa y posteriormente ponderados por un factor $f = 1/3$, de manera que pueda obtenerse un máximo de [3] y un mínimo de [0].
 - *Ocupación de superficie del fondo marino*: la Alternativa 0, que no ocupa superficie ha sido valorado con [3,0] puntos, la Alternativa 3A es la que ocupa una superficie menor ha sido valorada con [2,0] puntos, la Alternativa 2A con [1,75] puntos, ya que ocupa una superficie similar, algo mayor debida al espigón exento, mientras que la Alternativa 1A ha sido valorada con [1] ya que es la que ocupa una mayor superficie. Por lo que respecta a las alternativas 1B, 2B y 3B en su puntuación se ha descontado [0,25] puntos como consecuencia de la intervención en la actual zona recreativa y su posterior reubicación.
 - *Impacto paisajístico*: la Alternativa 0 al no incluir ninguna actuación tiene impacto nulo, por lo que se ha valorado con [3,0] puntos; el resto han sido valoradas inversamente proporcional a la longitud de espigones: la Alternativa 1 ha sido valorada con [2,5] puntos, la Alternativa 2 con [2] puntos ya que incluye un espigón exento alejado de la costa y de baja cota de coronación y la Alternativa 3 con [1,5] puntos ya que incluye un segundo espigón en medio de la playa de considerable impacto. Esta puntuación es tanto válida para las variantes A como para las B, ya que se considera que en estas últimas la zona recreativa y ajardinada existente será sustituida por una de características similares.
 - *Empleo de recursos*: la Alternativa 0 al no incluir ninguna actuación no necesita recursos, por lo que se ha valorado con [3] puntos; el resto han sido valoradas inversamente proporcional al volumen de material requerido (escollera para espigones y arena para la alimentación), resultando la Alternativa 1 con [1,0] punto, y las Alternativas 2 y 3 con [2] puntos. Por lo que respecta a las alternativas 1B, 2B y 3B en su puntuación se ha descontado [0,25] puntos como consecuencia de los recursos adicionales que requerirá la nueva zona recreativa.
- De esa manera la puntuación por impacto ambiental de las alternativas queda del siguiente modo: Alternativa 0 = $(3 + 3 + 3) / 3 = [3,0]$ puntos; Alternativa 1A = $(1,0 + 2,5 + 1,0) / 3 = [1,5]$ puntos; Alternativa 1B = $(0,75 + 2,5 + 0,75) / 3 = [1,33]$ puntos; Alternativa 2A = $(1,75 + 2,0 + 2,0) / 3 = [1,92]$ puntos; Alternativa 2B = $(1,5 + 2,0 + 1,75) / 3 = [1,75]$ puntos; Alternativa 3A = $(2,0 + 1,5 + 2,0) / 3 = [1,83]$ puntos y Alternativa 3B = $(1,75 + 1,5 + 1,75) / 3 = [1,67]$ puntos.
- Inversión: la Alternativa 0 al no incluir ninguna actuación tiene una inversión nula, por lo que se ha puntuado con [3,00]; la diferencia del resto de propuestas es pequeña (con un P.E.M. entre 2,3 y 3,0 millones de euros, como puede apreciarse en la Tabla 2.- de ahí que se hayan puntuado de manera inversamente proporcional a su presupuesto, valorando la más costosa con [1,0] y la de

menor inversión con [2,0]. De este modo la Alternativa 1A ha sido valorada con [1,3] puntos, la Alternativa 1B con [1,0] puntos, la Alternativa 2A con [1,49] puntos, la Alternativa 2B con [1,19] puntos, la Alternativa 3A con [2,0] puntos y la Alternativa 3B con [1,7] puntos.

- Coste de mantenimiento. En este caso la valoración ha sido más cuantitativa, dando un puntaje mínimo [0,00] a la Alternativa 0 ya que, al no solucionar los problemas, requerirá actuaciones periódicas conforme la playa siga erosionándose, otorgando un puntaje similar a las otras 3 propuestas ya que sus requerimientos serán similares, si bien serán menores para la Alternativa 2, que se valora con [2,5] puntos y mayores para la Alternativa 1, que ha sido valorada con [2,0] puntos, mientras que la Alternativa 3 ha sido valorada con un valor intermedio de [2,25] puntos. Por lo que respecta a las alternativas 1B, 2B y 3B en su puntuación se ha añadido [0,25] puntos como consecuencia de la ganancia de playa seca por la demolición y traslado de la actual zona recreacional, lo cual permitirá tener que efectuar menos aportaciones a esta zona.

