

# ESTUDIO BÁSICO DE DINÁMICA LITORAL PARA CONCESIÓN ADMINISTRATIVA ENTRE M1 Y M3 EN PORT SAPLAYA (T.M. ALBORAYA, VALENCIA)



Junio de 2022



## ÍNDICE

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>OBJETO .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>MARCO NORMATIVO Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS.....</b>                        | <b>1</b>  |
| <b>3</b> | <b>DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>4</b> | <b>ACTUACIONES PARA LAS QUE SE EMITE EL INFORME.....</b>                     | <b>2</b>  |
| <b>5</b> | <b>CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ACTUACIÓN Y SU UNIDAD FISIAGRÁFICA.....</b> | <b>3</b>  |
| 5.1      | CONTEXTO GEOGRÁFICO Y MORFODINÁMICO .....                                    | 3         |
| 5.2      | GEOMORFOLOGÍA .....  | 6         |
| 5.3      | LITOLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA .....   | 8         |
| 5.4      | TOPO-BATIMETRÍA.....   | 9         |
| <b>6</b> | <b>EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA (ELC) .....</b>                            | <b>10</b> |
| 6.1      | ACTUACIONES EN LA COSTA .....  | 10        |
| 6.2      | ESTUDIO CUANTITATIVO DE EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA .....                 | 13        |
| 6.2.1    | Material y métodos.....  | 13        |
| 6.2.2    | Resultados.....  | 15        |
| 6.2.3    | Conclusiones .....   | 18        |
| <b>7</b> | <b>CLIMA MARÍTIMO Y PROPAGACIÓN DEL OLEAJE.....</b>                          | <b>19</b> |
| 7.1      | OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS .....  | 19        |
| 7.1.1    | Fuentes de datos y su calibración .....                                      | 19        |
| 7.1.2    | Distribución sectorial del oleaje.....                                       | 21        |
| 7.1.3    | Régimen Medio Escalar.....   | 23        |
| 7.1.4    | Caracterización Extremal del oleaje en aguas profundas .....                 | 25        |
| 7.2      | RÉGIMEN DE MAREA Y COTA DE INUNDACIÓN.....                                   | 33        |
| 7.2.1    | Introducción.....  | 33        |
| 7.2.2    | Niveles de marea del Atlas de Inundación.....                                | 33        |
| 7.3      | PROPAGACIÓN DEL OLEAJE .....   | 37        |
| 7.3.1    | Introducción.....  | 37        |
| 7.3.2    | Metodología.....   | 38        |
| 7.4      | OLEAJE EN LA COSTA.....  | 44        |
| 7.4.1    | Selección del punto objetivo en la costa .....                               | 44        |
| 7.4.2    | Reconstrucción del clima marítimo en la costa .....                          | 44        |
| <b>8</b> | <b>FLUJO MEDIO DE ENERGÍA.....</b>   | <b>50</b> |
| 8.1      | FME A -5 m DE PROFUNDIDAD .....  | 50        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 8.2       | FME EN LA BATIMÉTRICA -2 m .....   | 51        |
| <b>9</b>  | <b>PROFUNDIDAD DE CIERRE.....</b>  | <b>52</b> |
| <b>10</b> | <b>TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....</b>                                       | <b>55</b> |
| 10.1      | ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE MEDIANTE EL ESTUDIO DE ELC.....                  | 56        |
| 10.2      | ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE MEDIANTE MODELO SEMI-EMPÍRICO DEL CERC .....     | 62        |
| 10.3      | ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE MEDIANTE MODELO NÚMÉRICO (EROS-SMC) .....        | 64        |
| 10.3.1    | Planteamiento y descripción del modelo .....                               | 64        |
| 10.3.2    | Resultados de transporte.....  | 67        |
| 10.4      | RESUMEN DE RESULTADOS .....  | 69        |
| <b>11</b> | <b>ANÁLISIS A LARGO PLAZO DE LA PLAYA: CONDICIONES DE EQUILIBRIO .....</b> | <b>70</b> |
| 11.1      | FORMA EN PLANTA DE PLAYA .....   | 70        |
| 11.2      | PERFIL DE EQUILIBRIO DE PLAYA .....  | 71        |

#### Anexo 1. Planos de Evolución de la Línea de Costa

### ÍNDICE DE FIGURAS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1  | Ámbito de actuación. ....   | 2  |
| Figura 2  | Unidad fisiográfica del Golfo de Valencia. ....   | 3  |
| Figura 3  | Zonificación de la subunidad fiográfica entre el Puerto de Sagunto y el Puerto de Valencia donde se resalta el tramo al que pertenece la zona objeto de actuación. ..                             | 5  |
| Figura 4  | Sectorización del tramo costero donde se ubica la zona objeto de actuación.....   | 6  |
| Figura 5  | Zona norte de la celda sur. Playa de Meliana. Fuente: Google Earth. ....  | 7  |
| Figura 6  | Zona sur de la celda sur. Playa de Port Saplaya. Fuente: Google Earth. ....   | 8  |
| Figura 7  | Muestras de sedimentos de las playas de Meliana y Port Saplaya.....   | 9  |
| Figura 8  | Topo-batimetría de la zona en estudio. ....   | 10 |
| Figura 9  | Fotografía aérea de 1956 del borde litoral entre el actual escollerado de la A7 y la desembocadura del Barranco del Carraixet. Fuente: Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), IGN..... | 11 |
| Figura 10 | Fotografía aérea de 1981 del tramo de costa entre el escollerado de la A7 y el puerto de Port Saplaya.....  | 11 |
| Figura 11 | Ortofotos del vuelo de 1998. Playas de Meliana y Port Saplaya.....  | 12 |
| Figura 12 | Tramo IV: subtramos identificados y transectos analizados.....  | 15 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 13 | Evolución de la línea de costa desde 1956 a 2009 en el Transecto IV.1. ....   | 16 |
| Figura 14 | Evolución de la línea de costa desde 1956 a 2009 en el Transecto IV.2. ....   | 17 |
| Figura 15 | Evolución de la línea de costa desde 1956 a 2009 en el Transecto IV.3. ....   | 17 |
| Figura 16 | Evolución de la línea de costa en términos de variación de superficies (m2) desde 1956 a 2009. Tramo IV. ....                             | 18 |
| Figura 17 | Localización de las distintas fuentes del Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado .....                                       | 20 |
| Figura 18 | Proceso de calibración de los datos simulados SIMAR y WANA.....   | 20 |
| Figura 19 | Series de Hs y Tp de SIMAR y WANA calibradas y unificadas en aguas profundas (1958-2011). ....  | 21 |
| Figura 20 | Rosa de oleaje y estadísticos básicos de Hs de la serie SIMAR y WANA calibrada correspondiente al nodo 2046036 (1958-2011) .....          | 22 |
| Figura 21 | Histograma y función de distribución de la variable Hs de la serie SIMAR y WANA 2046036 calibrada (1958-2011) .....                       | 22 |
| Figura 22 | Rosa del periodo de pico del oleaje y estadísticos básicos de la variable Tp de la serie SIMAR y WANA 2046036 calibrada (1958-2011) ..... | 23 |
| Figura 23 | Histograma y función de distribución de $T_p$ .....   | 23 |
| Figura 24 | Ajuste de la variable Hs mediante distribución Lognormal .....  | 24 |
| Figura 25 | Régimen medio escalar anual de Hs .....   | 24 |
| Figura 26 | Ajuste de extremos de Hs mediante la función de distribución de Gumbel.....   | 25 |
| Figura 27 | Ajuste de extremos de Hs mediante la función de distribución GEV.....   | 26 |
| Figura 28 | Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones N (izq.) y NNE (dcha.).....   | 27 |
| Figura 29 | Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones ENE (izq.) y E (dcha.) .....  | 27 |
| Figura 30 | Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones ESE (izq.) y SE (dcha.) .....   | 28 |
| Figura 31 | Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones SSE (izq.) y S (dcha.) .....  | 28 |
| Figura 32 | Ajuste de extremos distribución de GEV. Dirección SSW.....  | 28 |
| Figura 33 | IRE y vida útil mínima en función del tipo de obra para áreas litorales.....  | 29 |
| Figura 34 | ISA y probabilidad conjunta de fallo en función del tipo de obra para áreas litorales . ....  | 30 |
| Figura 35 | Distribución de Áreas en el mapa del ATLAS (Detalle Área VIIa) .....  | 33 |
| Figura 36 | Niveles de referencia altimétrica en Valencia (cotas en metros) .....   | 34 |
| Figura 37 | Régimen medio de marea para el Área VIIA del ATLAS .....  | 35 |
| Figura 38 | Régimen extremal de marea en el Área VIIA del ATLAS .....   | 35 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 39 | Régimen medio de cota de inundación en el Área VIIA del ATLAS.....  | 36 |
| Figura 40 | Régimen extremal de cota de inundación en el Área VIIA de ATLAS.....  | 36 |
| Figura 41 | Ondas de marea de los registros de los Puertos de Sagunto (línea azul) y Valencia (línea roja) .....                          | 37 |
| Figura 42 | Carta náutica nº47 del Instituto Hidrográfico de la Marina.....   | 39 |
| Figura 43 | Carta náutica nº48 del Instituto Hidrográfico de la Marina.....   | 40 |
| Figura 44 | Carta náutica nº481 del Instituto Hidrográfico de la Marina.....  | 40 |
| Figura 45 | Diagrama de dispersión Hs-Tp donde se muestran los estados de mar escogidos para la propagación. ....                         | 41 |
| Figura 46 | Grupo de mallas encadenadas del E. ....   | 42 |
| Figura 47 | Grupo de mallas encadenadas del ESE.....  | 43 |
| Figura 48 | Malla de detalle de la familia de mallas del ESE. ....  | 43 |
| Figura 49 | Localización del nodo objetivo en la costa.....   | 44 |
| Figura 50 | Rosas de Hs (izq.) y Tp (dcha.) del oleaje en la costa. ....  | 45 |
| Figura 51 | Régimen medio escalar del oleaje en la costa. ....  | 45 |
| Figura 52 | Régimen medio direccional del oleaje en la costa. Direcciones ENE (izq.) y E (dcha.)  | 46 |
| Figura 53 | Régimen medio direccional del oleaje en la costa. Direcciones ESE (izq.) y SE (dcha.) ..                                      | 46 |
| Figura 54 | Relación Hs-Tp del oleaje en la costa objeto de estudio.....  | 47 |
| Figura 55 | Régimen extremal del oleaje en la costa. ....   | 48 |
| Figura 56 | Régimen extremal direccional del oleaje en la costa. Direcciones ENE (izq.) y E (dcha.)                                       | 48 |
| Figura 57 | Régimen extremal direccional del oleaje en la costa. Direcciones ESE (izq.) y SE (dcha.)                                      | 49 |
| Figura 58 | Relación Hs-Tp para valores extremos. ....  | 49 |
| Figura 59 | Dirección del FME a -5 m de profundidad frente a la costa en estudio.....   | 50 |
| Figura 60 | Planta de equilibrio discretizada a partir del FME a -2 m de profundidad. ....  | 52 |
| Figura 61 | Emplazamiento de los perfiles de playa levantados en la playa de Meliana. ....  | 54 |
| Figura 62 | Variación de la profundidad ( $\Delta h$ ) del perfil central de la playa de Meliana entre octubre de '09 y junio de '10..... | 55 |
| Figura 63 | Esquema de cálculo del balance sedimentario en el tramo i.....  | 57 |
| Figura 64 | Transporte por tramo y periodo de actuaciones ( $m^3/año$ ). ....   | 59 |
| Figura 65 | Transporte por tramo y periodo 1965-1977 ( $m^3/año$ ). ....  | 59 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 66 | Transporte por tramo y periodo 1977-1986 ( $m^3/año$ ).....                              | 60 |
| Figura 67 | Transporte por tramo y periodo 1986-1998 ( $m^3/año$ ).....                              | 60 |
| Figura 68 | Transporte por tramo periodo 1998-2009 ( $m^3/año$ ). ....                               | 61 |
| Figura 69 | Tasa de transporte por tramos ( $m^3/año/m$ ). Tramos del 1 al 5. ....                   | 62 |
| Figura 70 | Tasa de transporte por tramos ( $m^3/año/m$ ). Tramos del 6 al 7. ....                   | 62 |
| Figura 71 | Comparación de $Q(m^3/año/tramo)$ observados en ELC y estimados con modelo (CERC) .....  | 64 |
| Figura 72 | Diagramas de flujo de los modelos ESI y MEM del EROS. ....                               | 65 |
| Figura 73 | Transporte potencial de inicio de erosión oleaje para Tramos 6, 7 y 8 .....              | 68 |
| Figura 74 | Comparación de resultados de potencial de transporte neto respecto modelo numérico ..... | 70 |
| Figura 75 | Esquema de la forma en planta de una playa en equilibrio (Hsu&Evans, 1989) .....         | 70 |
| Figura 76 | Forma en planta de equilibrio de las playas.....   | 71 |
| Figura 77 | Modelo parabólico de perfil de equilibrio, Dean (1977).....                              | 72 |
| Figura 78 | Perfil de equilibrio de la playa de Port Saplaya.....                                    | 73 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabla 1.  | Registro de aportaciones de material de relleno a playas. ....   | 12 |
| Tabla 2.  | Límites de los tramos y subtramos identificados en el estudio de ELC y su longitud. Se remarca en negrita el correspondiente a la zona objeto de actuación. .... | 14 |
| Tabla 3.  | Variaciones sufridas en la línea de costa de 1956 a 2009 en el Tramo IV. ....  | 16 |
| Tabla 4.  | Variaciones de la línea de costa en términos de superficies ( $m^2$ ) desde 1956 a 2009. Tramo IV. ....  | 18 |
| Tabla 5.  | Tasas de erosión/acreción por ml de tramo .....  | 19 |
| Tabla 6.  | Contraste de los valores de oleaje medio SIMAR&WANA VS Boya Valencia 1617... 25  |    |
| Tabla 7.  | Comparativa de oleaje extremal SIMAR&WANA VS Boya Valencia 1617. Ajuste Gumbel de máximos.....   | 26 |
| Tabla 8.  | Comparativa de oleaje extremal SIMAR&WANA VS Boya Valencia 1617. Ajuste función de extremos GEV .....  | 27 |
| Tabla 9.  | Periodos de retorno para los distintos tramos de obra en áreas litorales.....  | 30 |
| Tabla 10. | Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno $T_R=68$ años.....   | 31 |
| Tabla 11. | Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno $T_R=143$ años.....  | 31 |



|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabla 12. | Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno $T_R = 238$ años.....  | 31 |
| Tabla 13. | Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno $T_R = 689$ años.....  | 32 |
| Tabla 14. | Oleaje extremal ( $H_s$ , $T_p$ ) asociado al periodo de retorno $T_R = 68$ años (izda.) y $T_R = 143$ años (dcha.).....         | 32 |
| Tabla 15. | Oleaje extremal ( $H_s$ , $T_p$ ) asociado al periodo de retorno $T_R = 238$ años (izda.) y $T_R = 689$ años (dcha.).....        | 32 |
| Tabla 16. | Características de los equipos para la determinación del régimen de nivel del mar  | 34 |
| Tabla 17. | Niveles extremales de marea referidos al NMMA .....  | 35 |
| Tabla 18. | Cota de inundación del régimen extremal, referida al NMMA.....   | 36 |
| Tabla 19. | Resultado del análisis de componentes armónicas de los niveles de marea en el Puerto de Sagunto.....                             | 37 |
| Tabla 20. | Resultado del análisis de componentes armónicas de los niveles de marea en el Puerto de Valencia .....                           | 37 |
| Tabla 21. | Casos de altura de ola y periodos propagados en cada una de las direcciones de procedencia del oleaje: NE, ENE, E, ESE y SE..... | 41 |
| Tabla 22. | Coordenadas del nodo objetivo en la costa.....   | 44 |
| Tabla 23. | Tabla de estadísticos básicos de altura de ola significativa del oleaje en la costa objeto de estudio.....                       | 47 |
| Tabla 24. | Estados de mar en RE en la costa de Port Saplaya para los distintos periodos de retorno considerados.....                        | 49 |
| Tabla 25. | Dirección FME en los nodos de control, orientación de la costa y ángulo relativo entre ambos.....                                | 50 |
| Tabla 26. | Profundidad de cierre en cada tramo de actuación.....  | 53 |
| Tabla 27. | Avance/retroceso medio en cada tramo y periodo. (Valores positivos acreción y valores negativos erosión) .....                   | 56 |
| Tabla 28. | Variación de volumen medido por tramo y período. (Valores positivos acreción y valores negativos erosión) .....                  | 56 |
| Tabla 29. | Transporte por periodo y tramo adimensionalizado ( $m^3/año/m$ ).....  | 57 |
| Tabla 30. | Transporte por tramo y periodo de actuaciones adimensionalizado ( $m^3/año/m$ )...   | 57 |
| Tabla 31. | Transporte por tramo y periodo de actuaciones ( $m^3/año$ ).....   | 58 |
| Tabla 32. | Potencial de transporte neto ( $m^3/año/tramo$ ) con fórmula del CERC.....   | 64 |
| Tabla 33. | Casos de oleaje equivalentes al flujo medio de energía .....   | 68 |
| Tabla 34. | Potencial de transporte neto ( $m^3/año/tramo$ ) con Modelo EROS para estado actual. ....  | 69 |



---

|  |    |
|--|----|
| Tabla 35. Potencial de transporte neto ( $\text{m}^3/\text{año}/\text{tramo}$ ) (positivo en dirección Norte Sur) .... | 69 |
| Tabla 36. Parámetros de ajuste de los perfiles teóricos a la batimetría del terreno .....                              | 72 |



## 1 OBJETO

El presente estudio se emite con el fin de obtener la correspondiente concesión administrativa para la ocupación de una superficie de 175 m<sup>2</sup> de terrenos de dominio público, entre los mojones M-1 y M-3, en la que se pretende realizar obras de reposición del paseo marítimo norte de Port Saplaya, destinadas a la defensa del mismo de los embates de la mar, y reconstrucción de una rampa de acceso a la playa para los vehículos autorizados para la limpieza y conservación de la misma.

## 2 MARCO NORMATIVO Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS

Se redacta el presente documento de acuerdo con lo dispuesto por el Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas, y Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.

En concreto, el Reglamento General de Costas (en adelante, RGC), en su artículo 91.3 establece:

*Cuando el proyecto contenga la previsión de actuaciones en el mar o en la zona marítimo-terrestre (caso, este último, de la actuación proyectada), deberá comprender un estudio básico de la dinámica litoral referido a la unidad fisiográfica costera correspondiente y de los efectos de las actuaciones previstas, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 93 de este reglamento (artículo 44.3 de la Ley 22/1988, de 28 de julio).*

El alcance de dicho estudio, y por ende el del presente trabajo, queda así contenido en el mencionado artículo 93, que especifica:

*El estudio básico de dinámica litoral a que se refiere el artículo 91.3 de este reglamento se acompañará como anejo a la Memoria, y comprenderá los siguientes aspectos:*

- a) Estudio de la capacidad de transporte litoral.*
- b) Balance sedimentario y evolución de la línea de costa, tanto anterior como previsible.*
- c) Clima marítimo, incluyendo estadísticas de oleaje y temporales direccionales y escolares.*
- d) Dinámicas resultantes de los efectos del cambio climático.*
- e) Batimetría hasta zonas del fondo que no resulten modificadas, y forma de equilibrio, en planta y perfil, del tramo de costas afectado.*
- f) Naturaleza geológica de los fondos.*
- g) 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.*
- h) Recursos disponibles de áridos y canteras y su idoneidad, previsión de dragados o trasvases de arenas.*
- i) Plan de seguimiento de las actuaciones previstas.*
- j) Propuesta para la minimización, en su caso, de la incidencia de las obras y posibles medidas correctoras y compensatorias.*

No obstante, los epígrafes g, h, i y j anteriormente mencionados, se abordarán como parte del Proyecto Técnico y/o su Documento Ambiental de inicio, en lugar de en el presente estudio, así como los efectos del cambio climático en la dinámica litoral que se evalúa en Informe específico al respecto.

### 3 DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA

Para la realización del estudio se cuenta con la siguiente información de partida:

- “Estudio de Soluciones para el Tramo de Costa comprendido entre el Puerto de Sagunto y el Puerto de Valencia” realizado por la consultora Iberport Consulting en 2011-2012 para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar.
- “Estudio ecocartográfico del litoral de las provincias de Alicante y Valencia, Provincia de Valencia”, llevado a cabo en 2007 por las empresas HIDTMA e Iberinsa para la Dirección General de Costas. Estudio conocido como ECOLEVANTE.

### 4 ACTUACIONES PARA LAS QUE SE EMITE EL INFORME

La superficie de actuación propuesta es de 175 m<sup>2</sup> de terrenos de dominio público marítimo-terrestre (DPMT). Se sitúa entre los mojones M1 y M3 de Port Saplaya (en el T.M. de Alboraya, Valencia) y se corresponde con el extremo más al norte del paseo marítimo existente. La cota de coronación del muro con respecto a nivel del mar es de 2,50 m.

Se realizarán obras de protección del litoral mediante la reparación de muro de contención ubicado en el paseo marítimo Port Saplaya, extremo norte, afectado por los últimos temporales, que incluye la ejecución de un nuevo tramo de muro.

En orden a anticipar futuros daños originados por nuevos temporales, se plantea el recalce del muro existente mediante el uso de micropilotes, así como el uso de los mismos en la construcción de los nuevos muros.

Además, se contempla la ejecución de una rampa para acceso de los vehículos de limpieza de playas, que viene a sustituir la removida por los citados temporales, para la que se solicita la preceptiva concesión administrativa a favor de este Ayuntamiento. Así mismo se plantea el uso de escollera para favorecer la rotura de las olas en la misma, evitando que se socave la arena por debajo de la rampa.

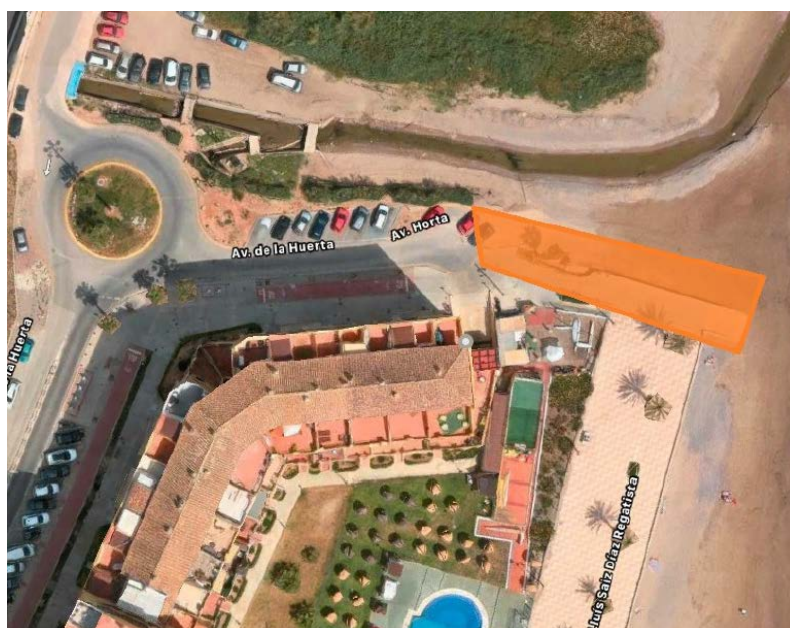


Figura 1 *Ámbito de actuación.*

## 5 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ACTUACIÓN Y SU UNIDAD FISIOGRAFICA

### 5.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO Y MORFODINÁMICO

El tramo costero objeto de estudio se sitúa en la fachada costera del Golfo de Valencia, en el Mediterráneo Occidental, concretamente, en su zona central, al norte de la ciudad de Valencia y en el límite entre los términos municipales de Alboraya y Meliana, en el extremo septentrional del núcleo urbano de Port Saplaya.

Este Golfo, también conocido como Óvalo Valenciano, entre el Delta del Ebro (al N) y el Cabo de San Antonio (al S), véase Figura 2, constituye una unidad fisiográfica global de 1<sup>er</sup> orden, en la que los sedimentos disponibles tienen su fuente y sumidero en la unidad, por lo que se puede considerar nulo el flujo de sedimento a través de las secciones transversales de ésta y su funcionamiento dinámico independiente del exterior.

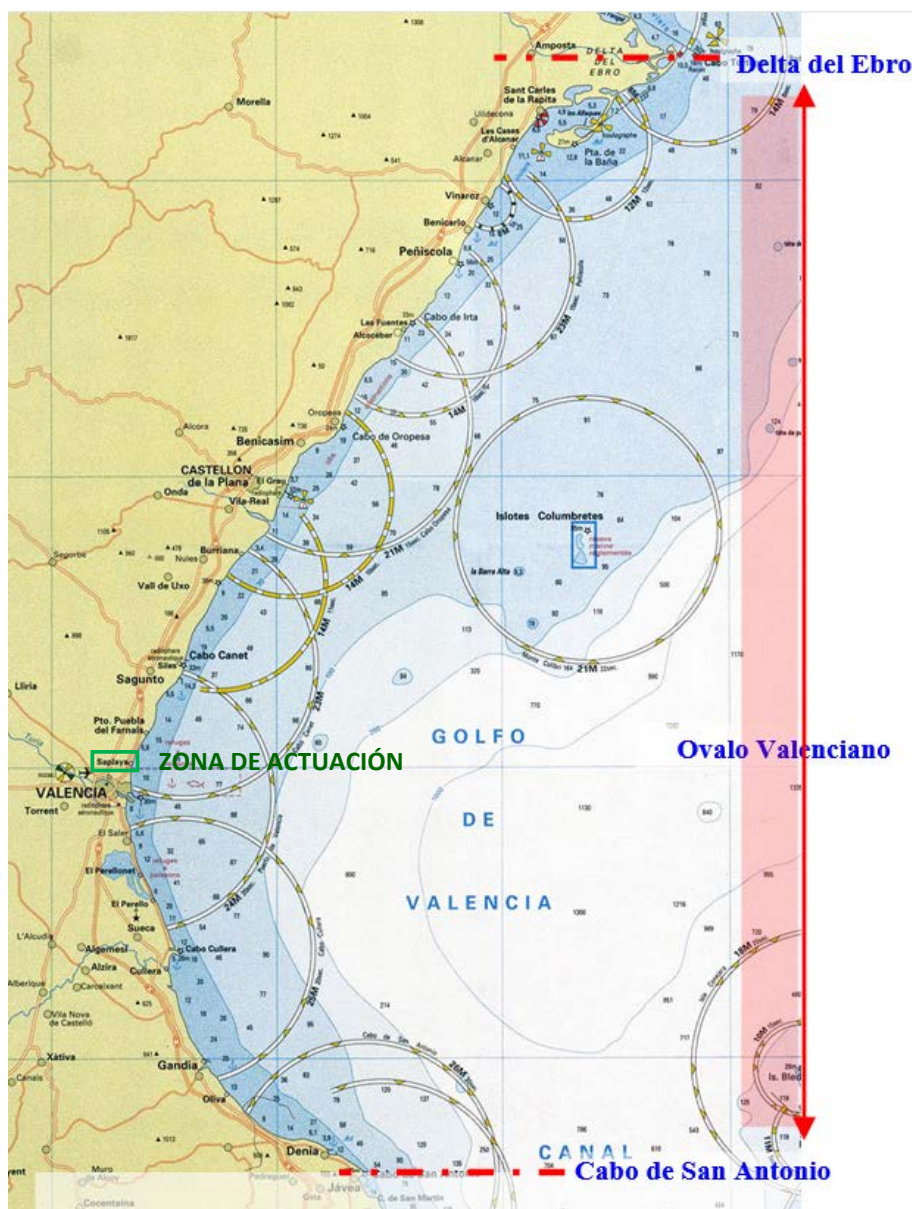


Figura 2 Unidad fisiográfica del Golfo de Valencia.

En ella se distinguen distintos accidentes geográficos (cabos o deltas) y estructuras marítimas (fundamentalmente puertos y espigones) que constituyen a su vez barreras al transporte longitudinal de menor envergadura que las anteriores y que dividen dicha unidad global en subunidades más pequeñas o tramos litorales con un comportamiento morfodinámico independiente.

Así, el borde marítimo de Port-Saplaya objeto de actuación se localiza en la subunidad conformada entre los Puertos de Sagunto y Valencia, que actúan de barreras totales al transporte, y en la que la presencia del hemitómbolo del Puig en su zona central, lleva a la diferenciación de dos regiones separadas por esta singularidad litoral de origen tectónico (causada por un fenómeno de subsidencia diferencial). En su región sur, las playas de Meliana y Port Saplaya quedan enmarcadas en el borde litoral entre la protección costera longitudinal que rigidiza todo el frente de la autovía A-7 desde Massalfasar hasta el T.M. de Meliana, y el propio puerto de Port Saplaya. Ver Figura 3.



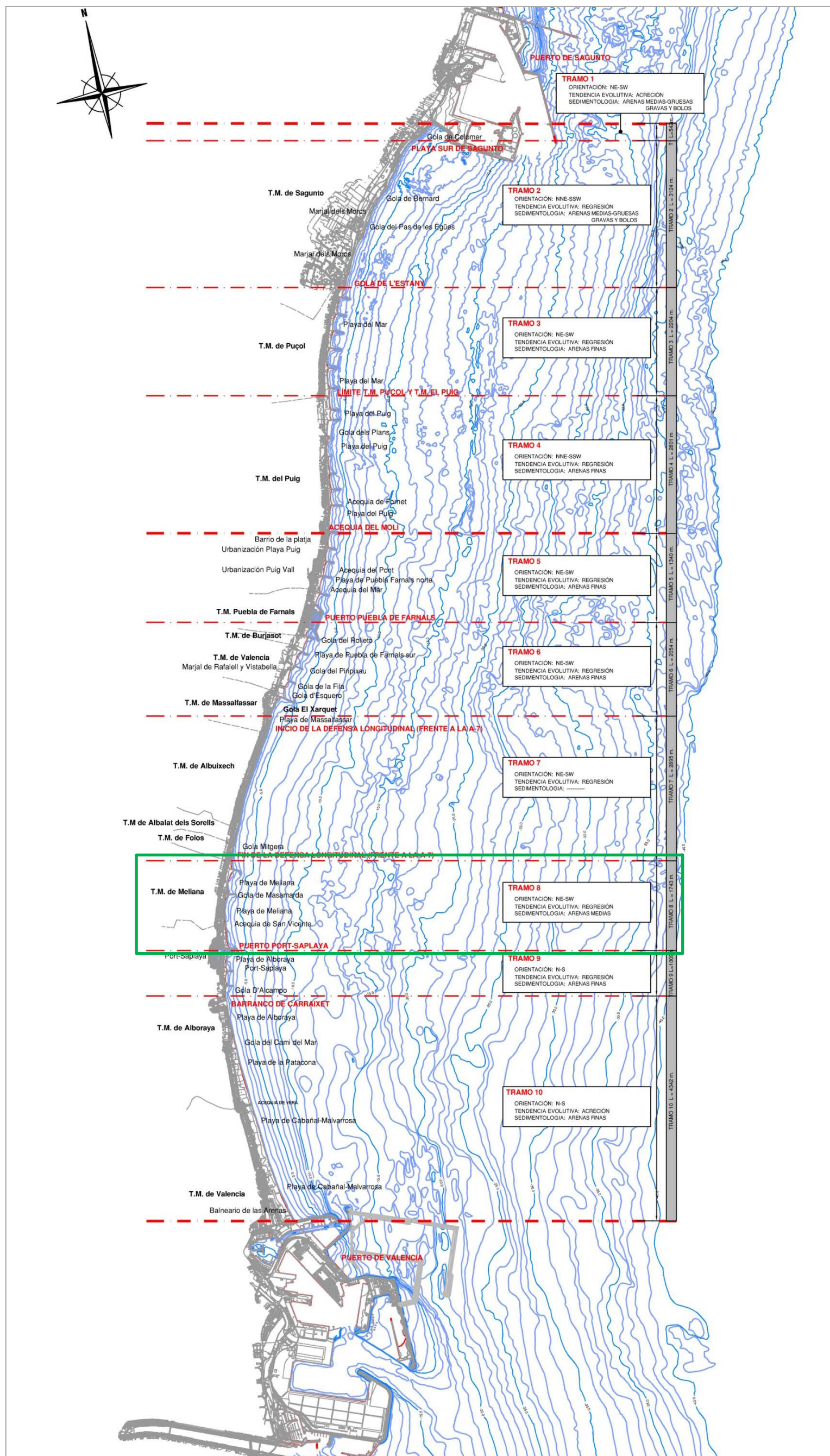


Figura 3 Zonificación de la subunidad fiográfica entre el Puerto de Sagunto y el Puerto de Valencia donde se resalta el tramo al que pertenece la zona objeto de actuación.



## 5.2 GEOMORFOLOGÍA

En el tramo, con una orientación general de la costa NNE-SSW, se diferencian dos celdas de playa: la playa de Meliana al N, de unos 500 m de longitud, encajada entre los dos espigones quebrados (a modo de “L” abierta) que la configuran; y la playa entre el espigón sur y el Puerto de Port Saplaya, celda sur, también de tipo equilibrio estático y aproximadamente 1 km de extensión, donde se ubica la zona de actuación.



Figura 4 Sectorización del tramo costero donde se ubica la zona objeto de actuación.

Estas playas, son un resquicio de lo que fue en su momento el antiguo cordón litoral que se desarrollaba desde Sagunto a Alboraya. La gran cantidad de materiales vertidos al mar por el río Palancia, fueron transportados en dirección N-S (dirección general del transporte en el Óvalo Valenciano), y formaron sucesivas barras submarinas, que en las condiciones apropiadas de estabilidad del nivel del mar dieron lugar a un cordón litoral, cuya dirección inicial era NE-SW, y que finalmente ocupa una dirección NNE-SSW. Actualmente, el cordón litoral arranca en el delta sumergido del río

Palancia y con una longitud de 16 km, alcanza la desembocadura del Barranco del Carraixet. Su anchura oscila entre 100 y 200 m, excepto en los tramos donde se han acelerado los procesos erosivos costeros a causa de las construcciones artificiales, donde se reduce estrictamente a la playa. La máxima anchura se alcanza en el sector del Puig y Puebla de Farnals.

La forma en planta de las playas de Meliana y Port Saplaya, de tipo parabólico en los extremos y una zona central rectilínea, responde a la presencia de las estructuras de rigidización costera existentes (espigones de Meliana y dique de abrigo del puerto de Port Saplaya), aspecto que se analizará en profundidad más adelante en el análisis a largo plazo de la playa.

En la celda sur, estas playas quedan separadas por la desembocadura de la Acequia de Sant Vicent, en cuya margen derecha se plantean las obras. La primera, de unos 28 m de anchura media de playa seca, se caracteriza por un trasdós no rigidizado con presencia de dunas y construcciones aisladas, por lo que podría tipificarse como playa semiurbana/aislada. En cambio la segunda, presenta un claro carácter urbano, con un trasdós limitado por el paseo marítimo existente y edificaciones en primera línea. La anchura de playa seca varía entre los 20 m más estrechos en su extremo N junto a la desembocadura de la acequia y frente a la zona donde se plantean las obras, y unos 50 m en la zona más ancha al sur junto al puerto.

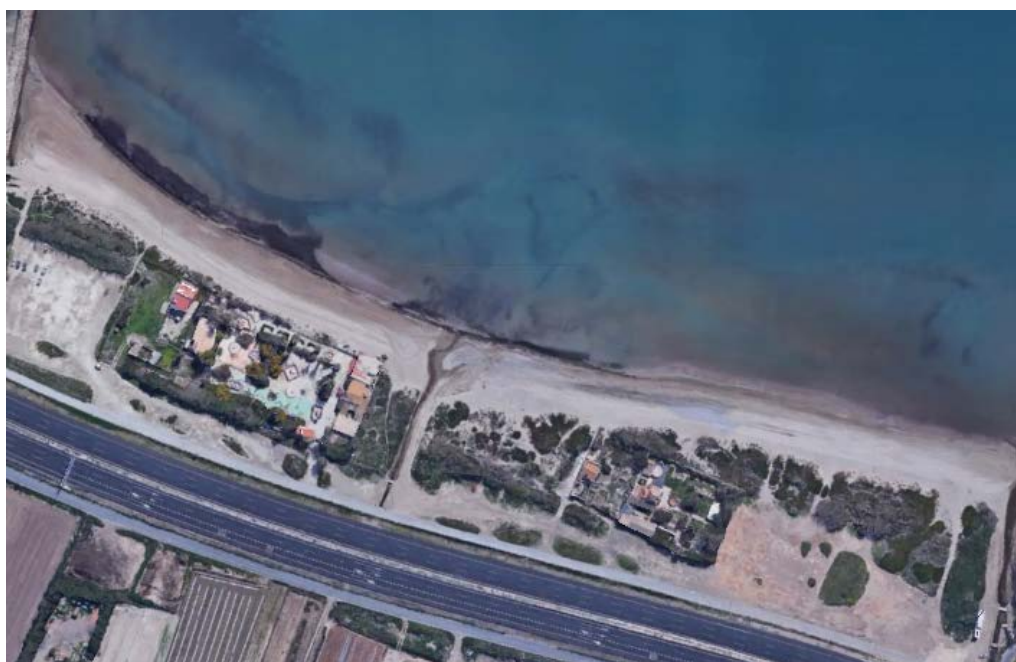


Figura 5 Zona norte de la celda sur. Playa de Meliana. Fuente: Google Earth.

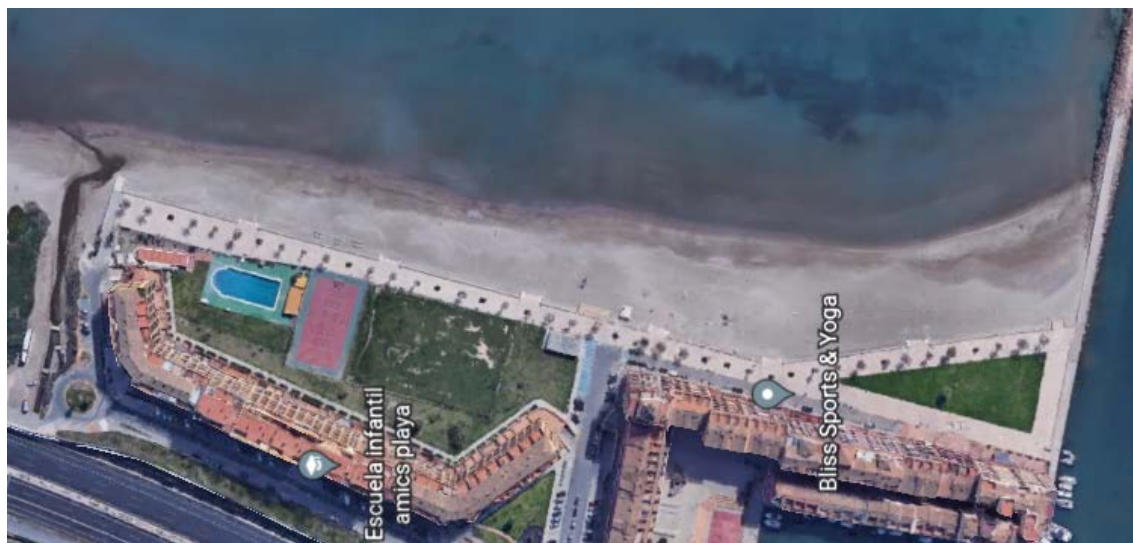


Figura 6 Zona sur de la celda sur. Playa de Port Saplaya. Fuente: Google Earth.

### 5.3 LITOLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA

El ya mencionado antiguo cordón litoral desde Sagunto a Alboraya, consiste en un conglomerado fosilífero, con una altura media de 2 m, de materiales muy heterométricos, con predominio de la fracción gruesa, lo que sugiere que dichos materiales son de procedencia fluvial.

Gran parte del cordón litoral se encuentra bajo las obras recientes de edificaciones, estructuras de protección de costa mediante playas encajadas en espigones, o el escollero en el tramo de Playa de Puebla de Farnals a Port-Saplaya, aunque algunos tramos desprotegidos en proceso erosivo lo dejan al descubierto. En dichos tramos, se encuentran gravas y cantos (tamaño >5 mm).

Las playas de Meliana y Port Saplaya están conformadas por arenas de diferente tamaño. La clasificación de los sedimentos por tamaño es la siguiente, pudiéndose observar su distribución en la zona de estudio en la Figura 7:

- F, finos de tamaño inferior a 0,08 mm
- AF, arena fina de tamaño entre 0,08 mm y 0,25 mm
- AM, arena media de tamaño entre 0,25 mm y 0,50 mm
- AG, arena gruesa de tamaño entre 0,50 mm y 1,00 mm
- AMG, arena muy gruesa de tamaño entre 1,00 mm y 2,00 mm
- G, gravas, de tamaño superior a 2,00 mm.
- B, bolos, de tamaño superior a 5,00 mm.
- C, cantos, de tamaño superior a 10,00 mm.

La arena de la playa de Meliana tiene un tamaño de  $D_{50}$  de 0,36 mm (arena media). En la playa sumergida, tras un área de arenas finas, aparecen a la -4,00 m sedimentos finos ( $D_{50} = 0,12$  mm).

Los sedimentos de la playa seca de Port Saplaya son de tamaño fino con un  $D_{50}$  de 0,17 mm. Las arenas finas de la playa sumergida ( $D_{50} = 0,14$  mm) se extienden hasta la cota -7,00 m, a partir de la cual aparecen materiales más finos.



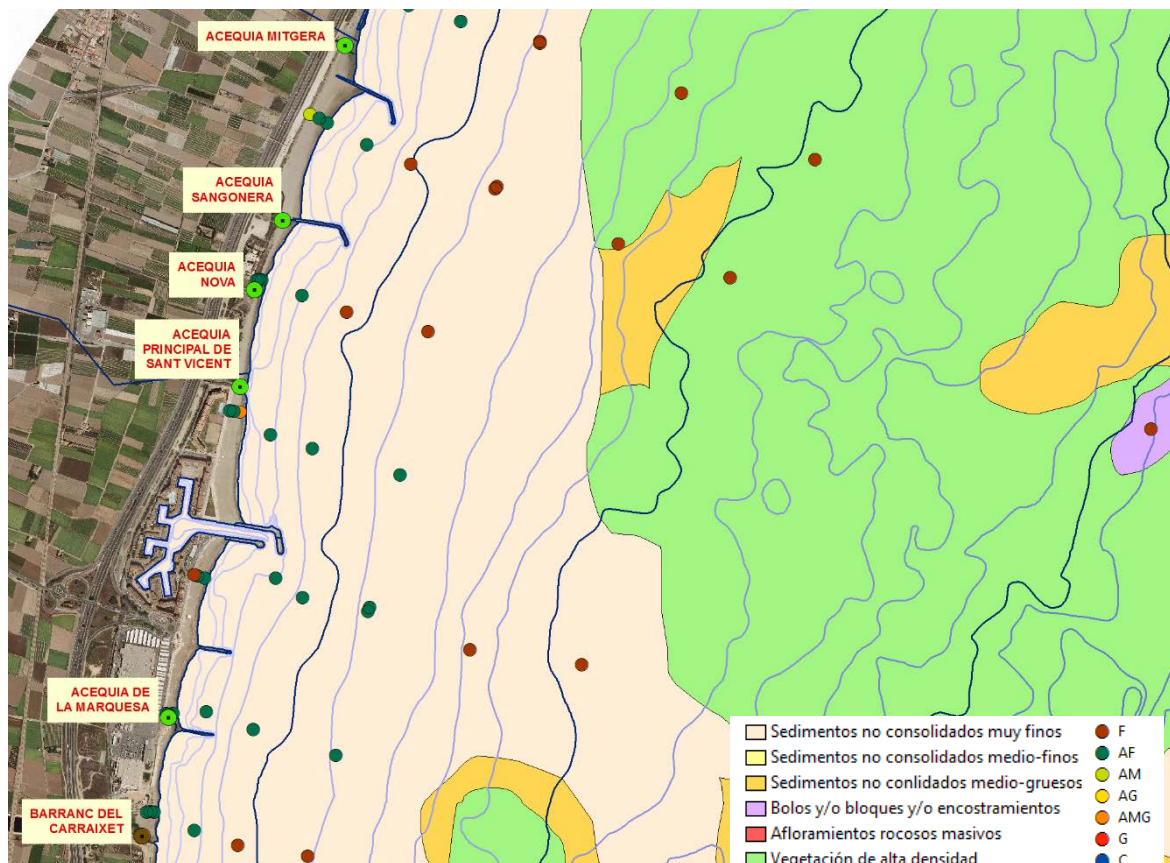


Figura 7 Muestras de sedimentos de las playas de Meliana y Port Saplaya

#### 5.4 TOPO-BATIMETRÍA

Con objeto del “Estudio ecocartográfico del litoral de las provincias de Alicante y Valencia, Provincia de Valencia”, llevado a cabo en 2007 por las empresas HDTMA e Iberinsa para la *Dirección General de Costas*, se elaboró y editó una topografía y batimetría en continuo de la franja costera y los fondos marinos del litoral valenciano a escala 1:1.000, hasta una profundidad de la -40 m, que sirven de base para la caracterización del relieve costero de la zona de actuación.

Los trabajos batimétricos consistieron en el mapeo del fondo marino mediante el uso de dos sondas multihaz y una monohaz. Mientras que la parte terrestre fue levantada a partir de la restitución fotogramétrica de un vuelo aéreo costero en color a escala 1/5.000 y topografía básica (mediciones in situ mediante GPS de doble frecuencia y precisión centimétrica durante campañas de campo).

En los planos obtenidos como resultado de estos trabajos, las posiciones están referidas al elipsoide ED50, proyección UTM, huso 30 N. Las isobatas se presentan en metros, con curvas cada metro, referidas al NMMA.

En el plano a continuación se presenta el detalle de la topo-batimetría costera de la zona de actuación.

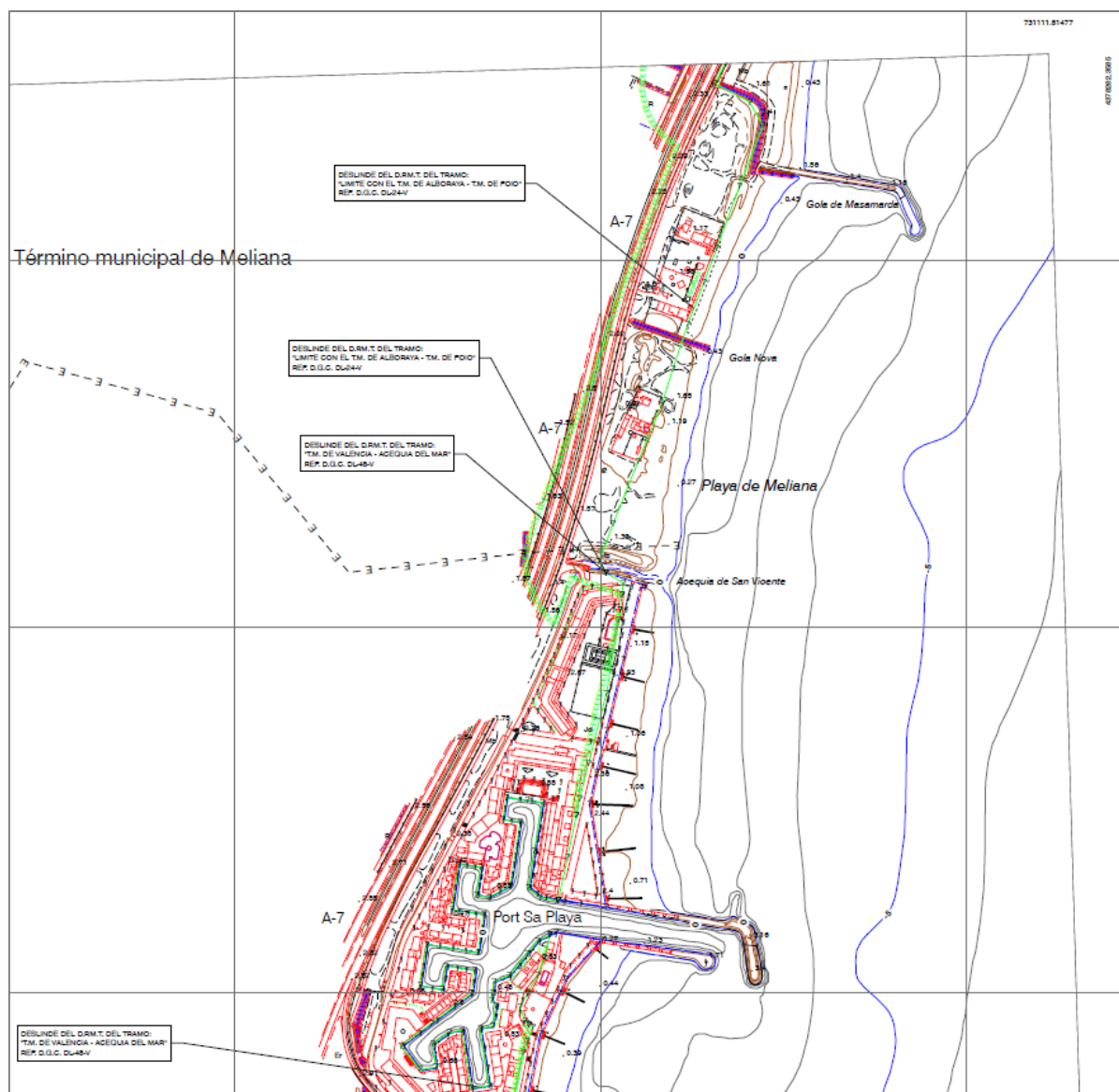


Figura 8 Topo-batimetría de la zona en estudio.

## 6 EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA (ELC)

### 6.1 ACTUACIONES EN LA COSTA

Hasta los años 60 el borde litoral entre los puertos de Sagunto y Valencia permaneció libre de obras de defensa costera, es a partir de 1965, cuando se inició la construcción de la defensa escollera que se desarrolla entre los términos municipales de Massalfassar y Foios, que comienza el proceso de rigidización de la costa.



Figura 9 *Fotografía aérea de 1956 del borde litoral entre el actual escollerado de la A7 y la desembocadura del Barranco del Carraixet. Fuente: Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), IGN.*

El primer espigón construido entre estos dos puertos estrictamente para la protección de un tramo de playa, fue el ejecutado entre 1965 y 1972 junto al puerto deportivo de Puebla de Farnals, al sur de su contradique y paralelo al mismo. Posteriormente, entre 1972 y 1977, la implantación de este tipo de estructuras en este tramo de la costa valenciana, fue abundante.

Es en este mismo periodo, cuando se construye el Puerto deportivo de Port Saplaya. En 1977 los espigones que conforman la bocana del puerto ya estaban terminados, mientras que las obras de configuración de la dársena interior seguían en ejecución en este último año. Entre 1977 y 1981, estos espigones/diques del puerto fueron prolongados.



Figura 10 *Fotografía aérea de 1981 del tramo de costa entre el escollerado de la A7 y el puerto de Port Saplaya.*

Ya en la década de los 90, y más concretamente entre 1994 y 1996, se ejecutaron los dos espigones que protegen la playa de Meliana, configurados en dos tramos de distinta orientación, el primero NW-SE de unos 165 m, y el segundo N-S de 70 m.





Figura 11 Ortofotos del vuelo de 1998. Playas de Meliana y Port Saplaya.

La tabla a continuación recoge algunos de los aportes de material realizados a fin de regenerar las playas:

| Actuación   | TM       | Fecha            | Volumen aportado        | D <sub>50</sub> aportado | D <sub>50</sub> anterior | < 63 mm | Estructuras rígidas |
|---|----------|------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------|---------------------|
| Aporte material de cantera para defensa costera       | Meliana  | 1995             | 275997.62 tm            | 1 mm                     | -                        | 15%     | sí                  |
| Aportación de arena de cantera a la playa de Alboraya | Alboraya | Enero/febr. 2010 | 10118.71 m <sup>3</sup> | -                        | -                        | -       | -                   |
| Mantenimiento playa de Alboraya                       | Alboraya | Mayo/jun. 2010   | 8730 m <sup>3</sup>     | -                        | -                        | -       | -                   |

Tabla 1. Registro de aportaciones de material de relleno a playas.



## 6.2 ESTUDIO CUANTITATIVO DE EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

### 6.2.1 Material y métodos

La obtención de líneas de costa mediante su restitución a partir de fotografías aéreas y su posterior comparación permite el conocimiento indirecto de las variaciones en la posición de la costa a través de escalas temporales largas (periodo entre 1956 y 2009) y amplias zonas, resultando útil para estimar tendencias generales de evolución.

Las series de fotografías aéreas de las que parte este estudio, proporcionadas por la *Demarcación de Costas de Valencia* para la realización del Estudio mencionado en el apartado 3 del presente informe, pertenecen a los vuelos litorales de los años 1956 (en blanco y negro y con una escala de 1:330.00), 1981 (ya en color y con escala 1:12.000), 1986 (escala 1:12.000), 1990 (escala 1:12.000), 1992, 1994, 1996, 1998, 2006, 2007, y 2009. Todas ellas digitalizadas, pero tan sólo georeferenciadas las pertenecientes a los años 2006, 2007 y 2009. Además, con objeto de contemplar la última ampliación hacia el este del Puerto de Valencia, se ha incorporado una fotografía aérea del mismo de marzo de 2011, proporcionada por la *Autoridad Portuaria de Valencia*.

La georeferenciación de las fotografías consiste en posicionar cada una de ellas en coordenadas, tal que el contenido de la fotografía quede situado en su lugar real, evitando que se repita o solape información entre fotografías contiguas y corrigiendo en la medida de lo posible las variaciones de escala causadas por la inclinación del avión en el momento de tomar la imagen, y la distorsión radial a partir del centro que ocasiona la proyección cónica de la foto.

Para ello, se han tomado referencias fijas cuya ubicación y dimensiones no ha variado en el periodo de tiempo considerado (como edificios, parcelas, carreteras o caminos), comparando el primer vuelo y el último, y en atención a éstas (de coordenadas conocidas) se han colocado las fotografías en su posición, para, finalmente, restituir las líneas de orilla identificando el contacto entre la tierra y el mar.

Con objeto de poder analizar los cambios sufridos en la costa durante los años 60 y 70, se incorporaron al estudio las líneas de orilla correspondientes a los vuelos de 1965, 1972 y 1977, restituidas por el CEDEX y proporcionadas por la *Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient de la Generalitat Valenciana*.

Una vez restituidas las líneas de costa de todos los vuelos, e incorporado las líneas de los vuelos de 1965, 1972 y 1977, se comprueban paulatinamente las líneas correspondientes a épocas sucesivas (1956-1965, 1965-1972, 1972-1977, 1977-1981, 1981-1986, 1986-1990, 1990-1992, 1992-1994, 1994-1996, 1996-1998, 1998-2006, 2006-2007, 2007-2009), para cuantificar los avances y/o retrocesos sufridos entre ellas.

Para llevar a cabo esta comparativa, en primer lugar, se establecieron, a lo largo del borde litoral entre los Puertos de Sagunto y Valencia (que enmarcan la unidad fisiográfica), una serie de transectos fijos perpendiculares a la costa (en total 21), en los que, la medición de las variaciones en metros producidas entre las líneas de costa que los cortan proporcionan una idea preliminar del comportamiento de los 6 tramos de la costa identificados inicialmente y permitieron establecer subtramos más concretos dentro de éstos que representan mejor su tendencia evolutiva.

Como se puede ver en la tabla siguiente, la zona objeto de actuación se emplaza en el tramo IV de

estos 6 tramos identificados.

| Tramos | Subtramos | Límite Norte             | Límite Sur                 | Longitud media (m) |
|--------|-----------|--------------------------|----------------------------|--------------------|
| I      | A         | Puerto de Sagunto        | Gola de Colomer            | 2136               |
|        | B         | Gola de Colomer          | Gola de l'Estany           | 3119               |
|        | C         | Gola de l'Estany         | Fin TM Puzol               | 2230               |
| II     | A         | Inicio TM El Puig        | Acequia del Molí           | 2744               |
|        | B         | Acequia del Molí         | Puerto Puebla de Farnals   | 1441               |
|        | C         | Puerto Puebla de Farnals | Inicio tramo escollero     | 1975               |
| III    |           | Inicio tramo escollero   | Fin tramo escollero        | 2884               |
| IV     |           | <b>Inicio TM Meliana</b> | <b>Puerto Port-Saplaya</b> | <b>1730</b>        |
| V      | A         | Puerto Port-Saplaya      | Barranco del Carraixet     | 1004               |
|        | B         | Barranco del Carraixet   | Acequia de Vera            | 1996               |
| VI     |           | Acequia de Vera          | Puerto de Valencia         | 2857               |

Tabla 2. Límites de los tramos y subtramos identificados en el estudio de ELC y su longitud. Se remarca en **negrita** el correspondiente a la zona objeto de actuación.