Tabla 1.- Comparación de las diferentes alternativas propuestas de la actuación 1 (Fuente: elaboración propia)

Alternativa	Aspectos Técnicos (p = 0,30)	Aspectos ambientales (p = 0,30)				Coste de Inversión (p = 0,25)	Coste de Mantenimiento (p = 0,15)	PUNTUACIÓN TOTAL
		Subtotal	Superficie ocupada	Impacto paisajístico	Empleo de recursos			
0	0,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00	1,65	
1A	2,50	1,50	1,00	2,50	1,00	1,30	2,00	1,83
1B	2,50	1,33	0,75	2,50	0,75	1,00	2,25	1,74
2A	3,00	1,92	1,75	2,00	2,00	1,49	2,50	2,22
2B	3,00	1,75	1,50	2,00	1,75	1,19	2,75	2,13
3A	2,50	1,83	2,00	1,50	2,00	2,00	2,25	2,14
3B	2,50	1,67	1,75	1,50	1,75	1,70	2,50	2,05

[0,00-0,75]	Nulo / Muy bajo / Muy positivo	[2,01-2,50]	Medio / Alto
[0,76-1,50]	Bajo / Positivo	[2,51-2,75]	Alto / Negativo
[1,51-1,75]	Medio / Bajo	[2,76-3,00]	Muy alto / Muy negativo
[1,76-2,00]	Medio		

Tabla 2.- Presupuesto de las alternativas (Fuente: elaboración propia)

		ALTERNATIVA 1A	ALTERNATIVA 2A	ALTERNATIVA 3A
1. APORTACIÓN DE ARENA				
m3 Dragado y vertido de arena	Prec. Unit.	6,00	6,00	6,00
	Medición	387.000,00	267.660,00	280.800,00
	Presupuesto	2.322.000,00	1.605.960,00	1.684.800,00
	SUBTOTAL 1	2.322.000,00	1.605.960,00	1.684.800,00
2.1 ESPIGÓN 1 (DE PONENT)				
t Vertido de todo uno	Prec. Unit.	10,00	10,00	10,00
	Medición	17.896,16	17.896,16	17.896,16
	Presupuesto	178.961,61	178.961,61	178.961,61
t Retirada de todo uno	Prec. Unit.	6,00	6,00	6,00
	Medición	3.661,27	3.661,27	3.661,27
	Presupuesto	21.967,64	21.967,64	21.967,64
t Colocac. Escollera >3.500 kg	Prec. Unit.	14,00	14,00	14,00
	Medición	6.348,51	6.348,51	6.348,51
	Presupuesto	88.879,20	88.879,20	88.879,20
t Colocac. Escollera >5.000 kg	Prec. Unit.	16,00	16,00	16,00
	Medición	7.784,45	7.784,45	7.784,45
	Presupuesto	124.551,12	124.551,12	124.551,12
t Colocac. Escollera >6.000 kg	Prec. Unit.	18,00	18,00	18,00
	Medición	2.375,12	2.375,12	2.375,12
	Presupuesto	42.752,17	42.752,17	42.752,17
	SUBTOTAL 2.1	457.111,74	457.111,74	457.111,74
2.2. ESPIGÓN 2 (EXENTO)				
t Vertido de todo uno	Prec. Unit.	10,00	10,00	10,00
	Medición	0,00	29.225,66	0,00
	Presupuesto	0,00	292.256,61	0,00
t Retirada de todo uno	Prec. Unit.	6,00	6,00	6,00
	Medición	0,00	19.491,44	0,00
	Presupuesto	0,00	116.948,63	0,00
t Colocac. Escollera >3.500 kg	Prec. Unit.	14,00	14,00	14,00
	Medición	0,00	1.188,70	0,00
	Presupuesto	0,00	16.641,82	0,00
t Colocac. Escollera >5.000 kg	Prec. Unit.	16,00	16,00	16,00
	Medición	0,00	5.098,76	0,00
	Presupuesto	0,00	81.580,11	0,00
t Colocac. Escollera >6.000 kg	Prec. Unit.	18,00	18,00	18,00
	Medición	0,00	4.750,24	0,00
	Presupuesto	0,00	85.504,35	0,00
	SUBTOTAL 2.2	0,00	592.931,52	0,00
2.3. ESPIGÓN 3 (PLA DE L'ÓS)				
t Vertido de todo uno	Prec. Unit.	10,00	10,00	10,00
	Medición	0,00	0,00	6.674,86
	Presupuesto	0,00	0,00	66.748,64
t Retirada de todo uno	Prec. Unit.	6,00	6,00	6,00
	Medición	0,00	0,00	1.271,62
	Presupuesto	0,00	0,00	7.629,73
t Colocac. Escollera >2.500 kg	Prec. Unit.	12,00	12,00	12,00
	Medición	0,00	0,00	6.365,72
	Presupuesto	0,00	0,00	76.388,69
t Colocac. Escollera >5.000 kg	Prec. Unit.	16,00	16,00	16,00
	Medición	0,00	0,00	1.904,46
	Presupuesto	0,00	0,00	30.471,43
	SUBTOTAL 2.3	0,00	0,00	181.238,48
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (€)		2.779.111,74	2.656.003,26	2.323.150,22