Puesto que la medición de avances y retrocesos en transectos se ciñe únicamente a puntos muy concretos de la orilla, se considera necesaria la estimación de las variaciones de la posición de la costa en términos de superficies de acreción y erosión. Para ello, se establecieron, en la parte de tierra, límites verticales constantes en cada subtramo identificado anteriormente, a partir de los cuales se mide la superficie existente hasta la línea de orilla de cada uno de los años restituidos formando polígonos. La resta de las superficies de los polígonos de distintos años permite obtener la variación global de la costa en cada subtramo. Por último, y para un mayor detalle en el análisis dentro de cada subtramo, se cuantificaron también las variaciones de superficie existentes entre las líneas de costa de años consecutivos, permitiendo de este modo mensurar los avances o retrocesos de determinadas zonas.

Los resultados obtenidos se expresan, para cada uno de los 6 tramos en los que se dividió el borde litoral entre los Puertos de Sagunto y Valencia, y sus subtramos correspondientes, en forma de planos de transectos y superficies (que se presentan en el *Anexo 1* a este documento), con las restituciones y comparativas realizadas, tablas que recogen los valores numéricos medidos, y gráficas que representan la evolución de la costa a lo largo del periodo considerado.

A la hora de analizar los resultados, cabe tener en cuenta que el método presenta ciertas limitaciones, como consecuencia de:

- La dificultad para establecer con seguridad un elemento o rasgo geomorfológico representativo de la posición de la orilla, sobre todo en zonas con marea. Esta oscilación de la línea de orilla consecuencia de la marea se estima, para el tramo en estudio, en  $\pm 5$  m, dada una carrera de marea astronómica de 0.5 m y una pendiente de playa asumida constante de 1/20.

- La dificultad para diferenciar entre los cambios a corto y largo plazo a partir de los registros tomados en unas pocas fotografías en momentos distintos. La posición de la orilla puede verse afectada por factores estacionales y/o meteorológicos que pueden producir variaciones significativas en la posición de la orilla.
- La exactitud de los datos según la escala y la propia naturaleza de la fotografía original, que dan lugar a errores de precisión a la hora de restituir las líneas de costa. Comparando la posición de puntos fijos en la restitución de diferentes vuelos se ha estimado un error de  $\pm 6$  m.

Éstas desembocan en un factor de error total en la posición exacta de las líneas restituidas de  $\pm 8$  m que ha de ser considerado a la hora de interpretar los resultados obtenidos.

## 6.2.2 Resultados

En la siguiente imagen se muestra el tramo IV del estudio de ELC, que alberga la zona en estudio, y los transectos fijados para su desarrollo.

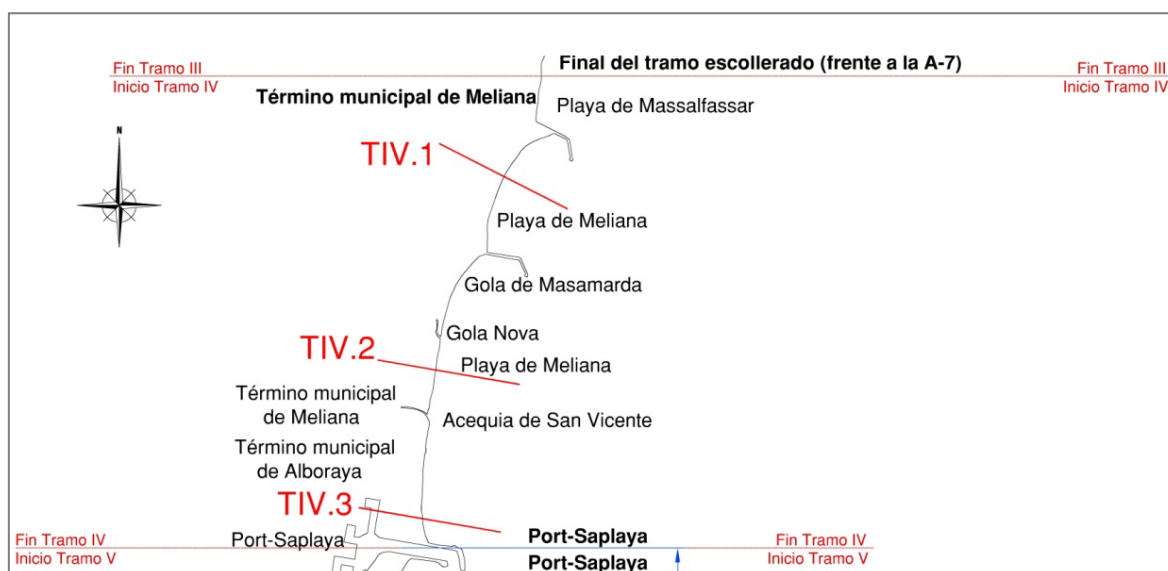


Figura 12 Tramo IV: subtramos identificados y transectos analizados.

• **Avances y/o retrocesos en transectos**

| AÑO  | TIEMPO<br>TRANSCURRIDO | TRAMO IV        |                 |                 |
|------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|      |                        | TIV.1           | TIV.2           | TIV.3           |
|      |                        | Variaciones (m) | Variaciones (m) | Variaciones (m) |
| 1956 | 0                      | 0               | 0               | 0               |
| 1965 | 9                      | -38             | -2              | -5              |
| 1972 | 7                      | 4               | 22              | 4               |
| 1977 | 5                      | -19             | -3              | 9               |
| 1981 | 4                      | -16             | 26              | 67              |
| 1986 | 5                      | -23             | -2              | 2               |
| 1990 | 4                      | -3              | 8               | 16              |
| 1992 | 2                      | -5              | -8              | -4              |
| 1994 | 2                      | 5               | 6               | 0               |
| 1996 | 2                      | 37              | -5              | -12             |
| 1998 | 2                      | 0               | -8              | -5              |
| 2006 | 8                      | 14              | -37             | -23             |
| 2007 | 1                      | 3               | 4               | 0               |
| 2009 | 2                      | 10              | 0               | 9               |

Tabla 3. Variaciones sufridas en la línea de costa de 1956 a 2009 en el Tramo IV.

**Tramo IV: del inicio del TM de Meliana al Puerto deportivo de Port-Saplaya  
(Transecto IV.1)**

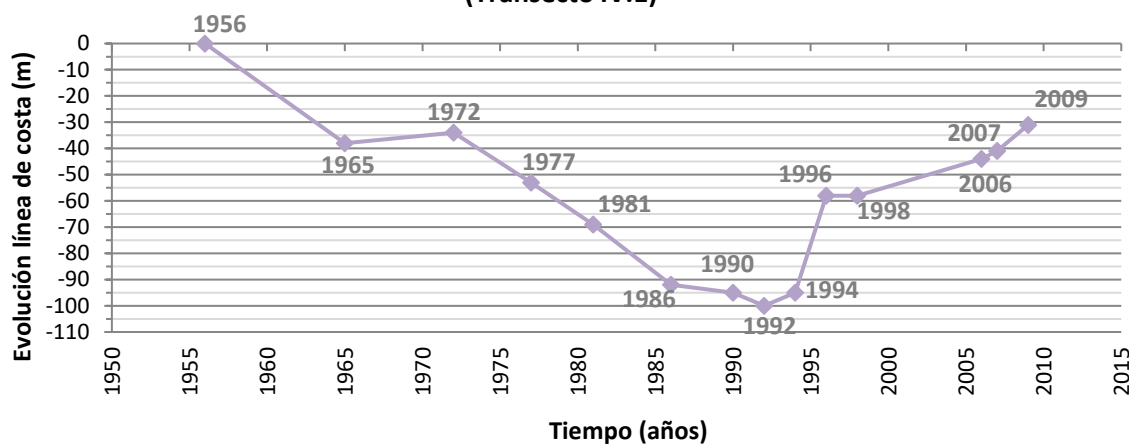


Figura 13 Evolución de la línea de costa desde 1956 a 2009 en el Transecto IV.1.

**Tramo IV: del inicio del TM de Meliana al Puerto deportivo de Port-Saplaya  
(Transecto IV.2)**

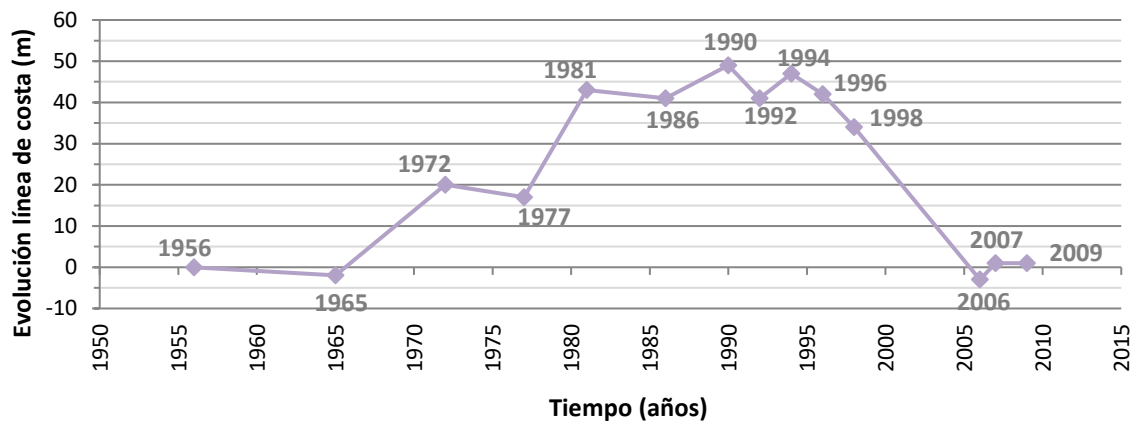


Figura 14 Evolución de la línea de costa desde 1956 a 2009 en el Transecto IV.2.

**Tramo IV: del inicio del TM de Meliana al Puerto deportivo de Port-Saplaya  
(Transecto IV.3)**

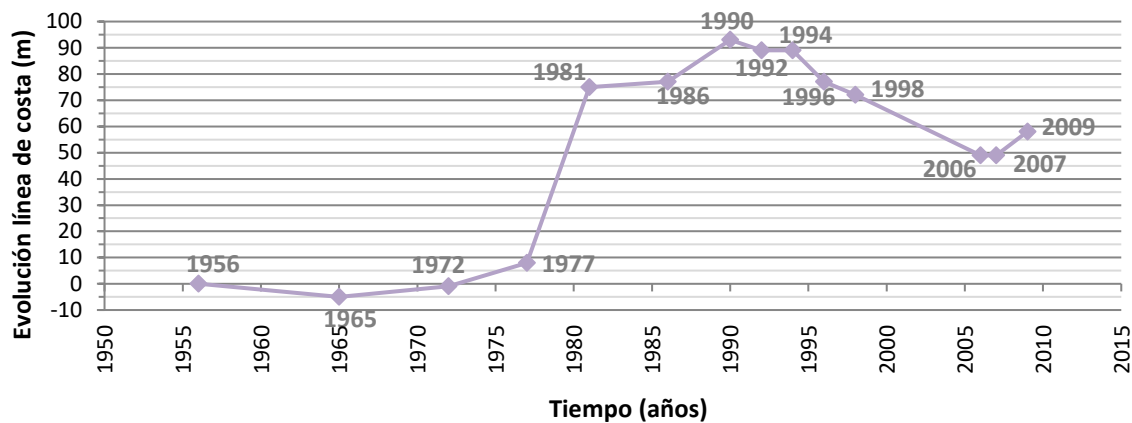


Figura 15 Evolución de la línea de costa desde 1956 a 2009 en el Transecto IV.3.

• **Acreción y/o erosión en superficies**

| AÑOS   | TIEMPO TRANSCURRIDO (años) | VARIACIÓN DE SUPERFICIES (m <sup>2</sup> ) |
|--|----------------------------|--|
| 1956   | 0                          | 0  |
| 1965   | 9                          | -33.117                                    |
| 1972   | 7                          | 16.905                                     |
| 1977   | 5                          | -13.137                                    |
| 1981   | 4                          | 22.488                                     |
| 1986   | 5                          | 4.152                                      |
| 1990   | 4                          | -5.071                                     |
| 1992   | 2                          | -7.766                                     |
| 1994   | 2                          | 5.376                                      |
| 1996   | 2                          | 31.223                                     |
| 1998   | 2                          | -6.623                                     |
| 2006   | 8                          | -21.418                                    |
| 2007   | 1                          | 446  |
| 2009   | 2                          | 5.931                                      |
| Variación total del Subtramo IV de 1956 a 2009 |                            | -611                                       |

Tabla 4. Variaciones de la línea de costa en términos de superficies (m<sup>2</sup>) desde 1956 a 2009. Tramo IV.

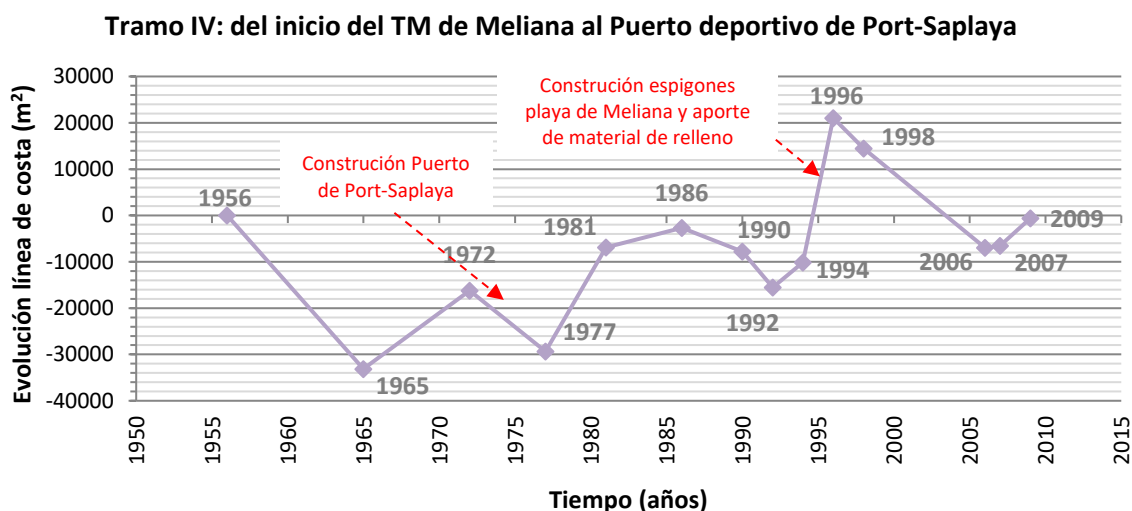


Figura 16 Evolución de la línea de costa en términos de variación de superficies (m<sup>2</sup>) desde 1956 a 2009. Tramo IV.

### 6.2.3 Conclusiones

En el tramo IV, la construcción del puerto de Port-Saplaya forzó el basculamiento del tramo de costa hacia el Noreste, con tendencia en el tiempo a una tasa de retroceso neto nulo. El efecto de la construcción de este puerto se hace notar de forma más sensible al sur del mismo (Tramo V) donde la tendencia desde hace décadas es a tener tasas de erosión importantes.

En la siguiente tabla (Tabla 5) se muestra un resumen de las tasas de avance/retroceso de la línea de costa adimensionalizada (erosión en naranja y acreción en verde) en términos de superficie por metro lineal del tramo considerados.

| Periodo de años                  | TRAMO IV |
|----------------------------------|----------|
| Longitud media del tramo (m)     | 1730     |
| Balance Superficie(1956-2009) m2 | -5442    |
| Promedio(1956-2009) m2/m         | -0,3     |
| Promedio(1981-2009) m2/m         | 1,2      |

Tabla 5. Tasas de erosión/acreción por ml de tramo

Los valores promediados de tasa de evolución ( $m^2/m$ ) desde 1956 a 2009 dan una idea de la tendencia erosiva del tramo de la costa entre Sagunto y Valencia en los últimos 50 años, independientemente de si se han llevado a cabo obras marítimas o aportes de sedimentos. Y los valores promediados desde de 1981 a 2009 muestran la tendencia de la tasa una vez se han llevado a cabo la mayor parte de las principales actuaciones en todo el tramo de costa.

Estos resultados se traducen en que en todo el período de estudio (1956-2009) el porcentaje de la costa que se encuentra en regresión es un 70% del total, mientras que considerando el periodo comprendido entre 1981 a 2009, este porcentaje se reduce a un 40%. Siendo los tramos en erosión los que se encuentran al sur del Puerto de Sagunto hasta la Gola de l'Estany (Tramos IA y IB) y al sur del Puerto de Port-Saplaya hasta la Acequia de Vera (Tramos VA y VB), lo que da una idea de la influencia de éstos en la retención de los sedimentos.

Por último, cabe destacar que, puesto que las actuaciones de reparación de paseo y rampa proyectadas son meramente terrestres, no se prevé que vayan a producir modificación alguna de la línea de costa, dado que no interfieren en la dinámica sedimentaria litoral.

## 7 CLIMA MARÍTIMO Y PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

### 7.1 OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS

#### 7.1.1 Fuentes de datos y su calibración

Partiendo de las fuentes de datos disponibles (véase Figura 17), pertenecientes a la Base de Datos Oceanográficos del Ente Público Puertos del Estado, se escogen las series de oleaje SIMAR-44 (1958-2001) y WANA (1996-2011) del nodo 2046036 (de coordenadas  $39,5^\circ$  N y  $-0,25^\circ$  W), por su representatividad (cubriendo un largo periodo de registro, de 1958 a 2011, 53 años de datos), continuidad (sin saltos significativos en las series) y cadencia horaria.



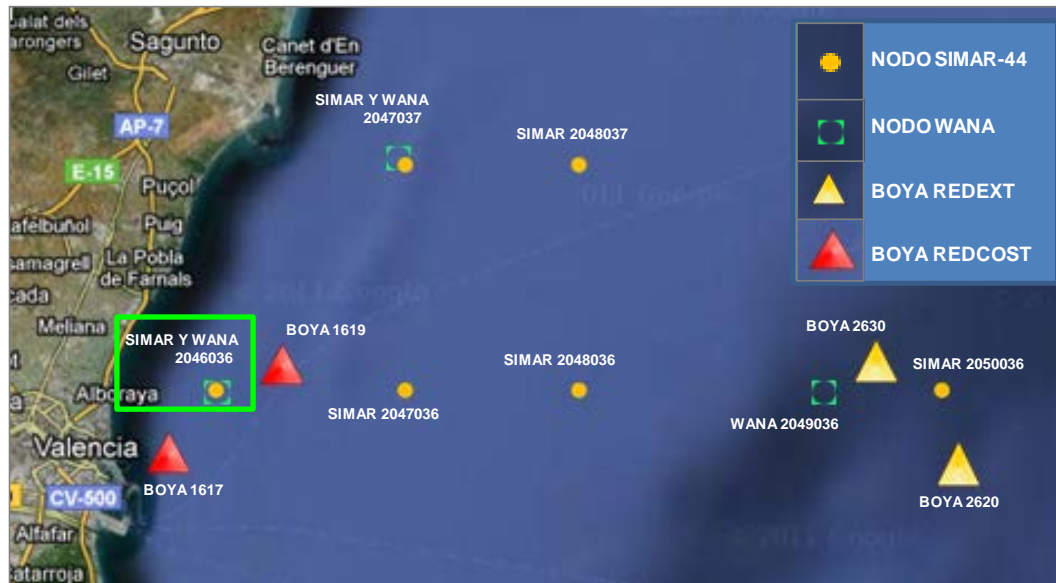


Figura 17 Localización de las distintas fuentes del Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado

Para la fusión de las series, de modo que se obtenga una serie global de oleaje en aguas profundas desde 1958 hasta 2011 (mostrada en la Figura 19), se llevó a cabo un proceso de calibración del WANA con respecto al SIMAR en el periodo conjunto de ambas series a través de ajuste probabilístico con gráficos cuantil-cuantil (QQ-plots), discretizando los datos por sectores direccionales e intensidades del oleaje.

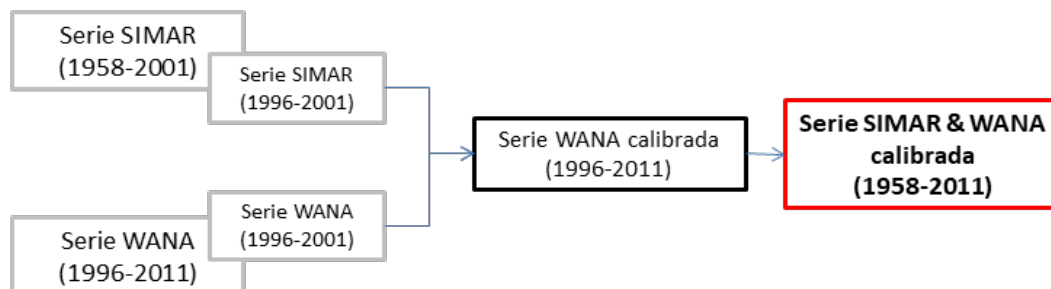


Figura 18 Proceso de calibración de los datos simulados SIMAR y WANA

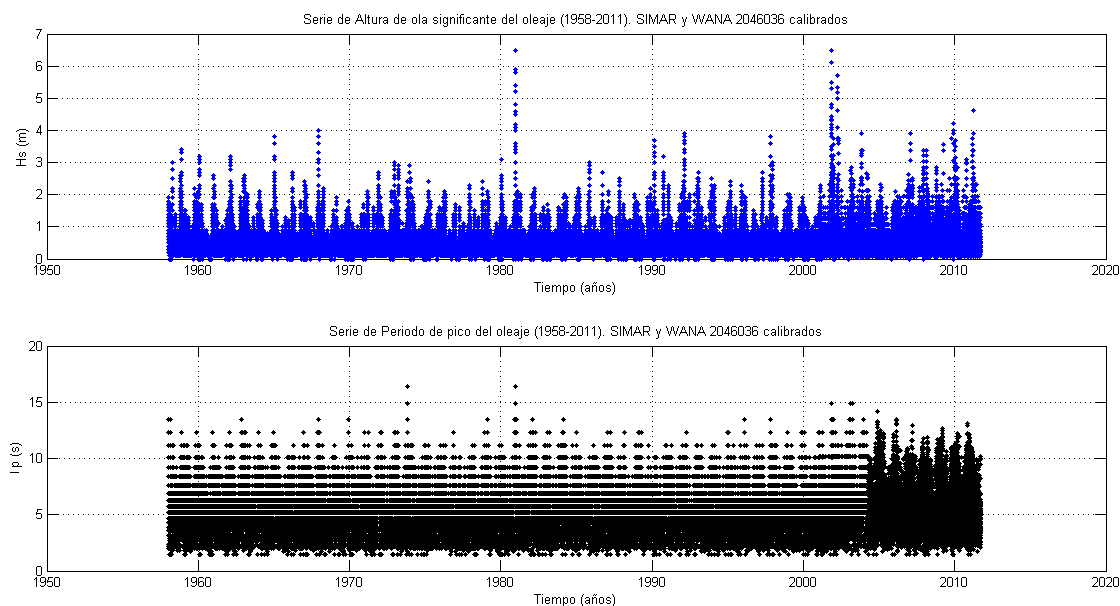


Figura 19 Series de Hs y Tp de SIMAR y WANA calibradas y unificadas en aguas profundas (1958-2011).

La correcta utilización de la serie generada requiere su validación con datos reales procedentes de registros instrumentales. Para ello, en los apartados siguientes se contrastarán los regímenes medio y extremal obtenidos, con los que proporciona la Boya Valencia 1617, cercana a los nodos SIMAR y WANA 2046036.

## 7.1.2 Distribución sectorial del oleaje

### 7.1.2.1 Altura de ola

El análisis de la distribución sectorial del oleaje permite determinar las direcciones significativas de los oleajes que afectan al tramo litoral objeto de estudio.

La Figura 20 representa la rosa exterior de oleaje de los datos SIMAR y WANA calibrados en el nodo 2046036, correspondiente al periodo 1958-2011, así como la información correspondiente a los estadísticos básicos de la variable altura de ola significativa de este registro de datos, con la probabilidad de ocurrencia asociada a cada una de las direcciones de procedencia del oleaje.

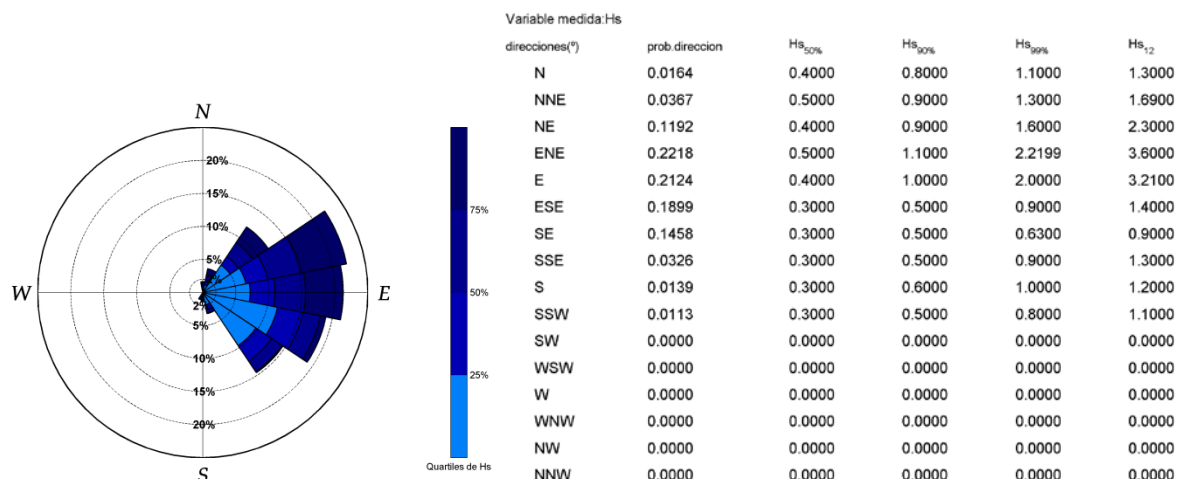


Figura 20 Rosa de oleaje y estadísticos básicos de Hs de la serie SIMAR y WANA calibrada correspondiente al nodo 2046036 (1958-2011)

Los oleajes más frecuentes se agrupan en torno a la dirección de levante. En concreto, los sectores que abarcan las direcciones NE a SE reúnen hasta un 88,9% del registro total de datos.

Para disponer de un análisis direccional completo, por la configuración de la costa y el fetch de los oleajes, se han considerado como direcciones de oleaje que pueden afectar al área de estudio de estudio las provenientes del primer y segundo cuadrantes. Esto es, las direcciones: N, NNE, NE, E, ESE, SE, SSE y S.

El oleaje reinante y, al mismo tiempo dominante, corresponde con el sector ENE, con máximos situados igualmente alrededor de la dirección de levante.

Para la variable direccional altura de ola significativa, Hs, se han obtenido, además, otros descriptores básicos como el histograma y la función de distribución empírica, que se incluyen a continuación:

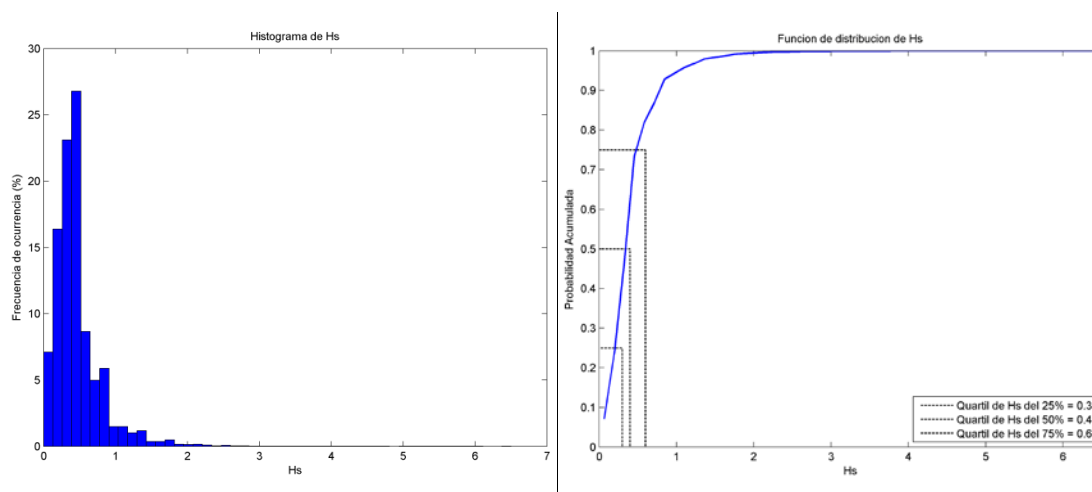


Figura 21 Histograma y función de distribución de la variable Hs de la serie SIMAR y WANA 2046036 calibrada (1958-2011)

### 7.1.2.2 Periodo

Análogamente se representa la distribución sectorial del periodo pico del oleaje por direcciones, así como sus estadísticos básicos.