		ALTERNATIVA 1B	ALTERNATIVA 2B	ALTERNATIVA 3B
1. COSTE DE LA ALTERNATIVA 'A'				
	SUBTOTAL 1	2.779.111,74	2.656.003,26	2.323.150,22
2. DEMOLICIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ZONA RECREACIONAL EXISTENTE				
PA Demolición y reconstrucción	Prec. Unit.	200.000,00	200.000,00	200.000,00
	Medición	1,00	1,00	1,00
	Presupuesto	200.000,00	200.000,00	200.000,00
	SUBTOTAL 2	200.000,00	200.000,00	200.000,00
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (€)		2.979.111,74	2.856.003,26	2.523.150,22

Puede comprobarse que la solución mejor resulta ser la Alternativa 2A (consistente en la aportación de arena, la prolongación del espigón que separar las playas del Pla de l'Ós y La Descàrrega y un espigón exento en el centro de la playa del Pla de l'Ós) con una puntuación de 2,22 puntos y por tanto será la desarrollada en el proyecto.

3. ACTUACIÓN 2. RETROALIMENTACIÓN DE LAS PLAYAS DE EL MASNOU A LEVANTE DE SU PUERTO

3.1 OBJETIVO DE LA ACTUACIÓN

De acuerdo con el informe del CEDEX de 2014, esta actuación consiste en la retroalimentación de arena apoyada en el dique del puerto de El Masnou, dejando una anchura de playa seca en torno a 60 m y vertiendo el material sobrante en la playa de Ocata, en particular en la mitad oriental de dicha celda (que finaliza 1.200 m a levante del dique del puerto de El Masnou) y el resto de material en la celda situada inmediatamente a levante (la de 890 m de longitud).

Su finalidad es, por un lado, reducir la gran cantidad de arena que se acumula junto al dique del puerto y por otro, reducir la erosión que se aprecia en la playa de Ocata y más a levante, manteniendo una anchura de playa seca en todo el tramo en torno a 60 m.

Asimismo se debe incluir el mantenimiento de la playa durante dos años con la recarga de arena en las dos sucesivas temporadas posteriores a la finalización de los trabajos del proyecto principal.

3.2 ALTERNATIVAS PLANTEADAS

En este caso no tiene mucho sentido plantear diferentes alternativas, ya que su definición está muy clara. Por consiguiente solamente se han considerado las siguientes:

- Alternativa 0. No actuación
- Alternativa 1.

A continuación se detallan cada una de estas alternativas.