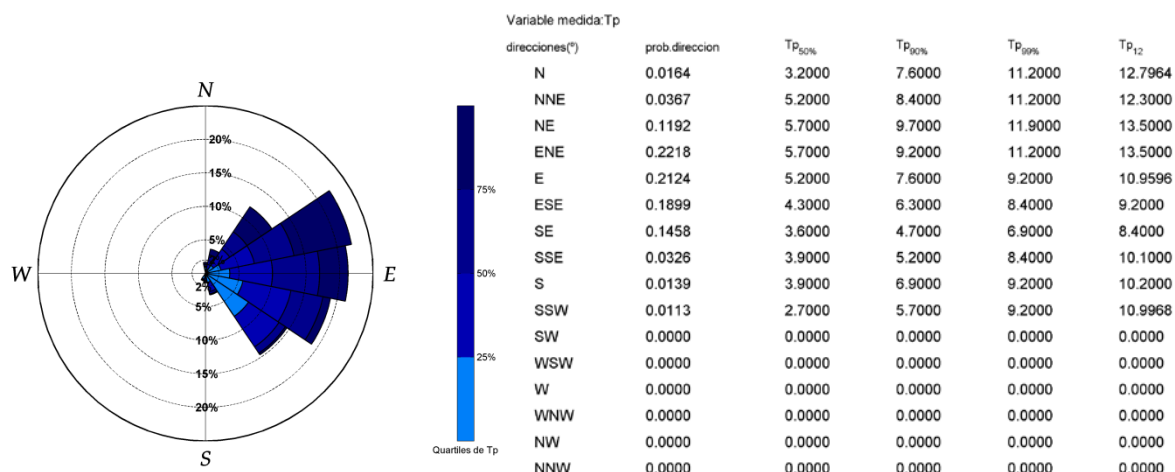


Figura 22 Rosa del periodo de pico del oleaje y estadísticos básicos de la variable  $T_p$  de la serie SIMAR y WANA 2046036 calibrada (1958-2011)

Asimismo se representa el histograma de periodo de pico y su función de distribución empírica (Figura 23).

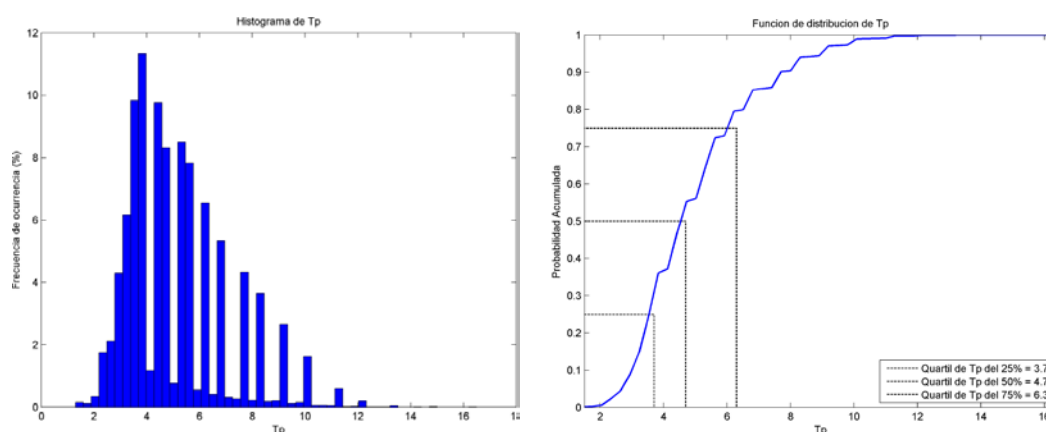


Figura 23 Histograma y función de distribución de  $T_p$

### 7.1.3 Régimen Medio Escalar

El objetivo principal de este análisis es reproducir las condiciones más frecuentes o reinantes del oleaje, para lo cual se ha analizado estadísticamente el conjunto de datos SIMAR & WANA calibrado en el nodo 2046036, considerando las direcciones del 1<sup>er</sup> y 2<sup>o</sup> cuadrantes, a través del programa CAROL v1.0, del Grupo de Ingeniería Oceanográfica y Costas de la Universidad de Cantabria (hoy en día "IH Cantabria").

Como resultado se obtiene el oleaje medio en aguas profundas representado por la relación de los diversos niveles de altura de ola con la probabilidad de excedencia de los mismos en el año climático medio (Figura 24).

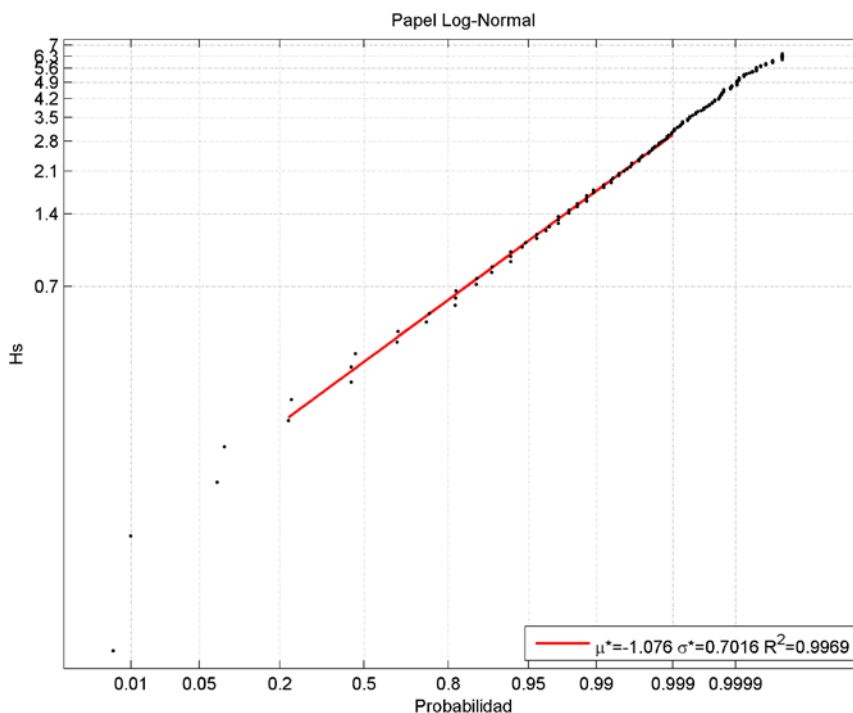


Figura 24 Ajuste de la variable  $H_s$  mediante distribución Lognormal

El ajuste de la variable  $H_s$  mediante la función de distribución estadística log-normal se considera adecuado, con un índice de correlación  $R^2=99,69\%$ .

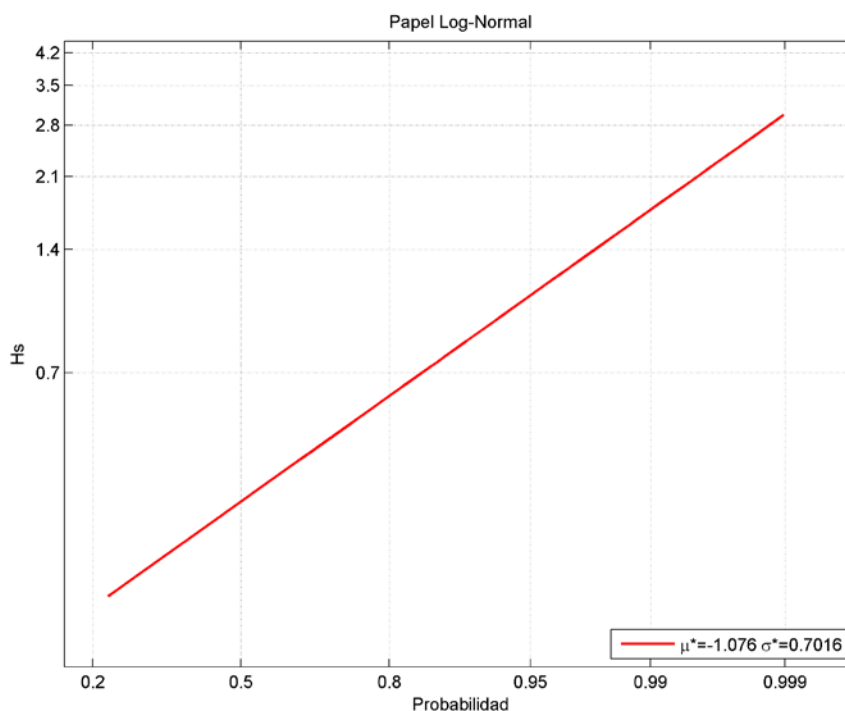


Figura 25 Régimen medio escalar anual de  $H_s$

### Validación de resultados con la Boya Valencia 1617

La comparativa de los niveles de oleaje medio obtenidos con los extraídos del registro de la Boya 1617 en el periodo que comprende los años 1985 a 2005, permite validar el procedimiento de calibración

de los datos teóricos SIMAR y WANA en la caracterización media del oleaje.

Puesto que la boya está localizada en aguas intermedias (-20 m), es importante tener presente que sus mediciones se encuentran afectadas por fenómenos de fondo, siendo su registro únicamente representativo de las condiciones locales del oleaje, no siendo extrapolable a grandes áreas litorales.

| SIMR&WANA 2046036 |      | BOYA VALENCIA 1617 |     |
|-------------------|------|--------------------|-----|
| F(Hs)             | Hs   | F(Hs)              | Hs  |
| 0,50              | 0,35 | 0,50               | 0,4 |
| 0,995             | 2,5  | 0,995              | 2,4 |

Tabla 6. Contraste de los valores de oleaje medio SIMAR&WANA VS Boya Valencia 1617

#### 7.1.4 Caracterización Extremal del oleaje en aguas profundas

Para obtener el oleaje extremo en aguas profundas se ha analizado estadísticamente la serie de datos SIMAR y WANA calibrados mediante el método clásico de máximos anuales, ajustando la serie a la función de distribución biparamétrica Gumbel de máximos, y a la función de distribución triparamétrica General de Valores Extremos (GEV), con la finalidad de analizar la conveniencia de utilizar una u otra distribución.

El proceso anterior se lleva a cabo a través del programa CAROL v1.0 del Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria aplicado en primer lugar al registro escalar de oleaje, y posteriormente, a los distintos sectores direccionales.

##### 7.1.4.1 Régimen extremal escalar

En las figuras a continuación, se muestran los ajustes obtenidos de la variable altura de ola máxima anual del registro escalar de datos.

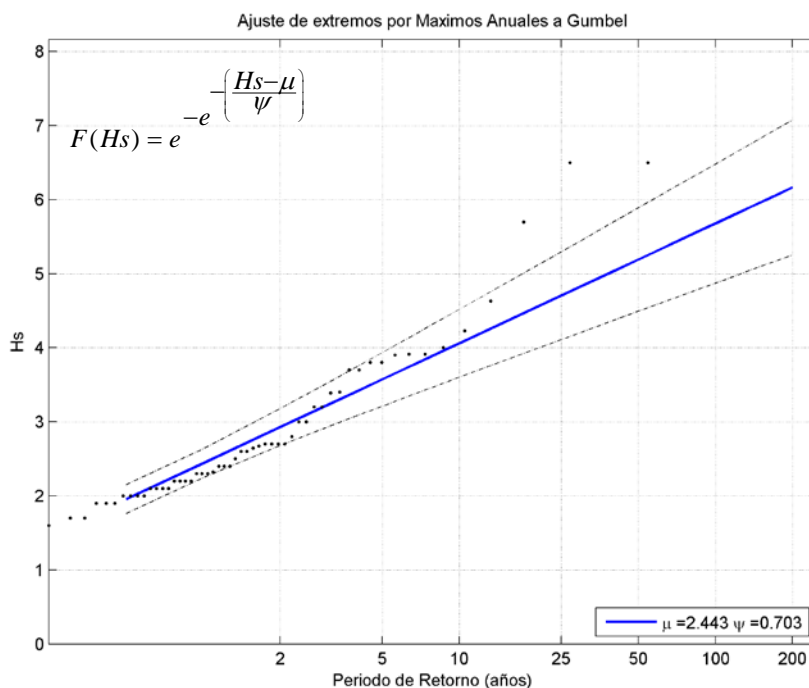


Figura 26 Ajuste de extremos de Hs mediante la función de distribución de Gumbel

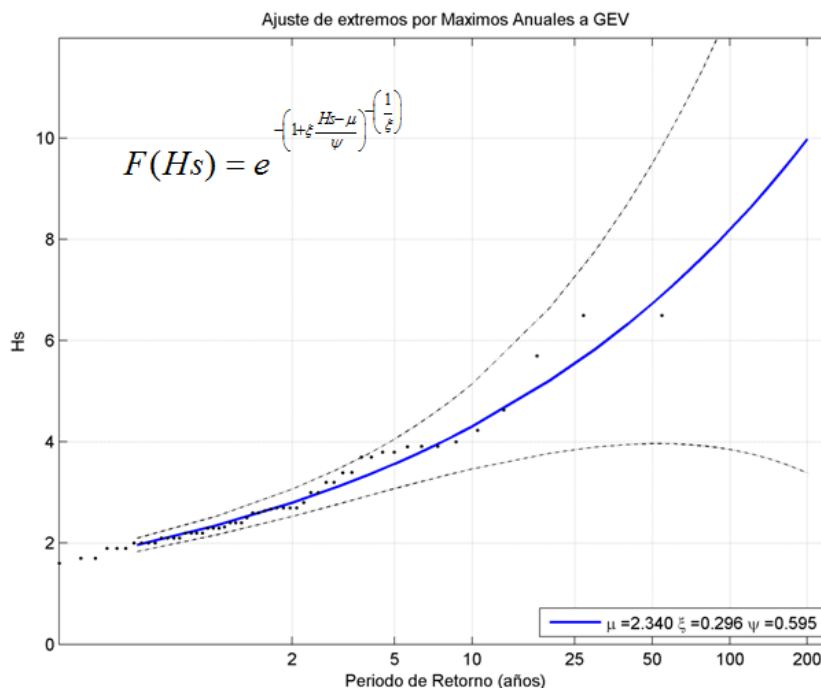


Figura 27 Ajuste de extremos de Hs mediante la función de distribución GEV.

Como resultado, la función triparmétrica GEV ofrece un mejor ajuste de la serie de datos, al incorporar un parámetro de forma que le aporta flexibilidad, y por tanto, capacidad para modelizar valores excepcionalmente extremos.

#### Validación de resultados con la Boya Valencia 1617

Se comparan los extremos obtenidos mediante la serie numérica calibrada con los del régimen extremal de la boya más cercana.

Para los periodos de retorno de 10 y 50 años, se observan diferencias en los resultados, según la función distribución empleada en el ajuste, obteniéndose una mejor aproximación cuando se utiliza la función Gumbel de máximos.

Tanto el ajuste con la distribución biparmétrica como triparmétrica proporcionan valores superiores a los registrados por la boya, lo cual parece lógico teniendo en cuenta que la base de registros de la boya abarca un periodo de medición más reducido (1985-2005), que no recoge los temporales acaecidos en diciembre de 1980, noviembre de 2001 y marzo de 2011; y que los datos numéricos no están afectados por fenómenos de fondo, siendo interpretables en aguas profundas.

Además, el método de selección de temporales empleado para la determinación del régimen extremal en la boya es el POT, con un umbral de excedencia de 1,5 m, mientras que el que se utiliza para generar la base de datos del registro extremal de los valores numéricos es el de máximos anuales.

| SIMAR&WANA (Gumbel) |     | BOYA VALENCIA 1617 |     |
|---------------------|-----|--------------------|-----|
| $T_R$               | Hs  | $T_R$              | Hs  |
| 10                  | 4,1 | 10                 | 4,2 |
| 50                  | 5,4 | 50                 | 4,8 |

Tabla 7. Comparativa de oleaje extremal SIMAR&WANA VS Boya Valencia 1617. Ajuste Gumbel de máximos



| SIMAR&WANA (GEV) |     | BOYA VALENCIA 1617 |     |
|------------------|-----|--------------------|-----|
| $T_R$            | Hs  | $T_R$              | Hs  |
| 10               | 4,3 | 10                 | 4,2 |
| 50               | 6,7 | 50                 | 4,8 |

Tabla 8. Comparativa de oleaje extremal SIMAR&WANA VS Boya Valencia 1617. Ajuste función de extremos GEV

#### 7.1.4.2 Régimen extremal direccional

El análisis direccional de los valores extremos proporciona, de forma análoga, un ajuste más preciso mediante la distribución triparamétrica.

Las gráficas de ajuste direccional se presentan en la figuras a continuación.

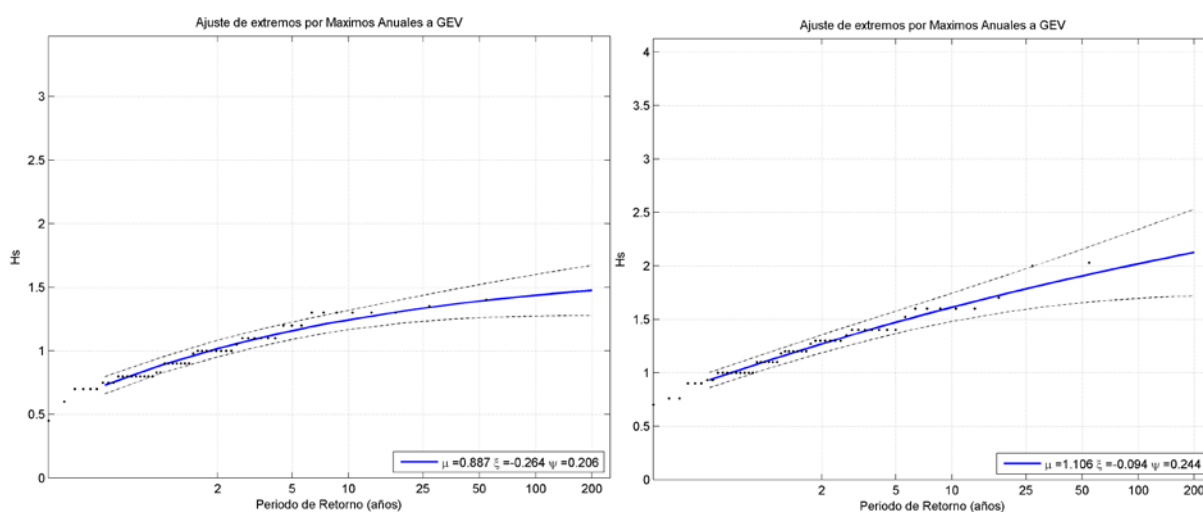


Figura 28 Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones N (izq.) y NNE (dcha.).

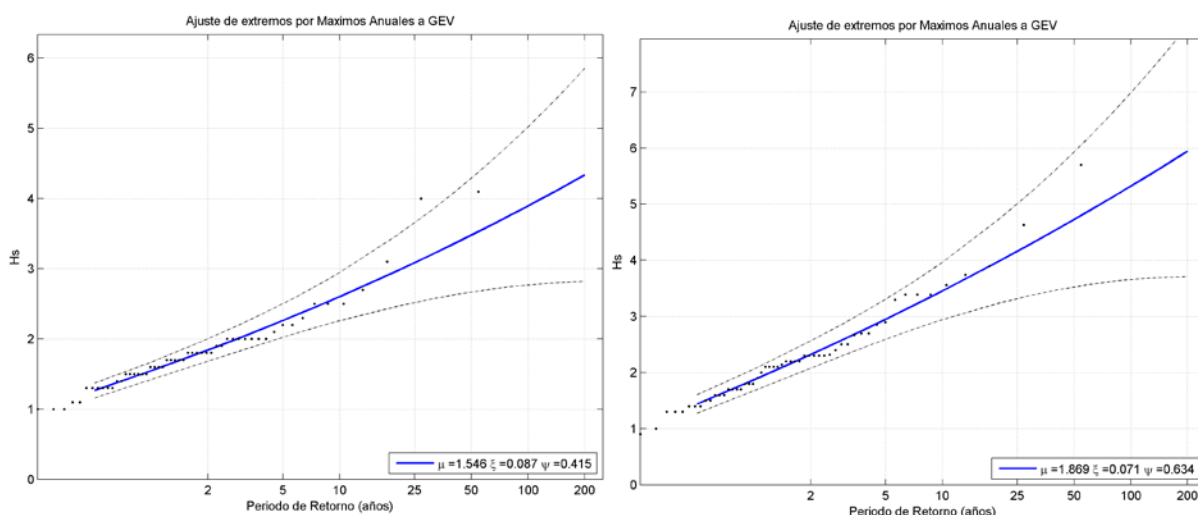


Figura 29 Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones ENE (izq.) y E (dcha.).

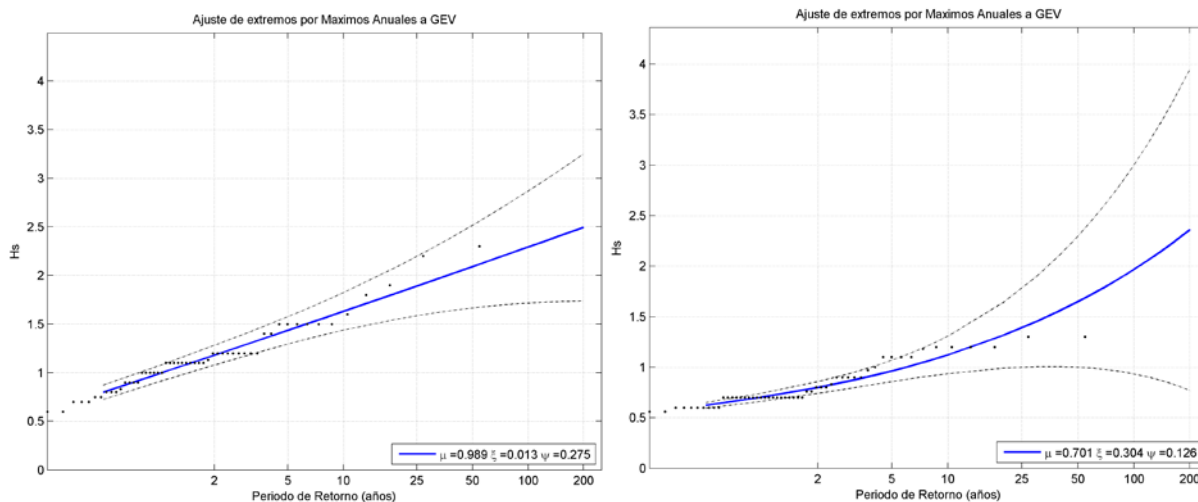


Figura 30 Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones ESE (izq.) y SE (dcha.).

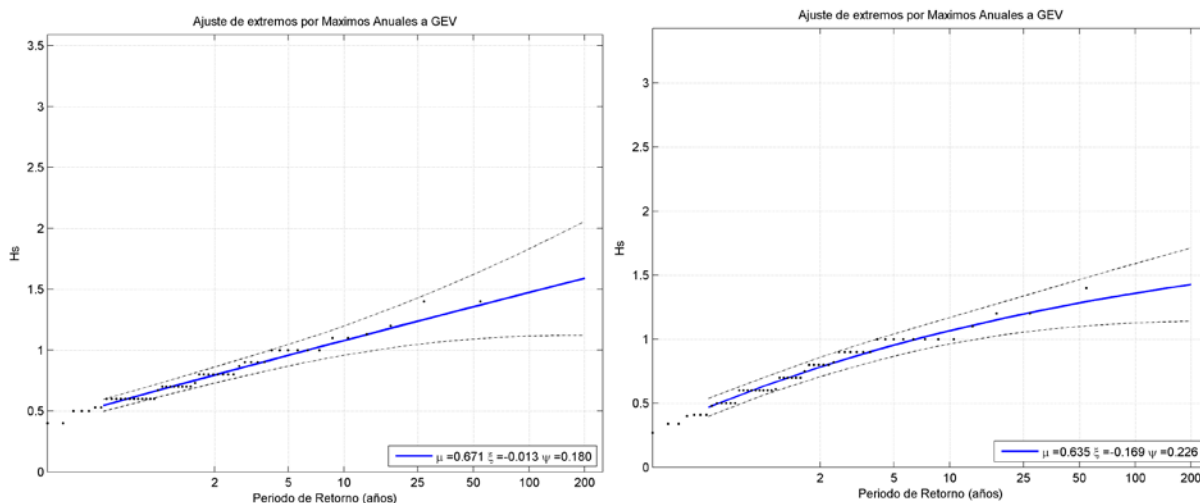


Figura 31 Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones SSE (izq.) y S (dcha.).

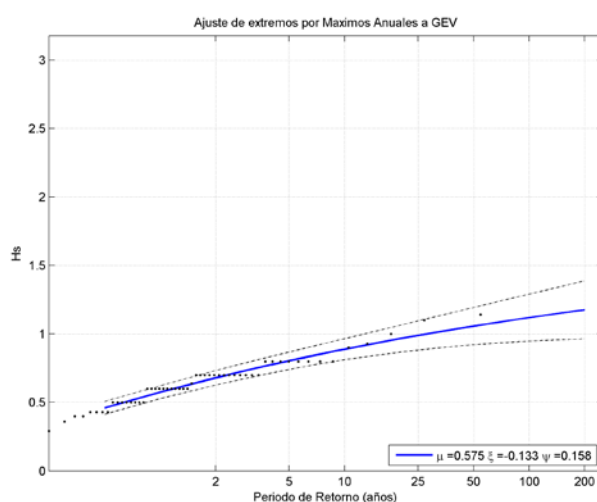


Figura 32 Ajuste de extremos distribución de GEV. Dirección SSW

#### 7.1.4.3 Periodos de Retorno de diseño

El periodo de retorno para la caracterización del oleaje extremal en aguas profundas, en cada uno de

los tramos que componen el borde litoral objeto del Estudio, se determina en función de la vida útil y de la probabilidad de fallo para la que se diseñan las actuaciones en los citados tramos, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$T_R = \frac{1}{1 - (1 - P_f)^{1/V_m}}$$

Donde:

$T_R$ : Período de retorno (años)

$V_m$ : Vida útil (años)

$P_f$ : Probabilidad de fallo frente a los modos de fallo

En el apartado 2.8 de la *ROM 1.0 Descripción de los agentes climáticos en las obras marítimas y bases para el diseño de los diques de abrigo* se recomiendan los valores de los índices de repercusión económica (IRE) y de repercusión social y ambiental (ISA) para los tipos de actuación posibles en áreas litorales.

| TIPO DE AREA ABRIGADA O PROTEGIDA             |                                      |   | INDICE IRE <sup>7)</sup>                       |                            | VIDA UTIL MINIMA (V <sub>m</sub> ) <sup>7)</sup> (años) |
|---|--------------------------------------|---|--|----------------------------|---|
| AREAS PORTUARIAS                              | PUERTO COMERCIAL                     | Puertos abiertos a todo tipo de tráfico         | r <sub>3</sub>                                 | Alto                       | 50  |
|   |                                      | Puertos para tráfico especializados             | r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>1)</sup> | Medio (alto) <sup>1)</sup> | 25 (50) <sup>1)</sup>                                   |
|   | PUERTO PESQUERO                      |   | r <sub>2</sub>                                 | Medio                      | 25  |
|   | PUERTO NAUTICO-DEPORTIVO             |   | r <sub>2</sub>                                 | Medio                      | 25  |
|   | INDUSTRIAL                           |   | r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>1)</sup> | Medio (Alto) <sup>1)</sup> | 25 (50) <sup>1)</sup>                                   |
|   | MILITAR                              |   | r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>2)</sup> | Medio (Alto) <sup>2)</sup> | 25 (50) <sup>2)</sup>                                   |
|   | PROTECCION DE RELLENOS O DE MARGENES |   | r <sub>2</sub> a r <sub>3</sub> <sup>3)</sup>  | Medio a Alto <sup>3)</sup> | 25 a 50 <sup>3)</sup>                                   |
|   |                                      |   |  |                            |   |
|   | AREAS LITORALES                      | DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES <sup>4)</sup> |  | r <sub>3</sub>             | Alto  |
| PROTECCION DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO |                                      | r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>5)</sup>  | Medio (Alto) <sup>5)</sup>                     | 25 (50) <sup>5)</sup>      |   |
| PROTECCION Y DEFENSA DE MARGENES              |                                      | r <sub>1</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>6)</sup>  | Bajo (Alto) <sup>5)</sup>                      | 15 (50) <sup>7)</sup>      |   |
| REGENERACION Y DEFENSA DE PLAYAS              |                                      | r <sub>1</sub>                                  | Bajo   | 15                         |   |

1) El índice IRE se elevará a r<sub>1</sub> cuando el tráfico esté asociado con el suministro energético o con materias primas minerales estratégicas y no se disponga de instalaciones alternativas adecuadas para su manipulación y/o almacenamiento.  
2) El índice IRE se elevará a r<sub>1</sub> cuando la instalación militar se considere esencial para la defensa nacional.  
3) En obras de protección de rellenos o de defensa de márgenes se tomará un índice IRE igual al señalado para el área portuaria en que se localiza.  
4) Se entiende como dique de defensa ante grandes inundaciones, aquéllos que en caso de fallo podrían producir importantes inundaciones en el territorio.  
5) El índice IRE se elevará a r<sub>1</sub> cuando la toma de agua o el punto de vertido esté asociado con el abastecimiento de agua para uso urbano o con la producción energética.  
6) El índice IRE se elevará a r<sub>2</sub> cuando en su zona de afección se localicen edificaciones o instalaciones industriales.  
7) Los índices inferiores a r<sub>1</sub> de la tabla se elevarán un grado por cada 30 M€ de coste de inversión inicial de la obra de abrigo.