3.2.1 ALTERNATIVA 0. NO ACTUACIÓN

La no realización de esta actuación implicará que esta playa siga teniendo una anchura excesiva (en los últimos años, entre 140 y 190 m, medidos desde el límite terrestre y la línea de costa en la zona más ancha, como puede apreciarse en la Figura 12.-). Ello puede facilitar que parte de la arena rebese fácilmente el dique de abrigo del Puerto de El Masnou y se pierda hacia poniente.

3.2.2 ALTERNATIVA 1

Consiste en la retirada de arena de la playa apoyada en el dique del Puerto de El Masnou, manteniendo una anchura de playa seca (medida hasta la línea de costa) de 60 m y su vertido en el extremo oriental de la playa, hasta una distancia de 2.100 m medidos desde el arranque del dique.

La Figura 13.- muestra la planta de las actuaciones de esta alternativa 1. En el plano 2.1 de este anejo se presenta con mayor detalle.



Figura 12.- Evolución de la playa apoyada en el dique del Puerto de El Masnou desde 2004. La posición tan retrasada de 2004 respecto a la de 2006 se explica por la regeneración realizada a finales de 2005 (Fuente: elaboración propia)

A priori la retirada de la arena se realizará hasta la profundidad de -5,50 m para lo cual se combinarán medios terrestres (retroexcavadora) en la playa seca y medios marinos (draga). El perfil tras la actuación deberá ser estable, para lo cual se plantea un perfil lineal, tal como se muestra en la Figura 14.-, donde un perfil con una pendiente 1V : 7H en el tramo emergido (por encima de la +0 m CA) y una pendiente 1V : 25H en el tramo sumergido (por debajo de la +0 m CA) ajusta muy bien a los perfiles reales existentes en la zona de actuación.

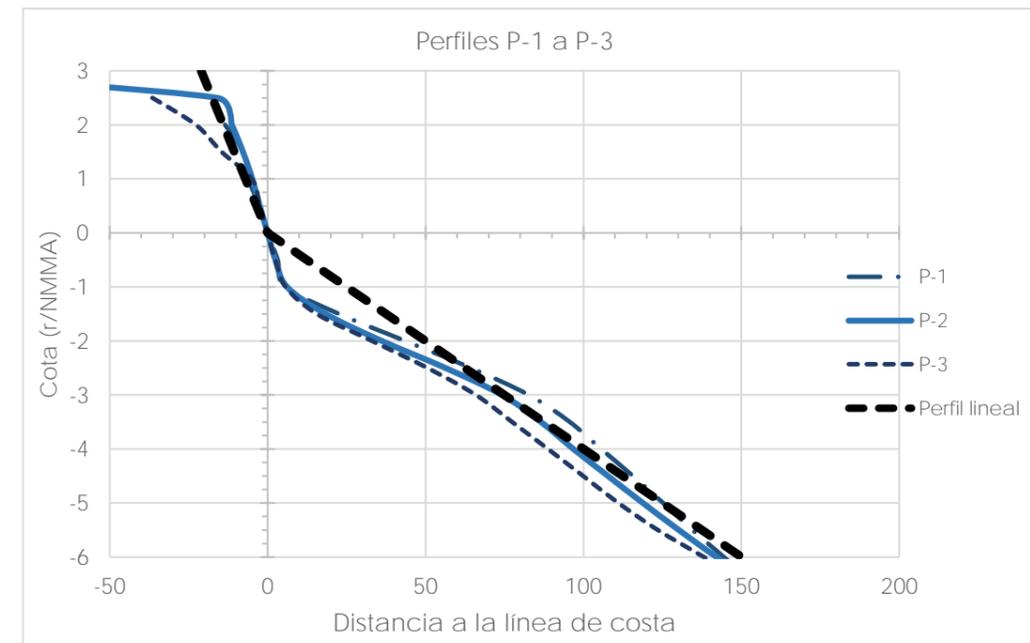


Figura 14.- Perfil simplificado (lineal) a emplear en la retirada de la arena (Fuente: elaboración propia)

3.3 ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS

Se ha efectuado una comparativa entre las diferentes soluciones (incluyendo la Alternativa 0 consistente en no efectuar ninguna actuación), para lo cual se han seguido los mismos criterios que se explicaron en el apartado 2.3 para la actuación 1. Los resultados se muestran en la Tabla 3.-.