Figura 33 IRE y vida útil mínima en función del tipo de obra para áreas litorales

| TIPO DE AREA ABRIGADA O PROTEGIDA |                                   |   |                                      | INDICE ISA     |                  |      |      |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------|----------------|------------------|------|------|
| AREAS PORTUARIAS                  | PUERTO COMERCIAL                  | Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique <sup>1)</sup> | Mercancías peligrosas <sup>2)</sup>  | s <sub>3</sub> | Alto             | 0.01 | 0.07 |
|                                   |                                   |   | Pasajeros y Mercancías no peligrosas | s <sub>2</sub> | Bajo             | 0.10 | 0.10 |
|                                   |                                   | Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique               |                                      | s <sub>1</sub> | No significativo | 0.20 | 0.20 |
|                                   | PUERTO PESQUERO                   | Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique   |                                      | s <sub>2</sub> | Bajo             | 0.10 | 0.10 |
|                                   |                                   | Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique   |                                      | s <sub>1</sub> | No significativo | 0.20 | 0.20 |
|                                   | PUERTO NAUTICO DEPORTIVO          | Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique   |                                      | s <sub>2</sub> | Bajo             | 0.10 | 0.10 |
|                                   |                                   | Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique   |                                      | s <sub>1</sub> | No significativo | 0.20 | 0.20 |
|                                   | PUERTO INDUSTRIAL                 | Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías adosadas al dique <sup>1)</sup>             | Mercancías peligrosas <sup>2)</sup>  | s <sub>3</sub> | Alto             | 0.01 | 0.07 |
|                                   |                                   |   | Mercancías no peligrosas             | s <sub>2</sub> | Bajo             | 0.10 | 0.10 |
|                                   |                                   | Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o adosadas al dique                         |                                      | s <sub>1</sub> | No significativo | 0.20 | 0.20 |
|                                   | PUERTO MILITAR                    | Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique <sup>1)</sup>                           |                                      | s <sub>3</sub> | Alto             | 0.01 | 0.07 |
|                                   |                                   | Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique   |                                      | s <sub>1</sub> | No significativo | 0.20 | 0.20 |
|                                   | PROTECCION DE RELLENOS O MARGENES | Con zona de almacenamiento adosada al dique <sup>1)</sup>   | Mercancías peligrosas <sup>2)</sup>  | s <sub>3</sub> | Alto             | 0.01 | 0.07 |
|                                   |                                   |   | Mercancías no peligrosas             | s <sub>2</sub> | Bajo             | 0.10 | 0.10 |

|                 |   |  |  |  |                               |               |             |
|-----------------|---|--|--|--|-------------------------------|---------------|-------------|
| AREAS LITORALES | DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES <sup>3)</sup> |  |  | s <sub>4</sub>                                 | Muy Alto                      | 0.0001        | 0.07        |
|                 | PROTECCION DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO   |  |  | s <sub>2</sub> (s <sub>3</sub> ) <sup>4)</sup> | Bajo (Alto) <sup>4)</sup>     | 0.10 (0.001)  | 0.10 (0.07) |
|                 | PROTECCION Y DEFENSA DE MARGENES                |  |  | s <sub>2</sub> (s <sub>4</sub> ) <sup>5)</sup> | Bajo (Muy alto) <sup>5)</sup> | 0.10 (0.0001) | 0.10 (0.07) |
|                 | REGENERACION Y DEFENSA DE PLAYAS                |  |  | s <sub>1</sub>                                 | No significativo              | 0.20          | 0.20        |

1) En el caso de que en la superficie adosada al dique esté previsto que se ubiquen edificaciones (p.e. estaciones marítimas, lonjas,...), depósitos o silos que pudieran resultar afectados en el caso de fallo de la obra de abrigo, se considerará un índice ISA muy alto (s<sub>4</sub>) (P<sub>REL</sub>=0.0001; P<sub>FIS</sub>=0.07)

2) Se considerarán mercancías peligrosas los grupos de sustancias prioritarias incluidas en el anexo X de la Directiva Marco del Agua (Decisión 2455/2001/CEE), en el inventario europeo de emisiones contaminantes (EPER: Decisión 2000/479/CE), y en el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas (Real Decreto 145/1989). (Ver ROM 5.1.)

3) Se entiende como diques de defensa ante grandes inundaciones, aquellos que en caso de fallo se podrían producir importantes inundaciones en el territorio.

4) El índice ISA se elevará a s<sub>3</sub> cuando la toma de agua o el punto de vertido esté asociado con el abastecimiento de agua para uso urbano o industrial o con la producción energética.

5) El índice ISA se elevará a s<sub>4</sub> cuando en caso de fallo pudieran resultar afectadas edificaciones u otras instalaciones industriales.

Figura 34 ISA y probabilidad conjunta de fallo en función del tipo de obra para áreas litorales

De acuerdo con los valores determinados en los puntos anteriores, se obtienen, de forma genérica, los posibles períodos de retorno para los distintos tramos de Estudio (Tabla 9).

| TRAMO DE OBRA                                 | VIDA ÚTIL | P <sub>f</sub> | PERIODO DE RETORNO |
|---|-----------|----------------|--------------------|
| DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES             | 50        | 0,07           | 689 años           |
| PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO | 25        | 0,10           | 238 años           |
| PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES              | 15        | 0,10           | 143 años           |
| REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS              | 15        | 0,20           | 68 años            |

Tabla 9. Períodos de retorno para los distintos tramos de obra en áreas litorales

A los efectos del presente Estudio, el borde litoral se divide en tramos homogéneos, desde el punto de vista morfodinámico (Capítulo 3 Zonificación), diferenciándose diversos subtramos o “tramos de obra” (según la nomenclatura establecida por la ROM 0.0), en función de la orientación de la costa y de la presencia de barreras al transporte longitudinal, o bien cuando se produzcan variaciones significativas en los factores analizados en la fase de diagnóstico: Evolución histórica de la línea de orilla, geomorfología y sedimentología.

Los regímenes extremos direccionales de oleaje, para los posibles periodos de retorno se incluyen en

las Tablas a continuación:

| Sector direccional | Localización ( $\mu$ ) | Escala ( $\Psi$ ) | Forma ( $\xi$ ) | H <sub>s</sub> (m) |
|--------------------|------------------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| N                  | 0,887                  | 0,206             | -0,264          | 1,41               |
| NNE                | 1,106                  | 0,244             | -0,094          | 1,95               |
| NE                 | 1,546                  | 0,415             | 0,087           | 3,66               |
| ENE                | 2,227                  | 0,548             | 0,3             | 6,86               |
| E                  | 1,869                  | 0,634             | 0,071           | 4,98               |
| ESE                | 0,989                  | 0,275             | 0,013           | 2,18               |
| SE                 | 0,701                  | 0,126             | 0,304           | 1,78               |
| SSE                | 0,671                  | 0,18              | -0,013          | 1,41               |
| S                  | 0,635                  | 0,226             | -0,169          | 1,32               |
| SSW                | 0,575                  | 0,158             | -0,133          | 1,08               |

Tabla 10. Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno  $T_R=68$  años

| Sector direccional | Localización ( $\mu$ ) | Escala ( $\Psi$ ) | Forma ( $\xi$ ) | H <sub>s</sub> (m) |
|--------------------|------------------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| N                  | 0,887                  | 0,206             | -0,264          | 1,46               |
| NNE                | 1,106                  | 0,244             | -0,094          | 2,07               |
| NE                 | 1,546                  | 0,415             | 0,087           | 4,12               |
| ENE                | 2,227                  | 0,548             | 0,3             | 8,49               |
| E                  | 1,869                  | 0,634             | 0,071           | 5,64               |
| ESE                | 0,989                  | 0,275             | 0,013           | 2,40               |
| SE                 | 0,701                  | 0,126             | 0,304           | 2,16               |
| SSE                | 0,671                  | 0,18              | -0,013          | 1,54               |
| S                  | 0,635                  | 0,226             | -0,169          | 1,39               |
| SSW                | 0,575                  | 0,158             | -0,133          | 1,15               |

Tabla 11. Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno  $T_R=143$  años

| Sector direccional | Localización ( $\mu$ ) | Escala ( $\Psi$ ) | Forma ( $\xi$ ) | H <sub>s</sub> (m) |
|--------------------|------------------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| N                  | 0,887                  | 0,206             | -0,264          | 1,48               |
| NNE                | 1,106                  | 0,244             | -0,094          | 2,15               |
| NE                 | 1,546                  | 0,415             | 0,087           | 4,45               |
| ENE                | 2,227                  | 0,548             | 0,3             | 9,83               |
| E                  | 1,869                  | 0,634             | 0,071           | 6,11               |
| ESE                | 0,989                  | 0,275             | 0,013           | 2,55               |
| SE                 | 0,701                  | 0,126             | 0,304           | 2,47               |
| SSE                | 0,671                  | 0,18              | -0,013          | 1,62               |
| S                  | 0,635                  | 0,226             | -0,169          | 1,44               |
| SSW                | 0,575                  | 0,158             | -0,133          | 1,19               |

Tabla 12. Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno  $T_R=238$  años

| Sector direccional | Localización ( $\mu$ ) | Escala ( $\psi$ ) | Forma ( $\xi$ ) | Hs (m) |
|--------------------|------------------------|-------------------|-----------------|--------|
| N                  | 0,887                  | 0,206             | -0,264          | 1,53   |
| NNE                | 1,106                  | 0,244             | -0,094          | 2,30   |
| NE                 | 1,546                  | 0,415             | 0,087           | 5,20   |
| ENE                | 2,227                  | 0,548             | 0,3             | 13,37  |
| E                  | 1,869                  | 0,634             | 0,071           | 7,14   |
| ESE                | 0,989                  | 0,275             | 0,013           | 2,86   |
| SE                 | 0,701                  | 0,126             | 0,304           | 3,31   |
| SSE                | 0,671                  | 0,18              | -0,013          | 1,80   |
| S                  | 0,635                  | 0,226             | -0,169          | 1,53   |
| SSW                | 0,575                  | 0,158             | -0,133          | 1,26   |

Tabla 13. Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno  $T_R=689$  años

La determinación de los periodos de pico asociados a los niveles de altura de ola de temporal se realiza mediante la relación que proporciona la Boya Valencia 1617 entre el periodo de pico y la altura de ola significativa,  $T_p \approx 5,16.H_s^{0,47}$ , dando como resultado:

| Sector direccional | $T_R=68$ años |           | $T_R=143$ años |           |
|--------------------|---------------|-----------|----------------|-----------|
|                    | Hs (m)        | $T_p$ (s) | Hs (m)         | $T_p$ (s) |
| N                  | 1,41          | 6,1       | 1,46           | 6,2       |
| NNE                | 1,95          | 7,1       | 2,07           | 7,3       |
| NE                 | 3,66          | 9,5       | 4,12           | 10,0      |
| ENE                | 6,86          | 12,8      | 8,49           | 14,1      |
| E                  | 4,98          | 11,0      | 5,64           | 11,6      |
| ESE                | 2,18          | 7,4       | 2,40           | 7,8       |
| SE                 | 1,78          | 6,8       | 2,16           | 7,4       |
| SSE                | 1,41          | 6,1       | 1,54           | 6,3       |
| S                  | 1,32          | 5,9       | 1,39           | 6,0       |
| SSW                | 1,08          | 5,4       | 1,15           | 5,5       |

Tabla 14. Oleaje extremal ( $H_s$ ,  $T_p$ ) asociado al periodo de retorno  $T_R=68$  años (izda.) y  $T_R=143$  años (dcha.)

| Sector direccional | $T_R=238$ años |           | $T_R=689$ años |           |
|--------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|
|                    | Hs (m)         | $T_p$ (s) | Hs (m)         | $T_p$ (s) |
| N                  | 1,48           | 6,2       | 1,53           | 6,3       |
| NNE                | 2,15           | 7,4       | 2,30           | 7,6       |
| NE                 | 4,45           | 10,4      | 5,20           | 11,2      |
| ENE                | 9,83           | 15,1      | 13,37          | 17,5      |
| E                  | 6,11           | 12,1      | 7,14           | 13,0      |
| ESE                | 2,55           | 8,0       | 2,86           | 8,5       |
| SE                 | 2,47           | 7,9       | 3,31           | 9,1       |
| SSE                | 1,62           | 6,5       | 1,80           | 6,8       |
| S                  | 1,44           | 6,1       | 1,53           | 6,3       |
| SSW                | 1,19           | 5,6       | 1,26           | 5,8       |

Tabla 15. Oleaje extremal ( $H_s$ ,  $T_p$ ) asociado al periodo de retorno  $T_R=238$  años (izda.) y  $T_R=689$  años (dcha.)

## 7.2 RÉGIMEN DE MAREA Y COTA DE INUNDACIÓN

### 7.2.1 Introducción

Los niveles de marea y cota de inundación de la zona litoral en estudio se establecen de forma teórica con base a los datos incluidos en el *ATLAS de Inundación en el Litoral Peninsular Español*<sup>1</sup>. Estos resultados son contrastados con los obtenidos del estudio de mareas que se enmarca dentro de los trabajos realizados por la empresa HIDTMA, S.L., en la UTE ECOLEVANTE.

### 7.2.2 Niveles de marea del Atlas de Inundación

La metodología utilizada en el citado estudio para la estimación del nivel de marea y cota de inundación se basa en una simulación temporal consistente en la suma de las variables aleatorias marea astronómica, marea meteorológica, altura significativa y periodo de pico. El modelo de simulación asume que la propagación del oleaje que afecta a la playa de estudio puede ser calculado mediante teoría lineal (batimetría paralela y rectilínea).

El nivel de marea,  $S_{NM}$ , se obtiene como suma de las variables marea meteorológica y marea astronómica, siendo la cota de inundación,  $S_{CI}$ , la suma del nivel anterior y el run-up del oleaje,  $S_{RU}$ , estimado bajo la hipótesis de talud indefinido mediante la formulación de *Nielsen y Hanslow (1991)*.

La franja litoral del presente Estudio se ubica dentro del Área VII, Subzona A del *ATLAS* (Figura 35). La información utilizada en la determinación de los regímenes de nivel de mar procede del mareógrafo Valencia perteneciente a la red REDMAR y de la boya de Tarragona de la red REMRO, cuya posición, profundidad de fondeo y periodo de medida se detalla en la Tabla 16.

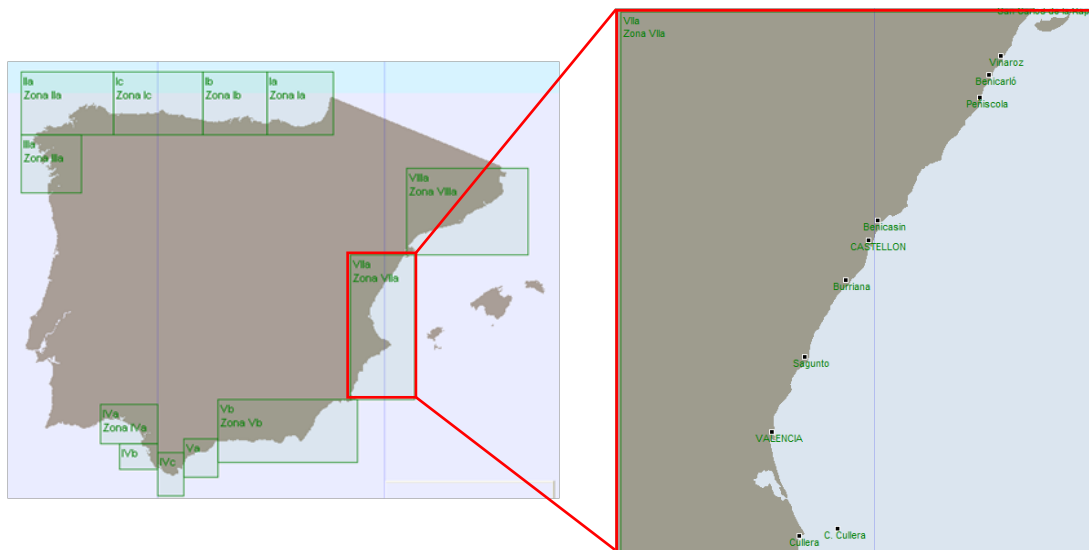


Figura 35 Distribución de Áreas en el mapa del ATLAS (Detalle Área VIIa)

<sup>1</sup> ATLAS de Inundación en el Litoral Peninsular Español desarrollado por el GIOC de la Universidad de Cantabria.

| MAREA ASTRONÓMICA                                |                            | OLEAJE  |                          |
|--|----------------------------|---|--------------------------|
| Mareógrafo                                       | Valencia                   | Boya  | Tarragona                |
| Situación  | 39°27'42" N<br>00°19'33" W | Situación   | 41°03'48"N<br>01°12'36"E |
| Profundidad                                      |                            | Profundidad   | 35 m                     |
| Período medida                                   | 1995 / 1996                | Período medida  | 1992 / 1997              |
| MAREA METEOROLÓGICA                              |                            | OBSERVACIONES VISUALES  |                          |
| Residuo Nivel del Mar del Mareógrafo de Valencia |                            | Cuadrícula: 40.5°N - 42.5°N<br>0°W - 4.5°E<br>Período medida: 1950-1985 |                          |

Tabla 16. Características de los equipos para la determinación del régimen de nivel del mar

La Figura 36 señala la posición relativa de las distintas referencias del sistema de coordenadas altimétricas para el caso del mareógrafo de Valencia.

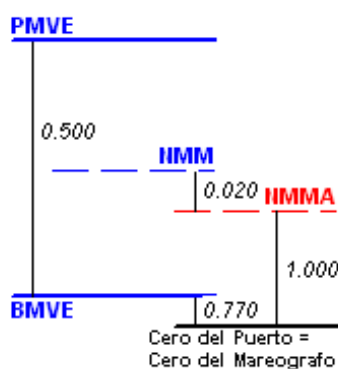


Figura 36 Niveles de referencia altimétrica en Valencia (cotas en metros)

En los siguientes apartados se establecen los niveles de marea y cotas de inundación, para cada régimen de oleaje considerado. Todos los resultados de nivel del mar se han referenciado al nivel medio del mar en Alicante (NMMA).

#### 7.2.2.1 Niveles de marea

Como valores representativos de las medias de pleamares y bajamares para régimen medio en la zona correspondiente al Área VIIA, el nivel de pleamar se encuentra a la cota +0,25 m y el de bajamar a la -0,25 m respecto el NMM, siendo por tanto, la carrera de marea de 0,5 m.

La elevación del nivel del mar,  $S_{nm}$  que se supera 12 horas/año es 0,51 m, respecto del NMMA, con un rango de marea de 0,74 m (Figura 37).



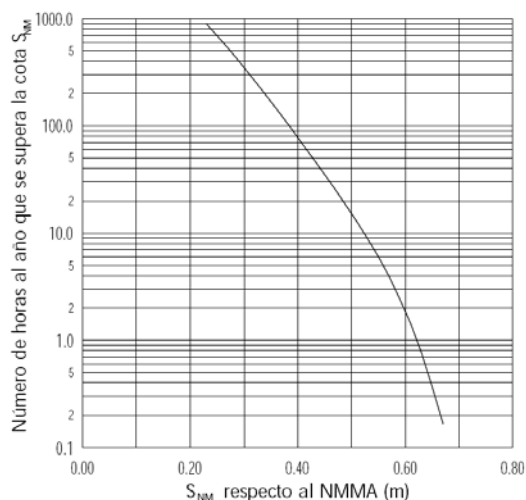


Figura 37 Régimen medio de marea para el Área VIIA del ATLAS

La elevación del nivel del mar asociada a los oleajes extremales, para los posibles periodos de retorno de los tramos de actuación, se recoge en la Tabla 17 y Figura 38.

| $T_R$ (años)     | $S_{NM}$ (m)   |             |
|------------------|----------------|-------------|
|                  | Estima Central | Banda 90%   |
| 68               | 0,70           | 0,66 – 0,74 |
| 143              | 0,71           | 0,67 – 0,76 |
| 238              | 0,72           | 0,67 – 0,77 |
| 500 <sup>2</sup> | 0,73           | 0,68 – 0,78 |

Tabla 17. Niveles extremales de marea referidos al NMMA

Los resultados se presentan en papel probabilístico Gumbel de máximos y en la doble escala de probabilidad acumulada y periodo de retorno (Figura 38).

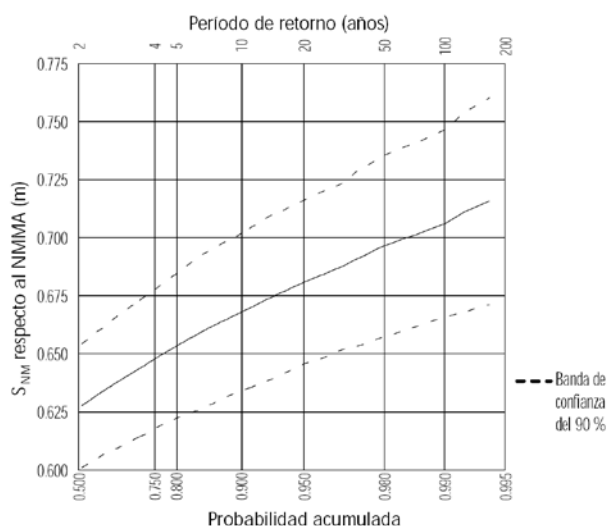


Figura 38 Régimen extremal de marea en el Área VIIA del ATLAS

<sup>2</sup> Es el máximo periodo de retorno considerado en el ATLAS de Inundación del Litoral Peninsular Español

### 7.2.2.2 Cota de Inundación

Como valor de ocurrencia representativo del régimen medio se considera el superado por 1.000 olas al año, obteniéndose una cota de inundación en la zona de estudio de 1,26 m, respecto el NMMA (Figura 39).

Para su obtención, se ha considerado una tendencia disipativa del perfil de las playas y una orientación media de los tramos de Estudio N90E.

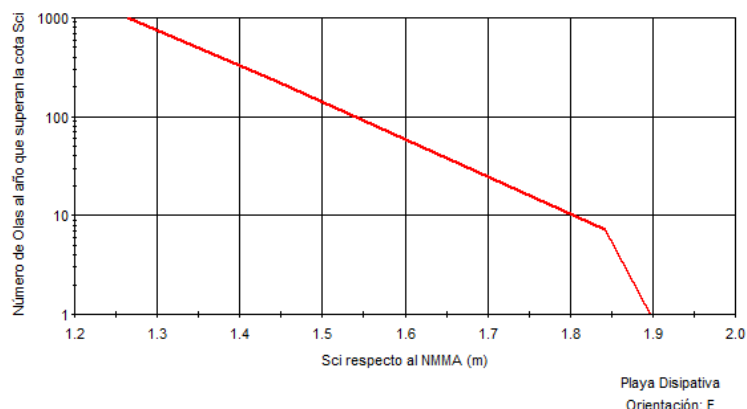


Figura 39 Régimen medio de cota de inundación en el Área VIIA del ATLAS

La cota de inundación referida al NMMA y estimada para los distintos periodos de retorno del Estudio se incluye en la Tabla 18.

| TR (años) | SCI (m)        |             |
|-----------|----------------|-------------|
|           | Estima Central | Banda 90%   |
| 68        | 2,57           | 2,48 – 2,67 |
| 143       | 2,69           | 2,55 – 2,82 |
| 238       | 2,78           | 2,56 – 2,99 |
| 500       | 2,89           | 2,58 – 3,20 |

Tabla 18. Cota de inundación del régimen extremal, referida al NMMA

Análogamente al caso del régimen extremal del nivel de marea, los resultados se representan en papel probabilístico Gumbel de máximos y en la doble escala probabilidad acumulada y periodo de retorno (Figura 40).

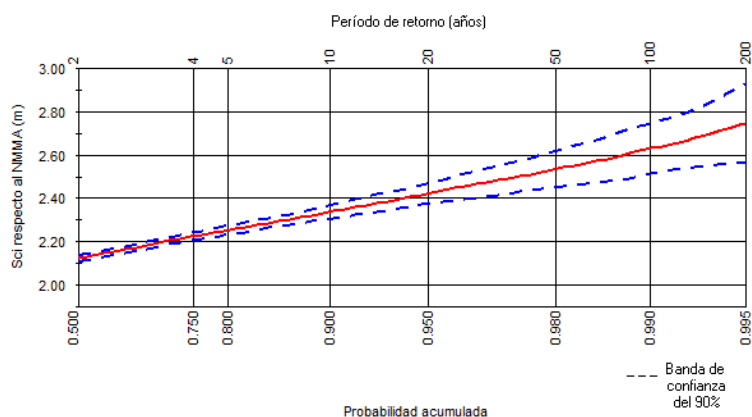


Figura 40 Régimen extremal de cota de inundación en el Área VIIA de ATLAS

### 7.2.2.3 Niveles de marea ECOLEVANTE

Se instaló un mareógrafo tipo Aanderaa WLR7 en el Puerto de Sagunto y en el Puerto de Valencia con el fin de hacer un análisis armónico del régimen de mareas y un estudio de su comportamiento a lo largo de la costa levantina.

El periodo de medición fue de un año completo, desde marzo de 2006 a marzo de 2007 en el caso del mareógrafo de Valencia, y de 3 meses (abril, julio y agosto) de 2006 en el caso del mareógrafo instalado en Sagunto.

La referencia altimétrica adoptada es el Cero de Alicante o nivel medio del mar en Alicante, NMMA.

El estudio de cada uno de los regímenes de marea pasa por obtener las componentes armónicas de la marea y realizar un análisis de las mismas a través del programa Mike 21 TIDAL TOOLS (Tablas 16 y 17):

| Localización | Mínimo | Máximo | Media | Desviación |
|--------------|--------|--------|-------|------------|
| Sagunto      | 0,0017 | 0,186  | 0,09  | 0,0245     |

Tabla 19. Resultado del análisis de componentes armónicas de los niveles de marea en el Puerto de Sagunto

| Localización | Mínimo  | Máximo | Media | Desviación |
|--------------|---------|--------|-------|------------|
| Valencia     | -0,0020 | 0,195  | 0,09  | 0,0361     |

Tabla 20. Resultado del análisis de componentes armónicas de los niveles de marea en el Puerto de Valencia

La comparativa de las ondas de marea registradas en los Puertos de Valencia y Sagunto presenta una buena correlación, siendo ambas mareas mixtas con diferencias de amplitudes y desfases no significativas.

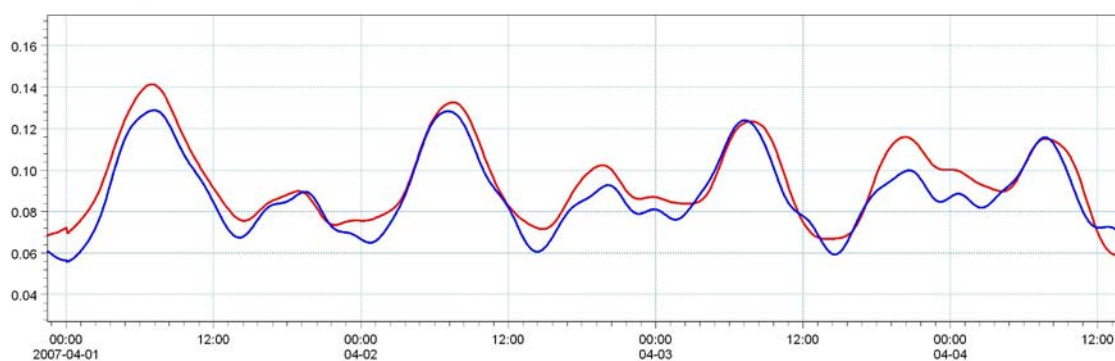


Figura 41 Ondas de marea de los registros de los Puertos de Sagunto (línea azul) y Valencia (línea roja)

Como conclusión del análisis se podría considerar una onda de marea, de igual fase y amplitud, para todo el borde litoral de Estudio, limitado por los Puertos de Sagunto y Valencia.

Sin embargo, dado que la zona de Estudio es una zona de mareas astronómica de amplitudes muy bajas, cuyos máximos oscilan en torno a 0,20 m, y medias muy próximas al NMMA, no se tendrá en cuenta la existencia de niveles de marea en la propagación del oleaje que incide en la costa.

## 7.3 PROPAGACIÓN DEL OLAJE

### 7.3.1 Introducción

A medida que el oleaje se aproxima hacia la costa sufre una serie de fenómenos que llevan a su

transformación, como son el asomeramiento, la refracción, la difracción o la rotura. Este último, en combinación con los gradientes de altura de ola y la incidencia oblicua del oleaje, producen corrientes costeras que transportan agua y sedimentos y que, de los distintos tipos de corrientes (marea, viento, etc.), son las más importantes en el desarrollo de la línea de costa.

Así, en este punto y subsiguientes del documento se aborda el análisis de estas dinámicas y procesos litorales en la costa objeto de actuación, analizándose los cambios sufridos por el oleaje en su camino hacia la costa a través de su propagación desde aguas indefinidas hasta ésta con el modelo numérico OLUCA implementado en el “Sistema de Modelado Costero” desarrollado por el *Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC)* de la Universidad de Cantabria, así como de las corrientes de playa generadas (modelo COPLA), tanto para régimen extremal como para régimen medio.

También, como parte integrante de este estudio, se efectúa la reconstrucción del clima marítimo en nodos de control frente al tramo de costa objeto de estudio mediante la técnica del Hipercubo, que permite la obtención de la serie completa SIMAR&WANA de oleaje propagado en la costa.

### 7.3.2 Metodología

#### 7.3.2.1 Descripción del modelo de propagación empleado

El OLUCA-SP pertenece al grupo de modelos de propagación del oleaje que propagan un espectro de energía asociado a un oleaje irregular aleatorio, es un modelo espectral no dispersivo que resuelve la fase, aplicable sobre batimetrías complejas en dirección a la costa.

Este modelo y el OLUCA-RD (monocromático) están basados en los modelos REF/DIF1 y REF/DIF S desarrollados por el *Center for Applied Coastal Research, Department of Civil Engineering, Newark, Delaware* (USA) (Kirby et al., 1986b y 1994), con base en la formulación no-lineal de la aproximación parabólica de la refracción-difracción, con interacción oleaje-corriente, formulación propuesta por Kirby (1986a), los cuales fueron posteriormente mejorados por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC) de la Universidad de Cantabria.

El OLUCA-SP es un modelo parabólico de refracción/difracción débilmente no lineal basado en un desarrollo de Stokes de las ecuaciones que definen el problema de las ondas en el agua y obtenido a partir de las formulaciones de pendiente suave (“*Mild slope equation*”, Berkhoff, 1972), aproximación parabólica que se resuelve por medio de una técnica de diferencias finitas para la amplitud de la onda (técnica de Crank-Nicolson), resultando un sistema en matrices tridiagonales.

#### Condiciones iniciales:

- Estado de mar:
  - Espectro frecuencial TMA (*Bouws et al.*, 1985). Los parámetros que lo definen son:
    - $h$  (m): profundidad del agua
    - $H_s$  (m): altura de ola significativa
    - $f_p$  (Hz): frecuencia de pico =  $1/T_p$
    - $\gamma$ : factor de ensanchamiento del pico ( $\gamma=8\sim 10$  oleajes tipo Swell,  $\gamma=2\sim 4$  oleajes tipo Sea)
  - Función de dispersión direccional (Borgman, 1984), definida por los siguientes parámetros:

- $\theta_m$  (°): dirección media del oleaje
- $\sigma_m$ : parámetro que determina el ancho de la dispersión direccional ( $\sigma_m=5$  espectro estrecho y  $\sigma_m=30$  espectro ancho)
- Dominio espacial:  
La batimetría del área de estudio debe ser introducida en los nodos de una malla (x,y) rectangular, con incrementos en metros entre nodos de: Dx, Dy.

### 7.3.2.2 Modelización del terreno

Para la constitución del modelo digital del terreno (MDT) necesario para llevar a cabo la propagación del oleaje desde aguas profundas hasta la zona en estudio, se superpone la información topobatemétrica y cartográfica disponible de la zona de actuación, previo estudio de su compatibilidad y homogeneidad en cotas (sistema de referencia altimétrico) y coordenadas (sistema de referencia planimétrico y proyección).

Las batimetrías empleadas para generar el modelo digital del terreno se enumeran a continuación, desde la más general a la más detallada.

- Información en aguas profundas → Cartas Náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina:
  - Carta Náutica nº 47 “De cabo Tiñoso a cabo Canet con las Islas Ibiza, Formentera, Cabrera y Costa sudoeste de Mallorca”. Proyección Mercator, Datum Europeo. Sondas y altitudes en metros, referidas las primeras a la mayor bajamar y las segundas al nivel medio del mar. Escala 1:350.000.

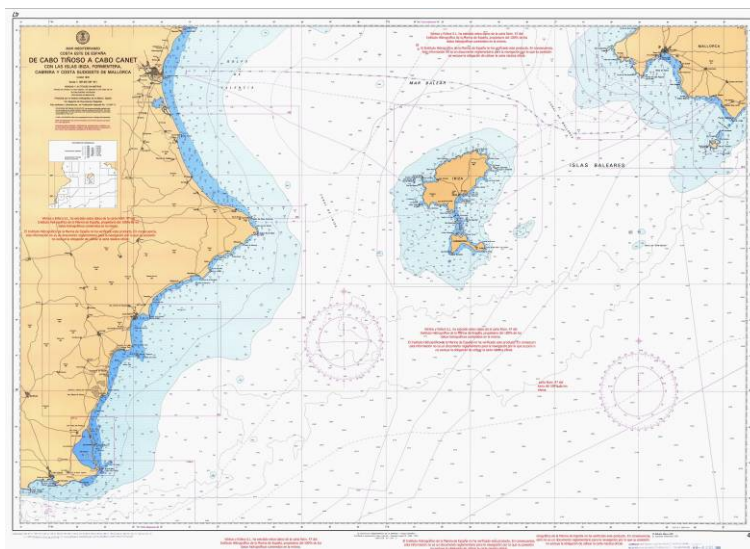


Figura 42 Carta náutica nº47 del Instituto Hidrográfico de la Marina.

- Carta Náutica nº 48 “De cabo de la Nao a Barcelona con las Islas Baleares”. Posiciones referidas al Sistema geodésico Mundial WGS-84. Proyección Mercator. Sondas y altitudes en metros, referidas las primeras a la mayor bajamar y las segundas al nivel medio del mar. Escala 1:425.000.



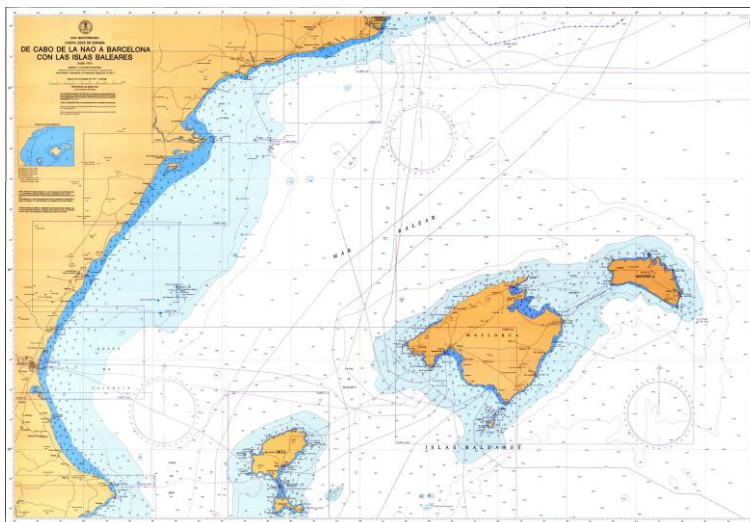


Figura 43 Carta náutica nº48 del Instituto Hidrográfico de la Marina.

- Carta Náutica nº481 “Del Puerto de Valencia al Puerto de Sagunto”. Proyección Mercator (UTM, huso 30), Datum Europeo. Sondas y altitudes en metros, referidas las primeras a la mayor bajamar y las segundas al nivel medio del mar. Equidistancia entre curvas de nivel de 100 m. Escala 1:50.000.

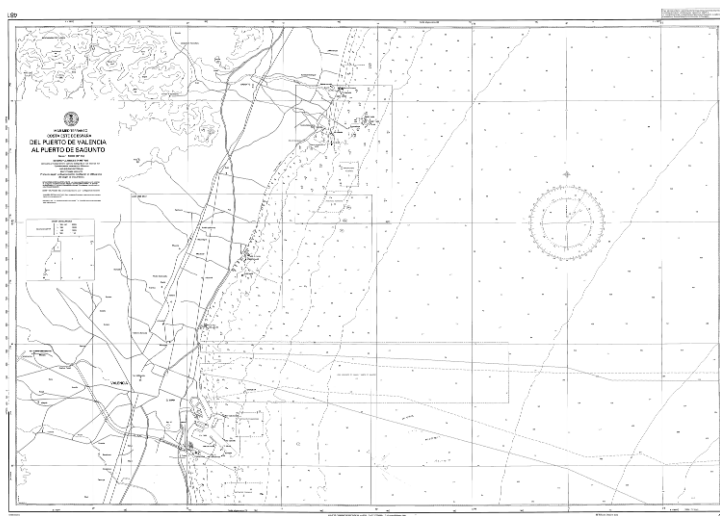


Figura 44 Carta náutica nº481 del Instituto Hidrográfico de la Marina.

- Información en aguas intermedias → Levantamiento topo-batimétrico realizado con objeto de ECOLEVANTE (explicado en apartado 5.4).

### 7.3.2.3 Oleaje de diseño

Para el estudio del oleaje en la costa se llevará a cabo la reconstrucción del clima marítimo en la misma mediante la Técnica del Hipercubo, desarrollada por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC) de la Universidad de Cantabria en 2004, recibe este nombre por sus cuatro parámetros de actuación: altura de ola ( $H_s$ ), periodo ( $T_p$ ), dirección y nivel del mar. Esta técnica se basa en el empleo de los coeficientes de asomeramiento y refracción resultantes de la propagación del total de casos escogidos representativos de las serie SIMAR-WANA en aguas profundas, para, mediante

interpolación, obtener esta serie propagada en puntos objetivo de profundidad reducida frente al borde litoral objeto de estudio.

El gráfico y la tabla a continuación recogen los 30 estados de mar ( $H_s$  y  $T_p$ ) escogidos para la propagación, cada uno de los cuales se propaga para cada una de las 5 direcciones del oleaje susceptibles de alcanzar la costa en estudio (NE, ENE, E, ESE y SE), resultando un total de 150 casos de simulación.

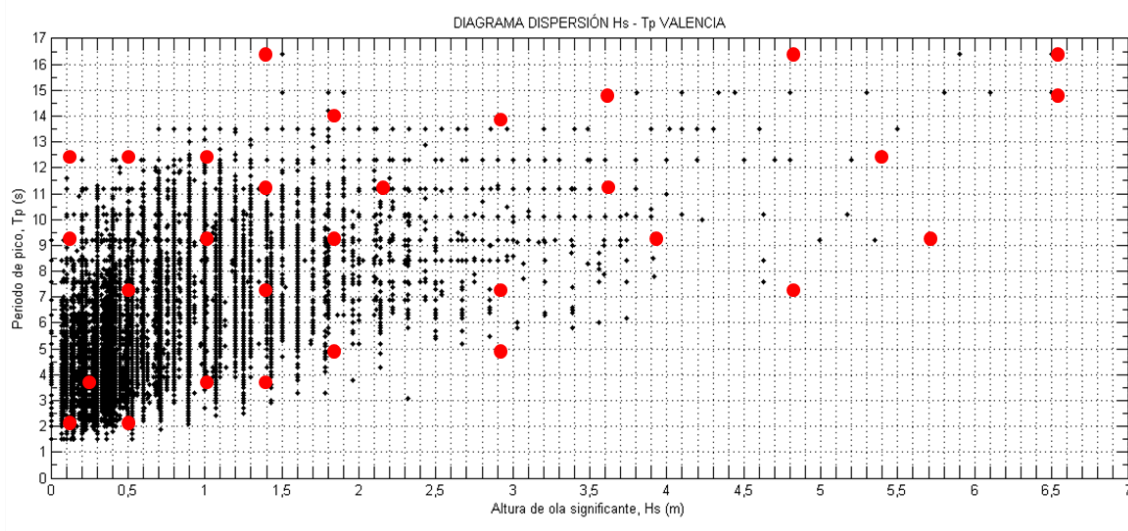


Figura 45 Diagrama de dispersión  $H_s$ - $T_p$  donde se muestran los estados de mar escogidos para la propagación.

| $H_s$ (m) | $T_p$ (s) | $H_s$ (m) | $T_p$ (s) |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0,1       | 2         | 1,8       | 9         |
| 0,1       | 9         | 1,8       | 14        |
| 0,1       | 12,5      | 2,1       | 11        |
| 0,25      | 3,5       | 2,9       | 5         |
| 0,5       | 2         | 2,9       | 7         |
| 0,5       | 7         | 2,9       | 16,4      |
| 0,5       | 12,5      | 3,6       | 11        |
| 1         | 3,5       | 3,6       | 15        |
| 1         | 9         | 3,9       | 9         |
| 1         | 12,5      | 4,8       | 7         |
| 1,4       | 3,5       | 4,8       | 16,4      |
| 1,4       | 7         | 5,4       | 12,5      |
| 1,4       | 11        | 5,7       | 9         |
| 1,4       | 16,4      | 6,5       | 15        |
| 1,8       | 5         | 6,5       | 16,4      |

Tabla 21. Casos de altura de ola y periodos propagados en cada una de las direcciones de procedencia del oleaje: NE, ENE, E, ESE y SE.

#### 7.3.2.4 Diseño de mallas de cálculo

Las características de los oleajes a propagar y la configuración de la costa del óvalo valenciano en que se enmarca la zona de actuación, lleva al diseño de 2 grupos de 3 mallas encadenadas que parten en aguas profundas (límite de la malla exterior calculado para el mayor  $T_p$  a propagar), cada una de ellas

destinada a la propagación de un grupo direccional de oleajes, cuya procedencia define su orientación:

- Malla orientada al E: propagación de oleajes procedentes del NE y ENE.
- Malla del ESE: propagación de oleajes del E, ESE y SE.

Los encadenamientos de mallas permiten diferentes pasos de malla, de modo que las mallas exteriores tienen un paso de malla de 200 m, las intermedias de 50 m y las de detalle 16,6 m ó 12,5 m, en función del periodo a propagar.

Puesto que la profundidad considerada como aguas profundas depende del periodo, para periodos intermedios es posible partir de la malla intermedia (periodos de 7 s y 9 s) y para periodos pequeños, es posible empezar la propagación directamente desde la malla de detalle (periodos de 2 s y 3,5 s).

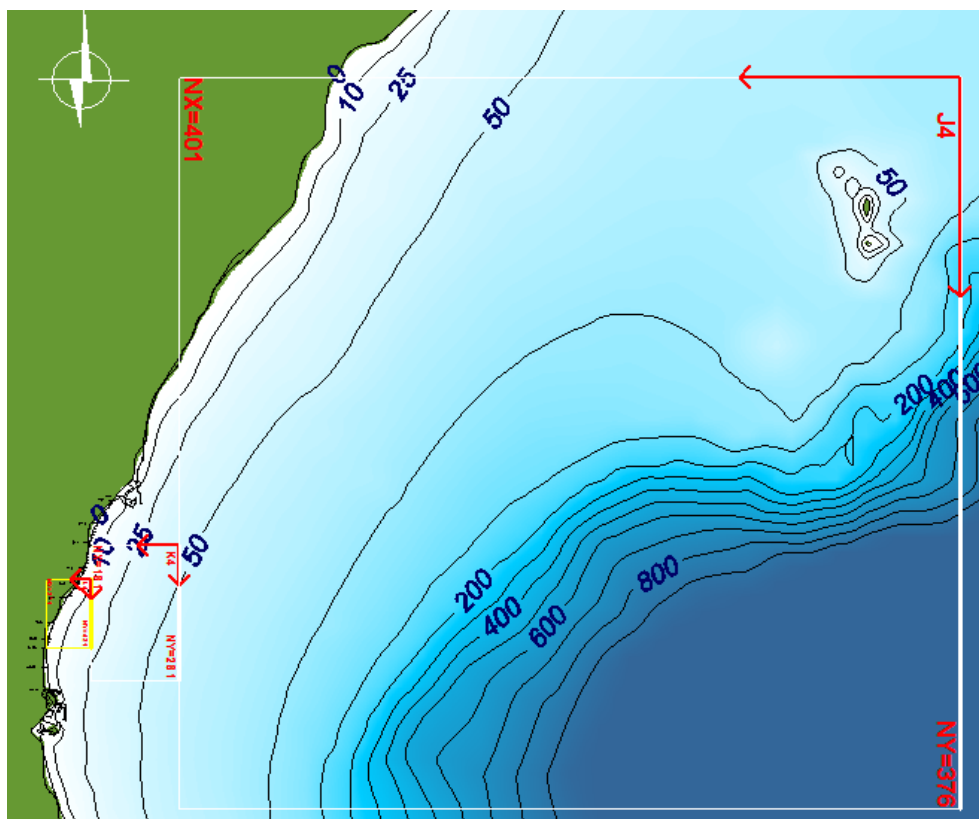


Figura 46 Grupo de mallas encadenadas del E.

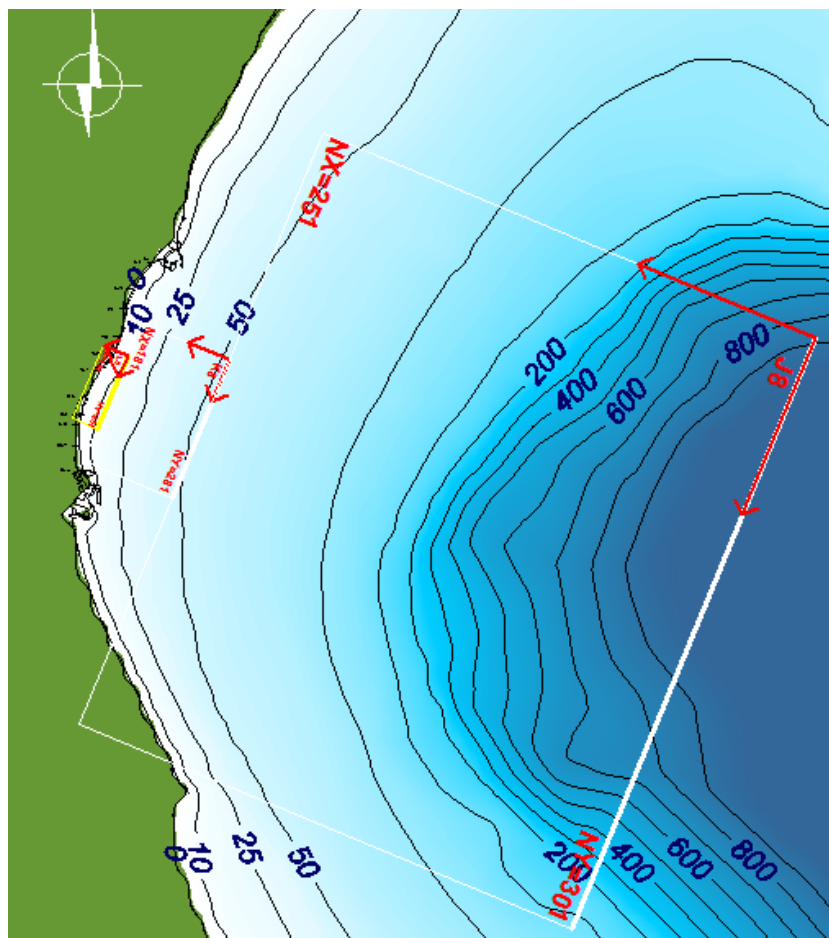


Figura 47 Grupo de mallas encadenadas del ESE.

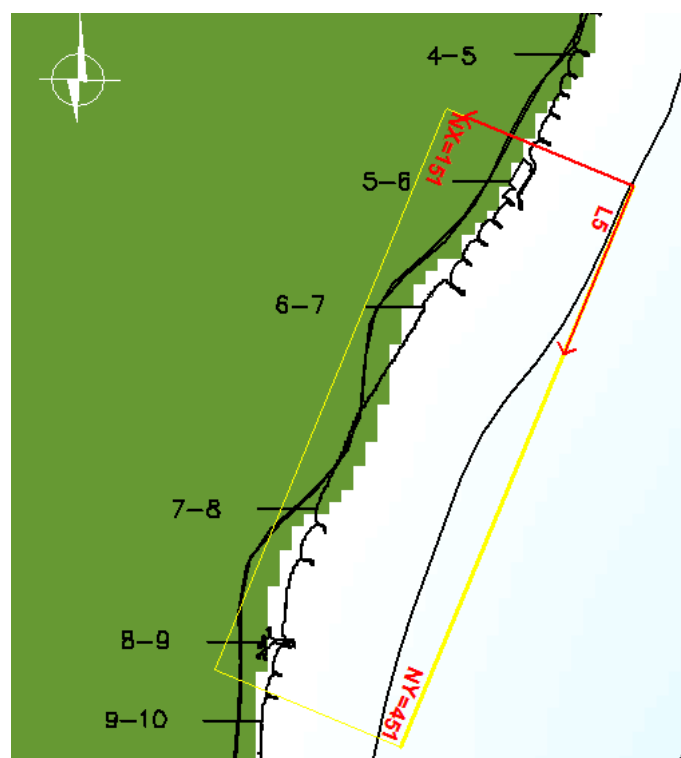


Figura 48 Malla de detalle de la familia de mallas del ESE.

## 7.4 OLEAJE EN LA COSTA

### 7.4.1 Selección del punto objetivo en la costa

Para el análisis del oleaje en la propia zona de estudio, se escoge un nodo objetivo en ésta, donde se obtienen los resultados de los oleajes propagados y se lleva a cabo la interpolación de la serie de oleaje SIMAR&WANA para los datos de 1958 a 2011 mediante la Técnica del Hipercubo.

En la Tabla 22 se presentan las coordenadas de este punto de control escogido para la reconstrucción del clima marítimo, cuya posición en planta puede observarse en la imagen de la Figura 49.

| COORDENADAS UTM ED50 |            | COORDENADAS UTM ETRS89 |             | Profundidad |
|----------------------|------------|------------------------|-------------|-------------|
| X (m)                | Y (m)      | X (m)                  | Y (m)       | Z (m)       |
| 731026,51            | 4377866,30 | 730916,863             | 4377657,296 | -5          |

Tabla 22. Coordenadas del nodo objetivo en la costa.



Figura 49 Localización del nodo objetivo en la costa.

### 7.4.2 Reconstrucción del clima marítimo en la costa

#### 7.4.2.1 Análisis direccional

En la Figura 50 se presentan las rosas de altura de ola y periodo del oleaje en la costa objeto de estudio. En ellas se observa la transformación sufrida por el oleaje en su camino a la costa, con una agrupación de los oleajes entorno al E-ESE.



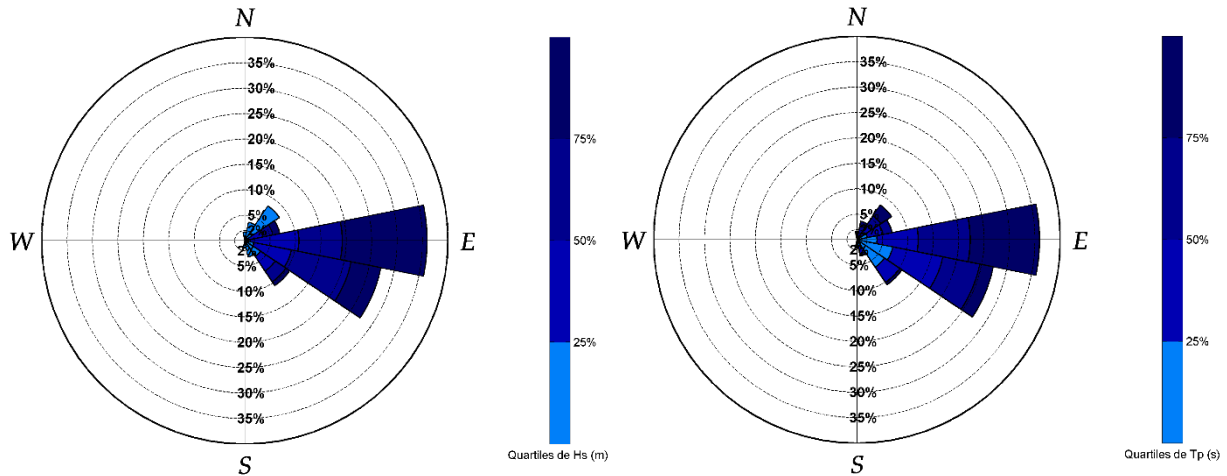


Figura 50 Rosas de Hs (izq.) y Tp (dcha.) del oleaje en la costa.

#### 7.4.2.2 Régimen medio

La distribución que presenta un mejor ajuste a los datos de altura de ola en costa, es la distribución Gumbel de Máximos.

La función de distribución Gumbel de Máximos de una variable aleatoria  $x$  es:

$$F(x) = \exp \left[ - \exp \left( \frac{-(x - \lambda)}{\delta} \right) \right]$$

Donde:

$\lambda$  es el Parámetro de localización (moda de la distribución)

$\delta$  es el Parámetro de escala (proporcional a la desviación típica de la distribución)

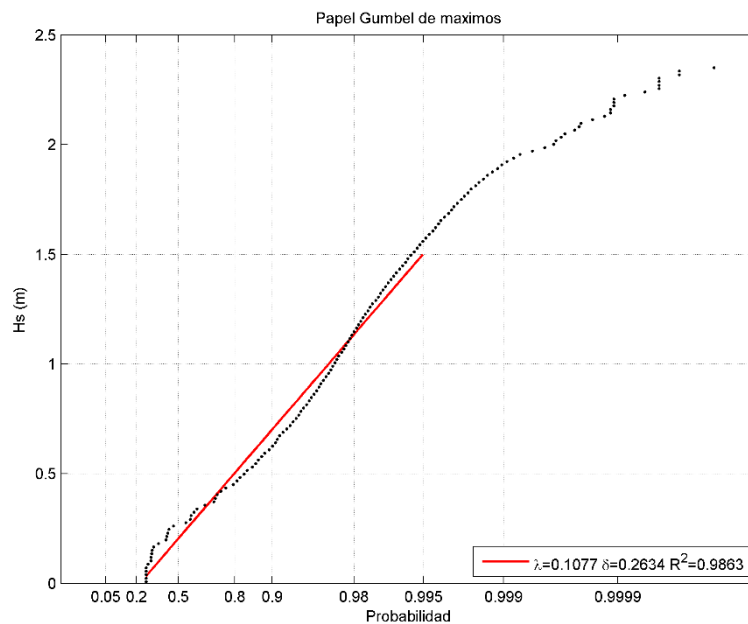


Figura 51 Régimen medio escalar del oleaje en la costa.

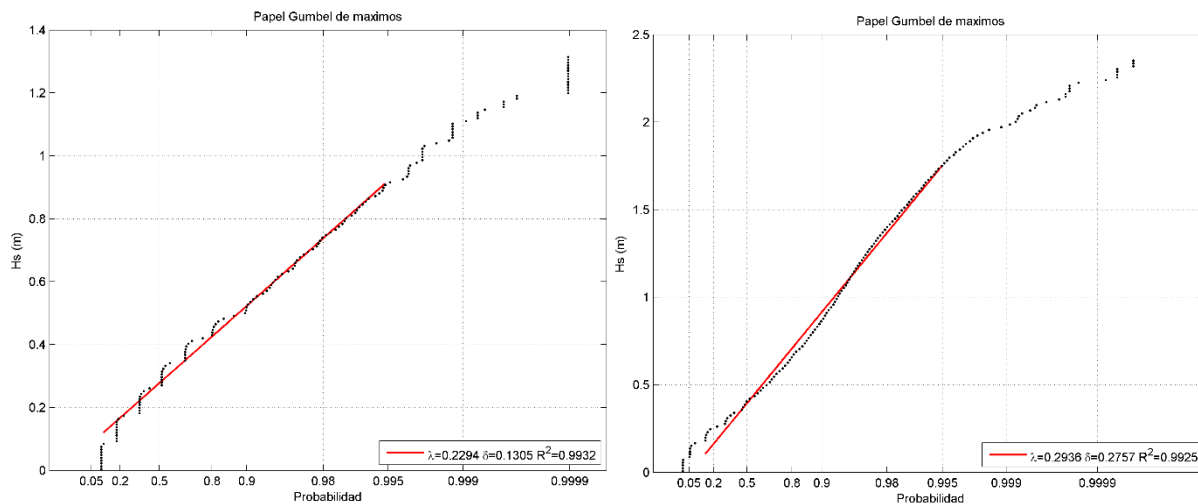


Figura 52 Régimen medio direccional del oleaje en la costa. Direcciones ENE (izq.) y E (dcha.)