- Aspectos técnicos. Se ha tenido en cuenta el grado de solución con lo que cada alternativa resuelve la problemática erosiva de la playa. Así se considera que la Alternativa 0 no soluciona en absoluto la problemática por lo que ha sido puntuada con [0] puntos, mientras que la Alternativa 1 resuelve los problemas a medio plazo, pero no a largo plazo, por lo que se le ha otorgado una valoración de [2,0] puntos.
- Impacto ambiental. Se han considerado los mismos 3 aspectos comentados para la actuación 1 (ocupación de superficie del fondo marino, impacto paisajístico y empleo de recursos naturales – arena y escollera–) a los que se ha dado la misma ponderación. Estos aspectos han sido valorados de [0] a [3] para cada alternativa y posteriormente ponderados por un factor $f = 1/3$, de manera que pueda obtenerse un máximo de [3] y un mínimo de [0].



Figura 13.- Planta de la alternativa 1 de la actuación 2 (Fuente: elaboración propia)

Puede que apreciarse que en el tramo final también se mantienen los 60 m respecto al escollero de protección de las instalaciones del Club Náutico de El Masnou. En este tramo la actuación se ha diseñado con una orientación perpendicular a los 153,0° N, que es la dirección del flujo medio de energía del oleaje local (punto A en el Anejo nº 4).

- *Ocupación de superficie del fondo marino:* la Alternativa 0, que no ocupa superficie ha sido valorado con [3,0] puntos, mientras que la Alternativa 1 ha sido valorada con [2,0] puntos, correspondiente a un impacto medio.
- *Impacto paisajístico:* la Alternativa 1 tiene un impacto visual positivo pues permite la creación de playa donde ahora existe una escollera, por lo que ha sido valorada con [3,0] puntos, correspondiente a un impacto muy positivo; por su parte la Alternativa 0 al no incluir ninguna actuación tendría un impacto neutro, pero en este caso debe ser evaluado como peor que la alternativa 1, por lo que se ha valorado con [2,0] puntos, correspondiente a un impacto medio;
- *Empleo de recursos:* la Alternativa 0 al no incluir ninguna actuación no necesita recursos, por lo que se ha valorado con [3,0] puntos; la Alternativa 1 emplea recursos escasos y solamente durante la ejecución de las obras, por lo que ha sido valorado con [2,5] puntos, correspondiente a un impacto medio/bajo.

De esa manera la puntuación por impacto ambiental de las alternativas queda del siguiente modo: Alternativa 0 = (3,0 + 2,0 + 3,0) / 3 = [2,67] puntos y Alternativa 1 = (2,0 + 3,0 + 2,5) / 3 = [2,5] puntos.

- *Inversión:* la Alternativa 0 al no incluir ninguna actuación tiene una inversión nula, por lo que se ha puntuado con [3,0], mientras que la Alternativa 1 ha sido valorada con [2,0] puntos, correspondiente a un impacto medio.
- *Coste de mantenimiento:* la Alternativa 0, al no solucionar los problemas, requerirá actuaciones periódicas de mantenimiento más frecuentes que la Alternativa 1, por lo que se valoran respectivamente con [2,0] y [2,75] puntos correspondientes a unos impactos medio y bajo.

Puede comprobarse que la solución mejor resulta ser la Alternativa 1 con una puntuación de 2,26 puntos, por lo que será la desarrollada en el Proyecto.

Tabla 3.- Comparación de las diferentes alternativas propuestas de la actuación 2 (Fuente: elaboración propia)

Alternativa	Aspectos Técnicos (p = 0,30)	Aspectos ambientales (p = 0,30)				Coste de Inversión (p = 0,25)	Coste de Mantenimiento (p = 0,15)	PUNTUACIÓN TOTAL
		Subtotal	Superficie ocupada	Impacto paisajístico	Empleo de recursos			
0	0,00	2,67	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00	1,85
1	2,00	2,50	2,00	3,00	2,50	2,00	2,75	2,26