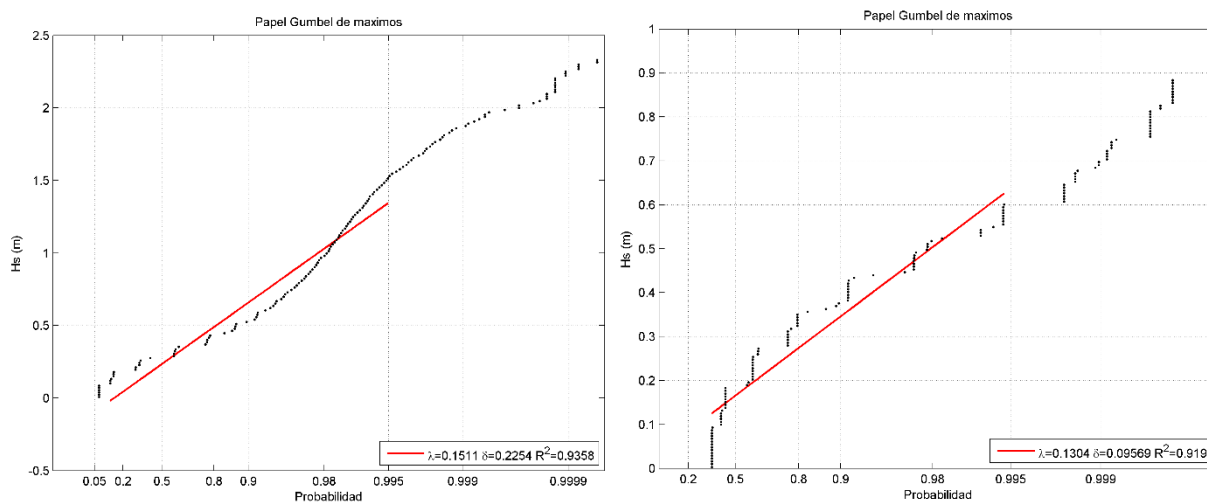


Figura 53 Régimen medio direccional del oleaje en la costa. Direcciones ESE (izq.) y SE (dcha.)

En la tabla a continuación se presentan los principales estadísticos de la variable altura de ola en la costa:

| Variable medida: Hs (m) |                |                       |                       |                       |                      |
|-------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| direcciones(°)          | prob.direccion | Hs (m) <sub>50%</sub> | Hs (m) <sub>90%</sub> | Hs (m) <sub>99%</sub> | Hs (m) <sub>12</sub> |
| N                       | 0.0164         | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000               |
| NNE                     | 0.0367         | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000               |
| NE                      | 0.0817         | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000               |
| ENE                     | 0.0700         | 0.2697                | 0.5232                | 0.8246                | 1.0523               |
| E                       | 0.3585         | 0.4147                | 0.8737                | 1.5937                | 1.9679               |
| ESE                     | 0.2728         | 0.2851                | 0.5355                | 1.2834                | 1.8336               |
| SE                      | 0.1061         | 0.1903                | 0.3806                | 0.5309                | 0.6829               |
| SSE                     | 0.0326         | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000               |
| S                       | 0.0139         | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000               |
| SSW                     | 0.0000         | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000               |
| SW                      | 0.0000         | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000               |
| WSW                     | 0.0000         | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000               |
| W                       | 0.0000         | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000               |
| WNW                     | 0.0000         | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000               |
| NW                      | 0.0000         | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000               |
| NNW                     | 0.0000         | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000                | 0.0000               |

Tabla 23. Tabla de estadísticos básicos de altura de ola significativa del oleaje en la costa objeto de estudio.

La relación Hs-Tp del oleaje en la costa se presenta en la siguiente gráfica:

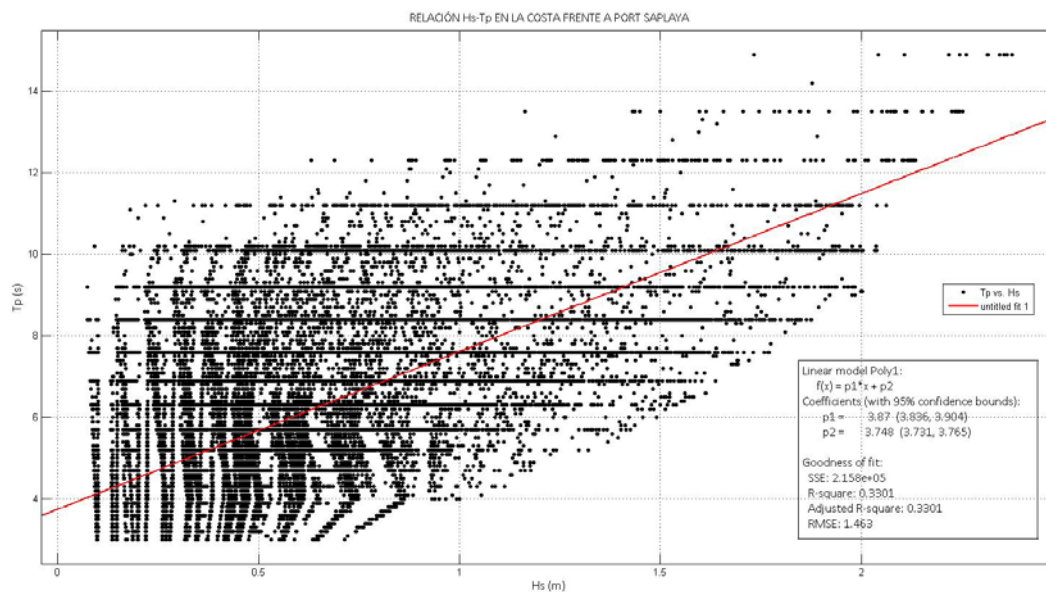


Figura 54 Relación Hs-Tp del oleaje en la costa objeto de estudio.

### 7.4.2.3 Régimen extremal

Los máximos anuales de altura de ola del oleaje en la costa presentan un buen ajuste a una distribución triparamétrica de Valores Extremos Generalizada (*Generalized Extreme Value, GEV*).

La función de distribución GEV de una variable aleatoria x es:

$$F(x) = \exp \left\{ - \left( 1 + \xi \frac{x - \mu}{\psi} \right)_+^{-1/\xi} \right\}$$

Donde:

$\mu$  es el parámetro de localización

$\psi$  es el parámetro de escala

$\xi$  es el parámetro de forma

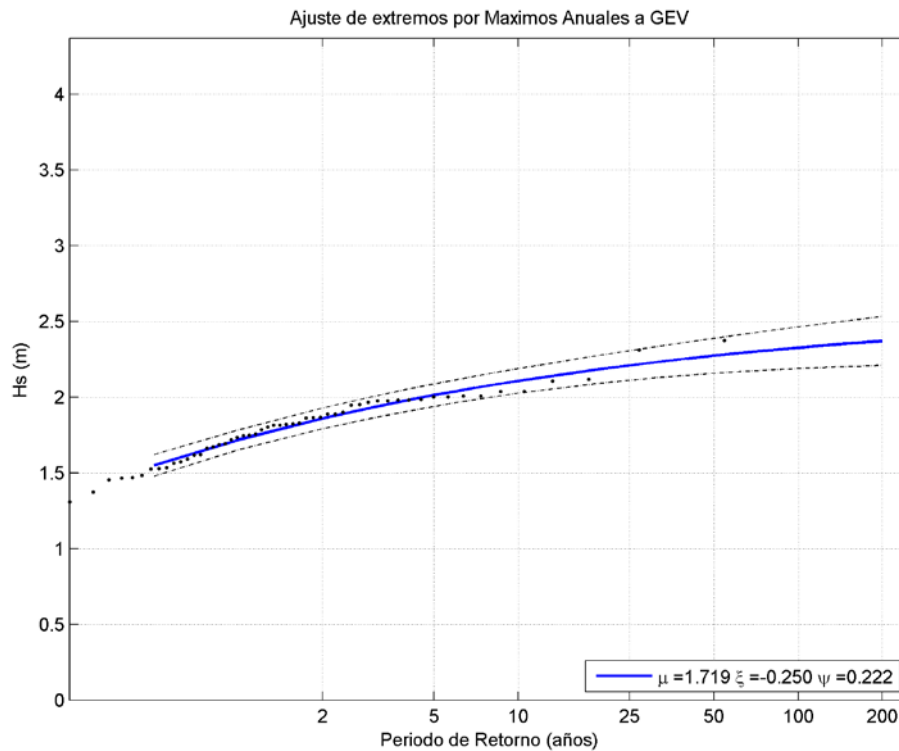


Figura 55 Régimen extremal del oleaje en la costa.

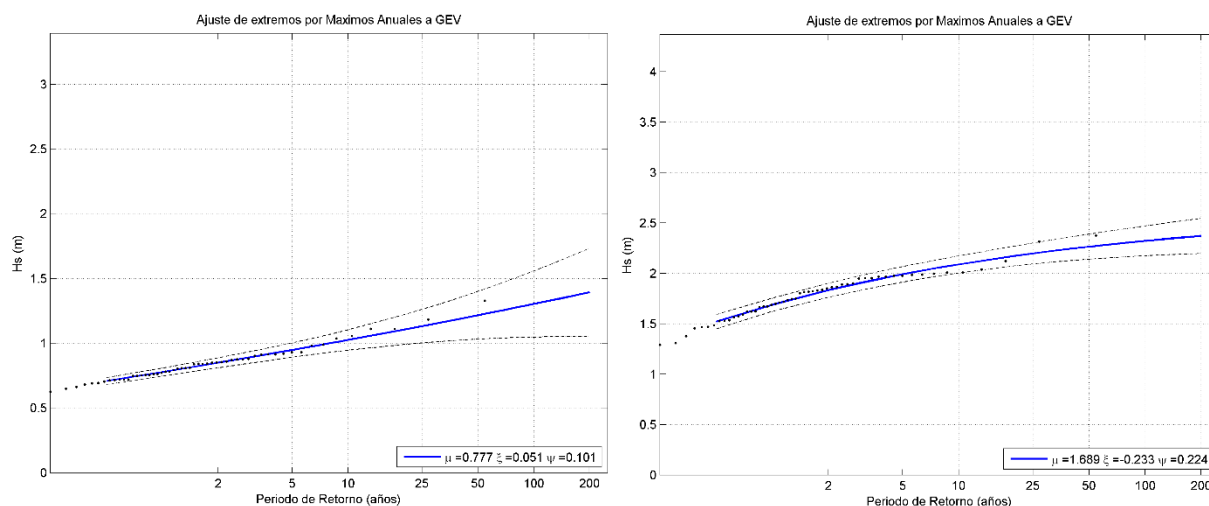


Figura 56 Régimen extremal direccional del oleaje en la costa. Direcciones ENE (izq.) y E (dcha.)

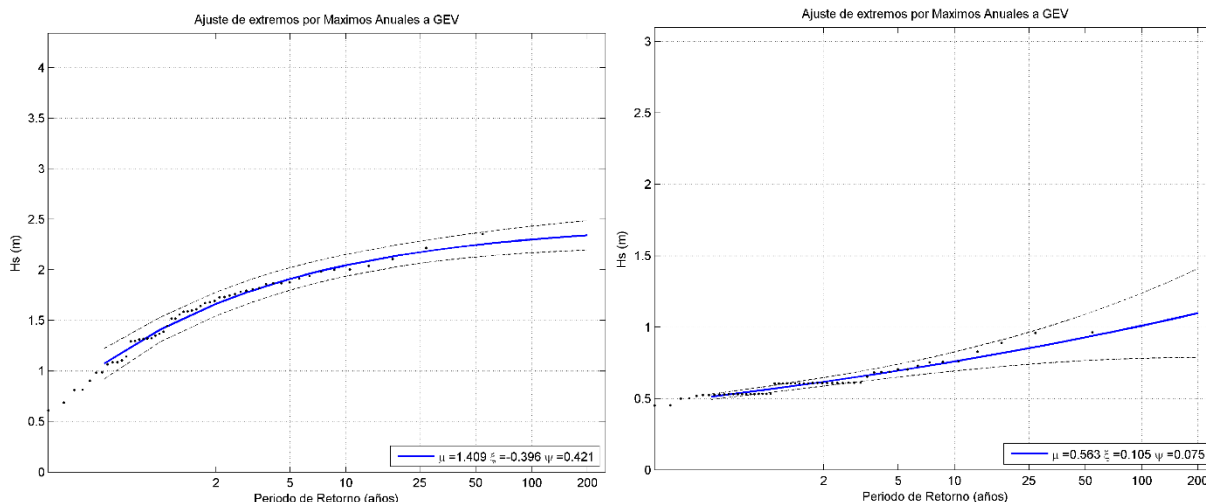


Figura 57 Régimen extremal direccional del oleaje en la costa. Direcciones ESE (izq.) y SE (dcha.)

La tabla a continuación recoge los estados de mar en régimen extremal asociados a los diferentes periodos de retorno considerados. El periodo del oleaje asociado se obtiene de la relación  $H_s-T_p$  para valores extremos mostrada en la Figura 58.

| Dirección | Parámetros Ajuste (GEV) |       |        | H <sub>s</sub> (m)<br>f (T <sub>R</sub> ) | T <sub>p</sub> (s) | H <sub>s</sub> (m)<br>f (T <sub>R</sub> ) | T <sub>p</sub> (s) | H <sub>s</sub> (m)<br>f (T <sub>R</sub> ) | T <sub>p</sub> (s) | H <sub>s</sub> (m)<br>f (T <sub>R</sub> ) | T <sub>p</sub> (s) |
|-----------|-------------------------|-------|--------|---|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|
|           | μ                       | ψ     | ξ      | 68  | asocs.             | 143                                       | asocs.             | 238                                       | asocs.             | 689                                       | asocs.             |
| Escalar   | 1,719                   | 0,222 | -0,25  | 2,30                                      | 10,43              | 2,35                                      | 10,52              | 2,38                                      | 10,56              | 2,43                                      | 10,65              |
| ENE       | 0,777                   | 0,101 | 0,051  | 1,25                                      | 8,43               | 1,35                                      | 8,65               | 1,41                                      | 8,80               | 1,56                                      | 9,11               |
| E         | 1,689                   | 0,224 | -0,233 | 2,29                                      | 10,42              | 2,35                                      | 10,51              | 2,38                                      | 10,57              | 2,44                                      | 10,66              |
| ESE       | 1,409                   | 0,421 | -0,396 | 2,27                                      | 10,39              | 2,32                                      | 10,47              | 2,35                                      | 10,52              | 2,39                                      | 10,58              |
| SE        | 0,563                   | 0,075 | 0,105  | 0,96                                      | 7,68               | 1,05                                      | 7,93               | 1,12                                      | 8,10               | 1,27                                      | 8,47               |

Tabla 24. Estados de mar en RE en la costa de Port Saplaya para los distintos periodos de retorno considerados.

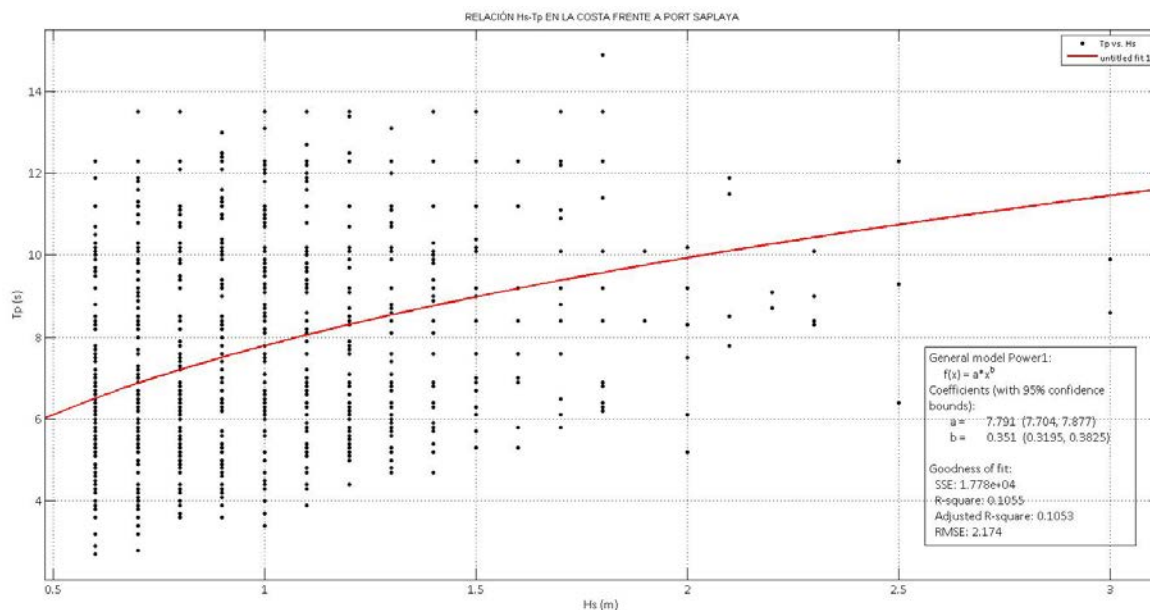


Figura 58 Relación  $H_s-T_p$  para valores extremos.



## 8 FLUJO MEDIO DE ENERGÍA

La cuantificación del flujo medio de energía, en adelante FME, tiene un doble interés; por un lado posibilita la estimación de la capacidad de transporte potencial del oleaje y por otro permite obtener la forma en planta teórica de equilibrio a largo plazo de la costa bajo las condiciones hidrodinámicas reinantes.

Como primera aproximación a las condiciones de equilibrio morfodinámico de la costa, se lleva a cabo el cálculo del FME en el nodo de control localizado en la batimétrica de -5 m en el que se ha obtenido de forma previa la reconstrucción del clima marítimo. Posteriormente, el cálculo se realiza en una serie de puntos de control establecidos a lo largo de la costa, a la profundidad de -2 m, suficientemente próximos entre sí, como para poder establecer pequeños tramos de dirección perpendicular a la dirección del vector flujo medio en los citados puntos. La mayor o menor oblicuidad de estas ortogonales respecto a la orientación de la línea de orilla frente al nodo de control permitirá identificar desequilibrios en las condiciones de la línea de costa.

Para el cálculo del FME se realiza la composición vectorial del oleaje generado en los citados puntos, considerando la probabilidad de presentación asociada a cada uno de estos oleajes.

### 8.1 FME A -5 m DE PROFUNDIDAD

El resultado de cálculo consta en la Tabla 25 y puede visualizarse en la Figura 59, donde se incluye, además, la orientación de la alineación media de la costa (representada por una línea fucsia en el nodo de control que grafía la paralela a la costa) y el ángulo relativo entre la dirección del FME del oleaje obtenido (flecha roja) y la citada alineación, que proporciona información acerca de cómo evolucionará la línea de orilla y de la magnitud del transporte longitudinal potencial.

| Dirección Flujo Medio (º) | Orientación tramo de costa (º) | Ángulo entre el FME y la paralela a la costa (º) |
|---------------------------|--------------------------------|--|
| S84E                      | N15E                           | 81   |

Tabla 25. Dirección FME en los nodos de control, orientación de la costa y ángulo relativo entre ambos



Figura 59 Dirección del FME a -5 m de profundidad frente a la costa en estudio.

La evaluación del conjunto de oleajes que inciden en la zona de estudio (direcciones NE a SE), representada a través del vector FME, respecto a la alineación media de la costa pone de manifiesto que el transporte de sedimentos bruto y neto se produce en sentido N-S y que, de forma generalizada, existe un desequilibrio morfodinámico asociado a la oblicuidad del oleaje medio incidente sobre la costa de Estudio.

## 8.2 FME EN LA BATIMÉTRICA -2 m

Puesto que la costa de forma natural tiende a orientarse en perpendicular a la dirección del flujo medio de energía del oleaje, la representación de las perpendiculares a cada una de las direcciones obtenidas en los distintos puntos a -2 m y su posterior proyección hasta la costa permite obtener la forma en planta de equilibrio de la línea de orilla de cada uno de los tramos objeto de estudio.

Como resultado de la aplicación de esta metodología se obtiene la forma de la orilla discretizada cada 10 metros que corresponde con la distancia entre nodos de cálculo.

El análisis de los resultados permite diferenciar las zonas dentro del tramo estudiado que permanecen estables bajo las condiciones hidrodinámicas del oleaje incidente y las que presentan desequilibrios morfodinámicos.

Como se vió en el apartado 5.2 del presente documento, el frente costero objeto de actuación se compone de dos celdas, la playa de Meliana entre espigones, al norte, y las playas de Meliana y Port Saplaya, al sur. La orientación de las ortogonales a los frentes en los cinco nodos de control localizados en la Celda Norte coincide con la alineación actual de la orilla, considerándose, por tanto, estable bajo las condiciones hidrodinámicas medias anuales (en equilibrio estático).

La discretización de la orilla en la Celda Sur, ubicada aguas arriba del Puerto de Port-Saplaya, reproduce con gran aproximación las condiciones actuales de la línea de orilla en la zona centro-sur, pero presenta un giro respecto la línea de costa actual en su parte norte, que se percibe como una zona en estado de regresión.

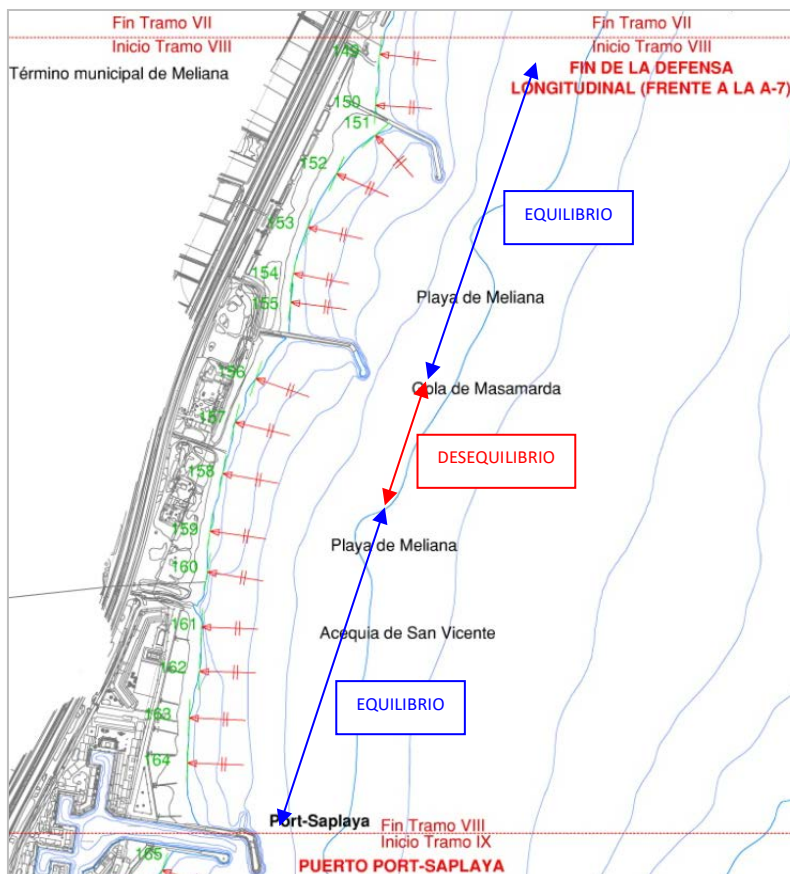


Figura 60 Planta de equilibrio discretizada a partir del FME a -2 m de profundidad.

## 9 PROFUNDIDAD DE CIERRE

La profundidad de cierre del perfil de playa ( $h_*$ ) ha sido calculada mediante aplicación de las formulaciones teóricas de Hallermeier (1981) y Birkemeier (1985), y posteriormente cotejados los valores obtenidos mediante estudio comparativo de perfiles de playas medidos en campañas de campo en distintas épocas.

Hallermeier (1981)

$$h_* = 2.28 \cdot H_{s12} - 68.5 \cdot \left( \frac{H_{s12}^2}{g \cdot T_s^2} \right)$$

Birkemeier (1985)

$$h_* = 1.75 \cdot H_{s12} - 57.9 \left( \frac{H_{s12}^2}{g \cdot T_s^2} \right)$$

En las formulaciones presentadas, la profundidad hasta la cual se produce el movimiento longitudinal del material, y a partir de la cual las variaciones verticales del perfil a lo largo del tiempo se estabilizan ( $h_*$ ), es dependiente de las condiciones energéticas del oleaje incidente en la zona de estudio, concretamente de la altura de ola significativa que es superada 12 horas al año,  $H_{s12}$ , y su periodo asociado.

La determinación de dicha altura de ola se ha llevado a cabo a partir de la interpolación, mediante la técnica del Hipercubo, de la serie completa de datos de oleaje SIMAR&WANA (1958-2011) de aguas

profundas en el nodo de profundidad reducida frente a la costa objeto de estudio. Este nodo, fue situado a una profundidad de -5 m, siguiendo como referencia para su localización la  $h^* = -4$  m recomendada para la fachada litoral valenciana de la ROM 0.3-91 en el “Documento temático de Regeneración de playas” del GIOC y el Ministerio de Medio Ambiente.

Los datos de cálculo y resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla, donde se observa que el valor de la profundidad de cierre es mayor para la formulación de Hallermeier que para Birkemeier.

| Tramo | x          | y         | z (m) | H <sub>s12</sub> (m) | Ts (s) | Hallermeier (m) | Birkemeier (m) |
|-------|------------|-----------|-------|----------------------|--------|-----------------|----------------|
| 8     | 731026.514 | 4377866.3 | -5    | 1.6486               | 9.7898 | 3.6             | 2.7            |

Tabla 26. Profundidad de cierre en cada tramo de actuación.

Aunque cabría considerar más conservadores los resultados de Hallermeier, es sabido que dicho autor no llevó a cabo un proceso de calibración de su formulación con perfiles reales de campo, y sí así Birkemeier, cuya expresión se considera por tanto más representativa de los fenómenos que ocurren en la realidad. No obstante, y dado que en ningún caso se alcanzan los **4 m de profundidad**, se establece ésta como profundidad de cierre de la unidad.

Para corroborar la fiabilidad de los resultados obtenidos y asegurar que se está del lado de la seguridad, se ha calculado además la profundidad de cierre asociada a las condiciones máximas del oleaje. Para lo cual, se han calculado las profundidades de cierre para: (a) la H<sub>s12</sub> media en aguas profundas de los 53 años de la serie, sin considerarse por tanto los efectos del fondo; y (b) la H<sub>s12</sub> máxima contenida en la serie SIMAR&WANA propagada hasta la costa, ambas mediante la formulación de Birkemeier.

- a) Profundidad de cierre ( $h^*$ ) calculada en aguas profundas a partir de la H<sub>s12</sub> media del registro.

Para ello se calcula la H<sub>s12</sub> de cada uno de los 53 años que componen la serie de oleaje en aguas profundas SIMAR&WANA, se promedian los datos, y se obtiene una  $\overline{H_{s12}} = 2.3$  m con la que se calcula la profundidad de cierre.

$$h_* = 1.75 \cdot 2.3 - \left( \frac{2.3^2}{g \cdot 9.3^2} \right) = 3.7 \text{ m}$$

- b) Profundidad de cierre ( $h^*$ ) local obtenida a partir de la H<sub>s12</sub> máxima del registro en aguas profundas.

La mayor altura de ola superada 12 h al año presente en la serie SIMAR&WANA es de 5.4 m, perteneciente a un oleaje de ENE con periodo 12 s. Propagando este oleaje desde aguas profundas mediante el modelo numérico OLUCA del SMC, se obtienen las alturas de ola para el cálculo de la profundidad de cierre a las cotas -6 m y -4 m.