[0,00-0,75]	Nulo / Muy bajo / Muy positivo	[2,01-2,50]	Medio / Alto
[0,76-1,50]	Bajo / Positivo	[2,51-2,75]	Alto / Negativo
[1,51-1,75]	Medio / Bajo	[2,76-3,00]	Muy alto / Muy negativo
[1,76-2,00]	Medio		

4. ACTUACIÓN 3. CONSTRUCCIÓN DE UN DIQUE DE APOYO EN LA PLAYA DE OCATA EL MASNOU

4.1 OBJETIVO DE LA ACTUACIÓN

De acuerdo con el informe del CEDEX de 2014, el objetivo de esta actuación es poner un freno al transporte de sedimentos a través del extremo del dique del puerto de El Masnou, con el fin de reducir la cantidad de arena que se pierde por captación del puerto y de controlar el crecimiento de la playa. Con ello se facilita, por una parte, la extracción de sedimento para su retroalimentación (actuación 2) y por otra parte se tiene un control del crecimiento que va experimentando la playa.

4.2 ALTERNATIVAS PLANTEADAS

En este caso no tiene mucho sentido plantear diferentes alternativas, ya que su definición está muy clara. Por consiguiente solamente se han considerado las siguientes:

- Alternativa 0. No actuación
- Alternativa 1.

A continuación se detallan cada una de estas alternativas.

4.2.1 ALTERNATIVA 0. NO ACTUACIÓN

La no realización de esta actuación impedirá que se pueda seguir perdiendo sedimento por el extremo occidental de la playa de Ocata hacia el Puerto de El Masnou y que no se pueda controlar adecuadamente el crecimiento de dicha playa.

4.2.2 ALTERNATIVA 1

Consiste en la construcción de un espigón aproximadamente perpendicular a la costa (de hecho se proyecta con la misma alineación que la dirección del flujo medio de energía del oleaje en esta zona, que es 153,0° N (punto A en el Anejo nº 4) que alcance la profundidad activa (-5,50 m) de manera que pueda interceptar todo el transporte longitudinal de sedimento significativo.

La Figura 15.- muestra la planta de las actuaciones de esta alternativa 1. En el plano 3.1 de este anejo se presenta con mayor detalle.

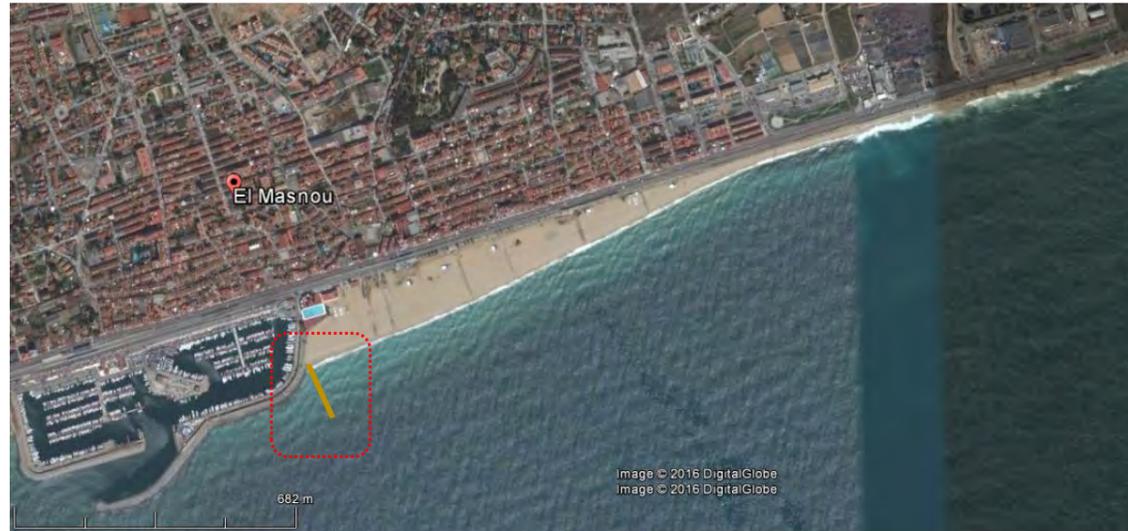


Figura 15.- Planta de la alternativa 1 de la actuación 3 (Fuente: elaboración propia)

4.3 ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS

Se ha efectuado una comparativa entre las diferentes soluciones (incluyendo la Alternativa 0 consistente en no efectuar ninguna actuación), para lo cual se han seguido los mismos criterios que se explicaron en el apartado 2.3 para la actuación 1. Los resultados se muestran en la Tabla 4.-

- Aspectos técnicos. Se ha tenido en cuenta el grado de solución con lo que cada alternativa resuelve la problemática erosiva de la playa. Así se considera que la Alternativa 0 no soluciona en absoluto la problemática por lo que ha sido puntuada con [0] puntos, mientras que la Alternativa 1 resuelve los problemas a medio plazo, pero no a largo plazo, por lo que se le ha otorgado una valoración de [2,0] puntos.
- Impacto ambiental. Se han considerado los mismos 3 aspectos comentados para la actuación 1 Y 2 (ocupación de superficie del fondo marino, impacto paisajístico y empleo de recursos naturales –escollera–) a los que se ha dado la misma ponderación. Estos aspectos han sido valorados de [0] a [3] para cada alternativa y posteriormente ponderados por un factor $f = 1/3$, de manera que pueda obtenerse un máximo de [3] y un mínimo de [0].
 - *Ocupación de superficie del fondo marino*: la Alternativa 0, que no ocupa superficie ha sido valorado con [3,0] puntos, mientras que la Alternativa 1 ha sido valorada con [2,5] puntos, correspondiente a un impacto medio/bajo.
 - *Impacto paisajístico*: la Alternativa 1 tiene un impacto visual medio/alto (ese a diseñarse con una cota de coronación baja, la +1,50, inferior a la de la berma de la playa seca) por lo que se ha valorado con [1,75] puntos; por su parte la Alternativa 0 al no incluir ninguna actuación tendría un impacto neutro, por lo que se ha valorado con [3,0];
 - *Empleo de recursos*: la Alternativa 0 al no incluir ninguna actuación no necesita recursos, por lo que se ha valorado con [3,0] puntos; la Alternativa 1 emplea recursos escasos y solamente

durante la ejecución de las obras, por lo que ha sido valorado con [2,5] puntos, correspondiente a un impacto medio/bajo.

De esa manera la puntuación por impacto ambiental de las alternativas queda del siguiente modo: Alternativa 0 = $(3,0 + 3,0 + 3,0) / 3 = [3,0]$ puntos y Alternativa 1 = $(2,5 + 1,75 + 2,5) / 3 = [2,25]$ puntos.

- Inversión: la Alternativa 0 al no incluir ninguna actuación tiene una inversión nula, por lo que se ha puntuado con [3,0], mientras que la Alternativa 1 ha sido valorada con [2,0] puntos, correspondiente a un impacto medio.
- Coste de mantenimiento: la Alternativa 0, al no solucionar los problemas, requerirá actuaciones periódicas de mantenimiento más frecuentes que la Alternativa 1, por lo que se valoran respectivamente con [2,0] y [2,75] puntos correspondientes a unos impactos medio y bajo.

Puede comprobarse que la solución mejor resulta ser la Alternativa 1 con una puntuación de 2,19 puntos, por lo que será la desarrollada en el Proyecto.

Tabla 4.- Comparación de las diferentes alternativas propuestas de la actuación 2 (Fuente: elaboración propia)

Alternativa	Aspectos Técnicos (p = 0,30)	Aspectos ambientales (p = 0,30)				Coste de Inversión (p = 0,25)	Coste de Mantenimiento (p = 0,15)	PUNTUACIÓN TOTAL
		Subtotal	Superficie ocupada	Impacto paisajístico	Empleo de recursos			
0	0,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	1,95	
1	2,00	2,25	2,50	1,75	2,50	2,75	2,19	

[0,00-0,75]	Nulo / Muy bajo / Muy positivo	[2,01-2,50]	Medio / Alto
[0,76-1,50]	Bajo / Positivo	[2,51-2,75]	Alto / Negativo
[1,51-1,75]	Medio / Bajo	[2,76-3,00]	Muy alto / Muy negativo
[1,76-2,00]	Medio		