- Profundidad de cierre ( $h^*$ ) para H<sub>s12</sub> (-6m) = 3 m.

$$h_* = 1.75 \cdot 3 - \left( \frac{3^2}{g \cdot 12^2} \right) = 4.9 \text{ m}$$

- Profundidad de cierre ( $h^*$ ) para H<sub>s12</sub> (-4m) = 2 m.

$$h_* = 1.75 \cdot 2 - \left( \frac{2^2}{g \cdot 12^2} \right) = 3.3 \text{ m}$$

A la vista de los resultados se puede afirmar que la profundidad de cierre de diseño es acorde a la dinámica reinante en la zona de proyecto.

Además, como contraste a lo obtenido mediante las formulaciones teóricas, se procede al análisis del comportamiento de perfiles reales de playa.

Como parte de los “Trabajos de topobatimetría en la costa de la provincia de Valencia” realizados por las empresas *Mediterráneo Servicios marinos* y *Metrocuadratotopografía* se levantaron en la playa de Meliana, entre otras del litoral valenciano, 3 perfiles de playa (norte, central y sur) transversales a la costa y equidistados entre sí 500 m, durante diversas campañas de campo efectuadas en noviembre de 2007, mayo y septiembre de 2008, abril y octubre de 2009, y junio de 2010.

El levantamiento de la playa seca, y hasta una profundidad de 1 m para permitir el posterior solape del perfil sumergido, se llevó a cabo mediante el empleo de GPS-RTK calibrado; y los trabajos batimétricos mediante sonda hidrográfica monohaz de doble frecuencia cuya precisión máxima de las lecturas obtenidas, calibrada correctamente la velocidad del sonido, corresponde a 1 cm para la frecuencia de 200 KHz, y a 5 cm para la de 38 KHz, las cuales fueron empleadas conjuntamente.

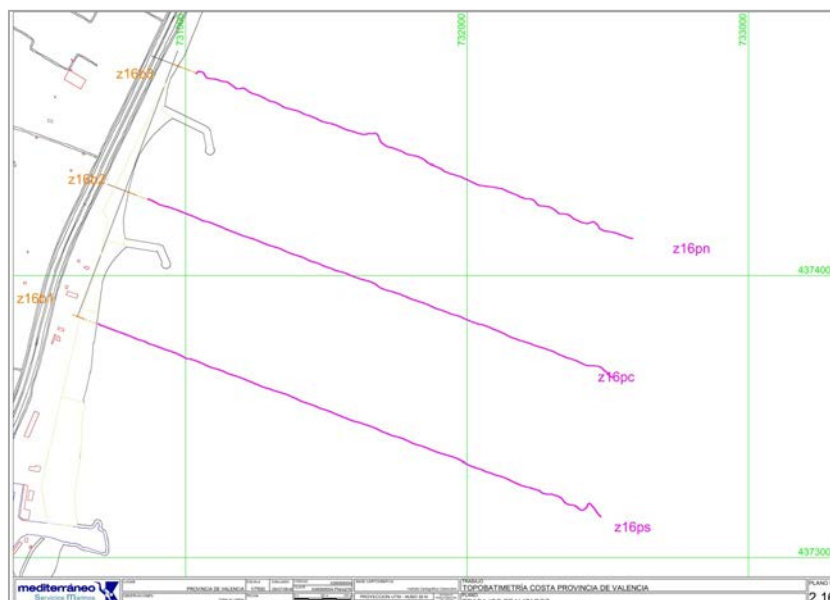


Figura 61 Emplazamiento de los perfiles de playa levantados en la playa de Meliana.

La comparación de perfiles de distintas épocas permite establecer la profundidad a partir de la cual las variaciones verticales del perfil dejan de ser distinguibles de los errores de medida, correspondiente con la profundidad de cierre del perfil, a partir de la representación gráfica de las diferencias de profundidad (h) existentes entre éstos.

En la siguiente figura se observa que las variaciones temporales de los perfiles de la playa de Meliana se estabilizan a la cota -4 m, a partir de la cual se atribuyen las diferencias de h a los errores de medida, lo que permite validar el cálculo teórico.

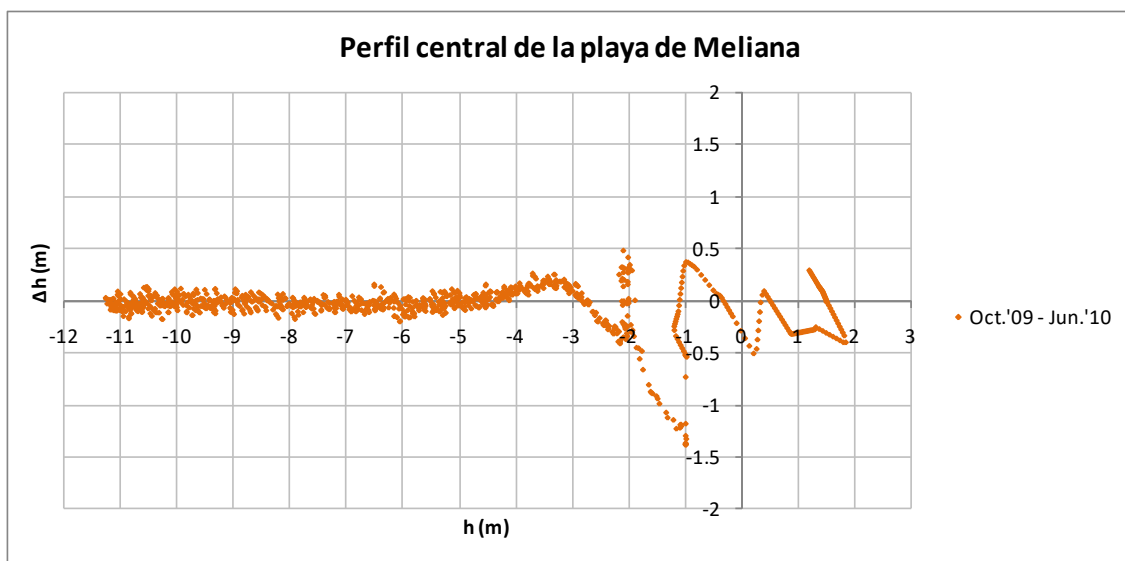


Figura 62 Variación de la profundidad ( $\Delta h$ ) del perfil central de la playa de Meliana entre octubre de '09 y junio de '10.

## 10 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

El Transporte Litoral de sedimentos está compuesto por las componentes normal y paralela del transporte, que reciben los nombres de Transporte Transversal y Transporte Longitudinal, respectivamente.

El principal motor de este transporte litoral es el oleaje y los fenómenos asociados al mismo, que junto al medio físico del entorno (batimetría, contornos laterales, acantilados, etc.) y la fuente principal del sedimento y características morfológicas y granulométricas de éste, definen la morfología de las playas.

A pesar de que el transporte normal a la costa puede mover grandes cantidades de arena, las distancias de transporte son cortas y los sedimentos son recuperables cuando dejan de actuar los oleajes más intensos causantes de su movimiento, siempre y cuando éstos no hayan salido de la unidad fisiográfica.

Es el transporte a lo largo de la costa o transporte longitudinal, el proceso costero más importante en el control de la morfología de las playas, pues es responsable de la migración de sedimentos a grandes distancias de su lugar de origen y determina en gran parte los periodos de erosión, acreción, o estabilización de la costa<sup>3</sup>, siendo su estudio el objeto del presente apartado.

Para el cálculo del transporte longitudinal de sedimentos en la unidad fisiográfica delimitada por los Puertos de Sagunto y Valencia, donde se emplaza la zona objeto de actuación, se emplean tres metodologías diferenciadas: (1) Estudio de la Evolución de la Línea de Costa (ELC), (2) Modelo semi-empírico, basado en la fórmula del CERC calibrada con resultados del ELC y (3) Modelo numérico, basado en el módulo de transporte EROS, del software SMC.

A continuación, se presenta la metodología seguida para la aplicación de los diferentes modelos, sus resultados y unas conclusiones de diagnóstico en base a los citados resultados.

<sup>3</sup> Coastal Engineering Manual (CEM). USACE



## 10.1 ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE MEDIANTE EL ESTUDIO DE ELC

Teniendo en cuenta las actuaciones acometidas en el litoral entre los Puertos de Sagunto y Valencia en el periodo analizado, y a partir de los resultados de variación de superficie por año y metro lineal de costa obtenidos en el estudio de ELC (asemejables al valor medio de erosión o acreción del tramo), se obtienen los volúmenes de material movilizado considerando una altura del perfil de 5,5 m como resultado de sumar a la profundidad de cierre obtenida ( $\approx -4,00$  m) una altura de la berma media de playa de 1,5 m.

| Años      | Variación de Superficie (m <sup>2</sup> /año/m) |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
|-----------|---|---------------------|---------|---------------|-------------|-------------------|-------------------|---------|--------------|------------|
|           | Tramo 1   | Tramo 2             | Tramo 3 | Tramo 4       | Tramo 5     | Tramo 6           | Tramo 7           | Tramo 8 | Tramo 9      | Tramo 10   |
|           | Grau Vell                                       | Marjal de los Moros | Puzol   | El Puig Norte | El Puig Sur | Puebla de Farnals | Defensa escollera | Meliana | Port-Saplaya | Malvarrosa |
| 1965-1972 | 5.4   | 0.2                 | -0.2    | -0.4          | -0.4        | -5.7              | 0.0               | 1.4     | -0.1         | 3.2        |
| 1972-1977 | 6.4   | 1.8                 | -0.5    | 1.5           | 0.1         | -5.6              | 0.0               | -1.2    | 3.1          | 2.7        |
| 1977-1981 | 3.4   | -2.0                | -2.4    | -0.3          | 2.4         | 7.0               | 0.0               | 3.0     | -0.3         | -1.6       |
| 1981-1986 | -5.1  | -0.1                | 2.0     | -1.1          | -1.4        | 4.2               | 0.0               | 0.5     | -1.0         | -1.1       |
| 1986-1992 | 2.6   | -0.4                | -1.1    | -0.5          | 2.6         | 7.1               | 0.0               | -1.2    | 0.6          | 2.2        |
| 1992-1994 | -3.7  | -2.6                | 3.3     | 0.3           | 0.0         | -0.6              | 0.0               | 1.5     | -8.4         | 0.2        |
| 1994-1996 | 1.8   | 0.2                 | -0.6    | 3.1           | -0.4        | 0.1               | 0.0               | 9.0     | -1.7         | -4.1       |
| 1996-1998 | -1.9  | 0.6                 | -2.2    | -1.0          | 1.7         | -1.7              | 0.0               | -2.0    | -2.2         | -1.3       |
| 1998-2007 | 0.2   | -0.8                | 1.3     | 0.3           | 0.1         | -0.1              | 0.0               | -1.4    | -0.4         | 1.8        |
| 2007-2009 | -1.2  | -0.9                | 0.8     | 1.2           | 0.1         | -0.9              | 0.0               | 1.7     | -0.3         | 1.3        |

Tabla 27. Avance/retroceso medio en cada tramo y periodo. (Valores positivos acreción y valores negativos erosión)

| Años      | Volúmenes medidos V <sub>m,i</sub> (m <sup>3</sup> /año) |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
|-----------|--|---------------------|---------|---------------|-------------|-------------------|-------------------|---------|--------------|------------|
|           | Tramo 1  | Tramo 2             | Tramo 3 | Tramo 4       | Tramo 5     | Tramo 6           | Tramo 7           | Tramo 8 | Tramo 9      | Tramo 10   |
|           | Grau Vell  | Marjal de los Moros | Puzol   | El Puig Norte | El Puig Sur | Puebla de Farnals | Defensa escollera | Meliana | Port-Saplaya | Malvarrosa |
| 1965-1972 | 58947  | 2842                | -2371   | -5726         | -2539       | -57924            | -15285            | 13283   | -710         | 75972      |
| 1972-1977 | 80368  | 30121               | -6410   | 23278         | 933         | -58161            | -1562             | -11406  | 17696        | 63638      |
| 1977-1981 | 40635  | -34651              | -27757  | -4348         | 19081       | 75397             | -43639            | 27115   | -1572        | -39314     |
| 1981-1986 | -62024   | -2294               | 36468   | -16140        | -10938      | 44366             | 0                 | 4567    | -5722        | -25729     |
| 1986-1992 | 31254  | -6459               | -12563  | -7024         | 19476       | 78205             | 0                 | -11765  | 3388         | 53127      |
| 1992-1994 | -44765   | -44011              | 37912   | 4694          | 47          | -6798             | 0                 | 14776   | -46893       | 4065       |
| 1994-1996 | 22080  | 3198                | -6944   | 47275         | -2959       | 1158              | 0                 | 87912   | -9246        | -96949     |
| 1996-1998 | -23496   | 9578                | -25281  | -14971        | 13503       | -19201            | 0                 | -19885  | -12070       | -31589     |
| 1998-2007 | 583  | -14310              | 15555   | 4616          | 1097        | -1653             | 0                 | -12900  | -2153        | 43403      |
| 2007-2009 | -3630  | -15760              | 10046   | 18359         | 1084        | -10612            | 0                 | 16310   | -1834        | 32223      |

Tabla 28. Variación de volumen medido por tramo y periodo. (Valores positivos acreción y valores negativos erosión)

Aplicándolo a los datos de la Tabla 28, se ha empleado la siguiente ecuación de balance para determinar el volumen de salida/entrada (transporte) en cada uno de los tramos:

$$V_{S,i} = V_{S,i-1} + V_{1,i}$$

Siendo: V<sub>s,i</sub>=Volumen de salida del tramo i (m<sup>3</sup>/año)

V<sub>1</sub>, condicionado por:

$$\text{Si } \Delta V < 0 \text{ y } V_{m,i} > \Delta V_i \rightarrow V_{1,i} = \Delta V_i + V_{m,i}$$

$$\text{Si } \Delta V > 0 \rightarrow V_{1,i} = -\Delta V_i + V_{m,i}$$

y V<sub>m,i</sub>= Volumen de material medido.

Tomando como hipótesis que el volumen de entrada en el tramo 1 es nulo como consecuencia del efecto barrera total del Puerto de Sagunto, se puede resolver el sistema celda a celda desde el Norte hasta el Sur de la unidad fisiográfica. Como resultado se han obtenido los siguientes valores de

transporte, considerando el transporte en dirección Norte a Sur como positivo (ver Tabla 29).

La Figura 63 explica de forma esquemática las variables que interviene en la formulación de estimación del balance sedimentario en cada celda de estudio:

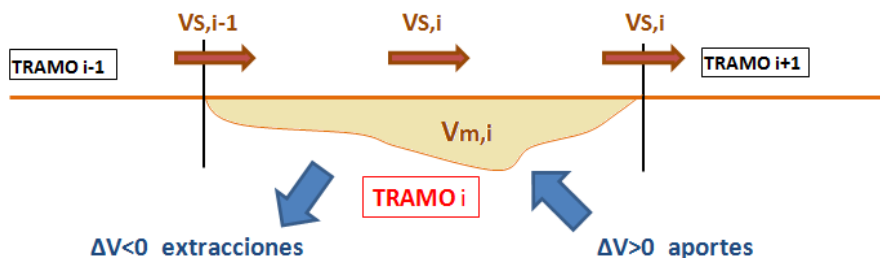


Figura 63 Esquema de cálculo del balance sedimentario en el tramo i

| Años      | Transporte (m <sup>3</sup> /año/m) |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
|-----------|------------------------------------|---------------------|---------|---------------|-------------|-------------------|-------------------|---------|--------------|------------|
|           | Tramo 1                            | Tramo 2             | Tramo 3 | Tramo 4       | Tramo 5     | Tramo 6           | Tramo 7           | Tramo 8 | Tramo 9      | Tramo 10   |
|           | Grau Vell                          | Marjal de los Moros | Puzol   | El Puig Norte | El Puig Sur | Puebla de Farnals | Defensa escollera | Meliana | Port-Saplaya | Malvarrosa |
| 1965-1972 | 7                                  | 4                   | 6       | 7             | 17          | 43                | 33                | 48      | 83           | 4          |
| 1972-1977 | 7                                  | -5                  | -4      | -6            | -12         | 22                | 15                | 32      | 47           | 0          |
| 1977-1981 | 7                                  | 16                  | 37      | 30            | 53          | 25                | 33                | 40      | 67           | 22         |
| 1981-1986 | 28                                 | 21                  | 8       | 16            | 40          | 21                | 14                | 21      | 41           | 12         |
| 1986-1992 | -14                                | -8                  | -6      | -2            | -9          | -19               | -13               | -16     | -28          | -16        |
| 1992-1994 | 20                                 | 29                  | 24      | 18            | 36          | 27                | 20                | 24      | 87           | 19         |
| 1994-1996 | -10                                | -8                  | -9      | -12           | -23         | -16               | -11               | -22     | -30          | 16         |
| 1996-1998 | 11                                 | 4                   | 18      | 19            | 55          | 35                | 25                | 52      | 105          | 31         |
| 1998-2007 | -1                                 | 4                   | 9       | 7             | 15          | 11                | 8                 | 21      | 38           | 3          |
| 2007-2009 | 7                                  | 6                   | 8       | 6             | 11          | 12                | 9                 | 12      | 22           | -2         |

Tabla 29. Transporte por periodo y tramo adimensionalizado (m<sup>3</sup>/año/m).

Al objeto de compensar posibles errores en el método de medida, se han promediado los valores de tasa de transporte por tramos y por actuaciones. De manera que cuando en un tramo se ha realizado una actuación, bien sea de construcción o ampliación de estructuras, o bien sea de aporte de arena, este periodo se considera independiente en el promediado del resto. Así, el balance obtenido es el que se muestra en el siguiente cuadro.

| Años      | Transporte (m3/año/m) |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
|-----------|-----------------------|---------------------|---------|---------------|-------------|-------------------|-------------------|---------|--------------|------------|
|           | Tramo 1               | Tramo 2             | Tramo 3 | Tramo 4       | Tramo 5     | Tramo 6           | Tramo 7           | Tramo 8 | Tramo 9      | Tramo 10   |
|           | Grau Vell             | Marjal de los Moros | Puzol   | El Puig Norte | El Puig Sur | Puebla de Farnals | Defensa escollera | Meliana | Port-Saplaya | Malvarrosa |
| 1965-1972 | 7.0                   | 6.4                 | 9.5     | 7.2           | 16.8        | 42.8              | 26.9              | 47.7    | 82.9         | 11.1       |
| 1972-1977 |                       |                     |         | 8.7           | 14.1        | 22.1              |                   | 32.1    | 47.5         |            |
| 1977-1981 |                       |                     |         |               |             | 11.9              | 7.2               | 9.4     | 37.7         |            |
| 1981-1986 |                       |                     |         |               |             |                   |                   | 15.6    |              |            |
| 1986-1992 |                       |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
| 1992-1994 |                       |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
| 1994-1996 |                       |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
| 1996-1998 |                       |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
| 1998-2007 |                       |                     |         | 2.8           | 8.5         | 27.1              |                   |         |              |            |
| 2007-2009 |                       |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |

Tabla 30. Transporte por tramo y periodo de actuaciones adimensionalizado (m<sup>3</sup>/año/m).

Finalmente, si se considera la longitud de cada tramo en los periodos de tiempo considerados, el resultado de transporte en m<sup>3</sup>/año es el que se muestra en la siguiente tabla.

| Años      | Transporte (m3/año) |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
|-----------|---------------------|---------------------|---------|---------------|-------------|-------------------|-------------------|---------|--------------|------------|
|           | Tramo 1             | Tramo 2             | Tramo 3 | Tramo 4       | Tramo 5     | Tramo 6           | Tramo 7           | Tramo 8 | Tramo 9      | Tramo 10   |
|           | Grau Vell           | Marjal de los Moros | Puzol   | El Puig Norte | El Puig Sur | Puebla de Farnals | Defensa escollera | Meliana | Port-Saplaya | Malvarrosa |
| 1965-1972 | 15110               | 19820               | 21452   | 19136         | 26236       | 78321             | 77371             | 81940   | 82242        |            |
| 1972-1977 |                     |                     |         | 24074         | 19283       | 41624             |                   | 55024   | 48104        |            |
| 1977-1981 |                     |                     |         |               |             | 24042             | 20938             | 16083   | 37961        |            |
| 1981-1986 |                     |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
| 1986-1992 |                     |                     | 38095   |               | 27515       |                   |                   |         |              |            |
| 1992-1994 |                     |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
| 1994-1996 |                     |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
| 1996-1998 |                     |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |
| 1998-2007 |                     |                     |         | 3104          |             |                   |                   |         | 18462        | 15648      |
| 2007-2009 | 537                 |                     |         |               |             |                   |                   |         |              |            |

Tabla 31. Transporte por tramo y periodo de actuaciones (m<sup>3</sup>/año).

A continuación, se presentan los resultados gráficos del transporte promediado por periodos de actuación, con las actuaciones correspondientes indicadas.

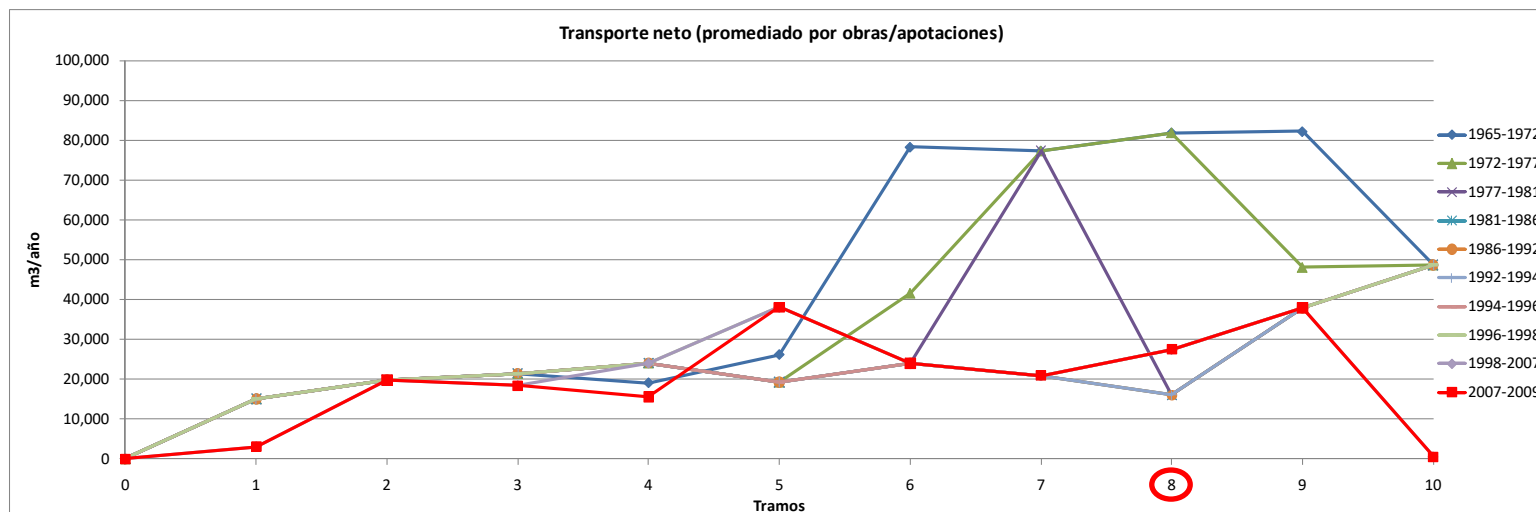


Figura 64 Transporte por tramo y periodo de actuaciones (m³/año).

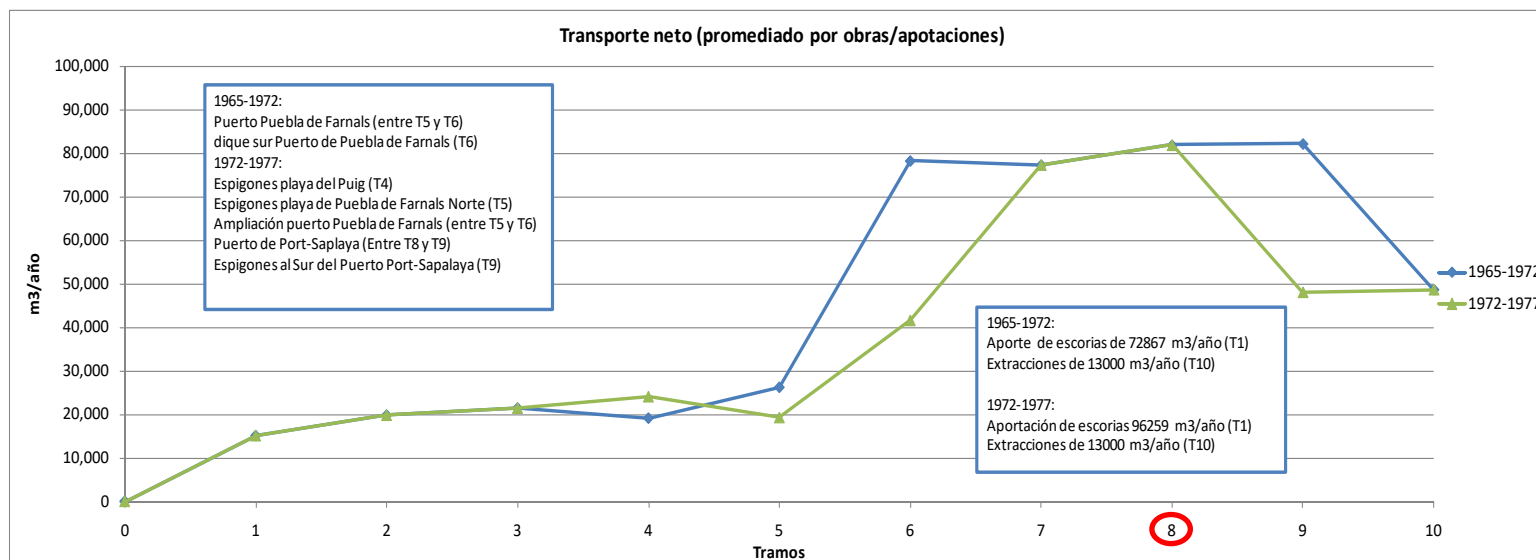


Figura 65 Transporte por tramo y periodo 1965-1977 (m³/año).

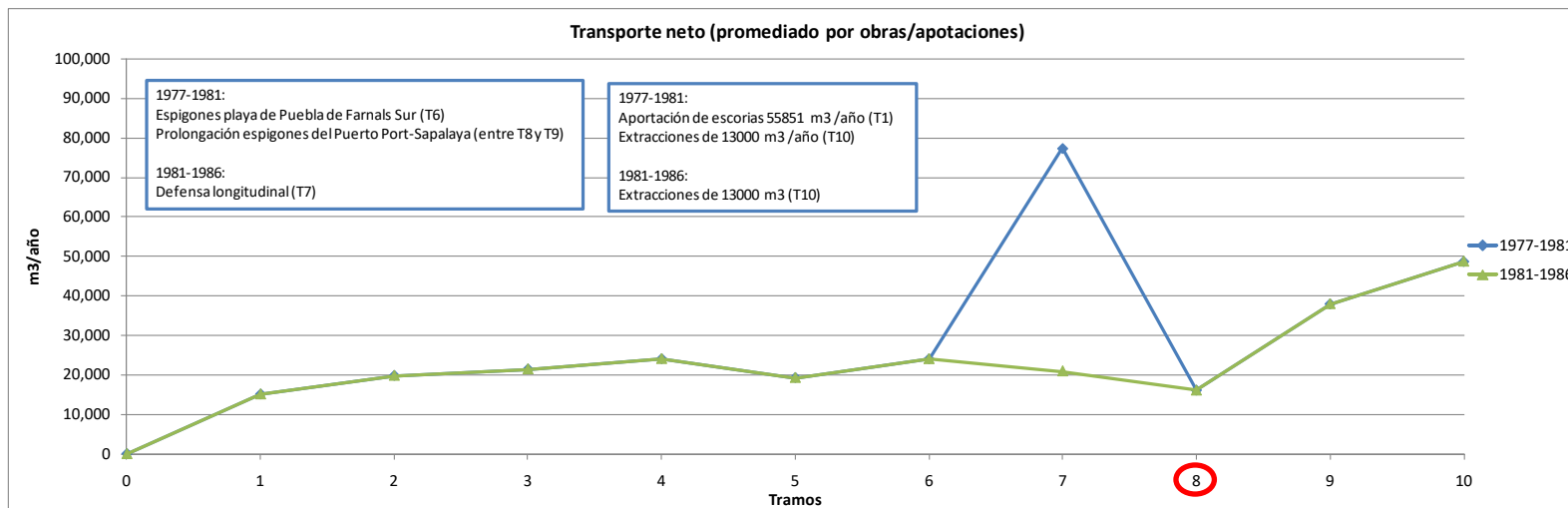


Figura 66 Transporte por tramo y periodo 1977-1986 ( $m^3/año$ ).

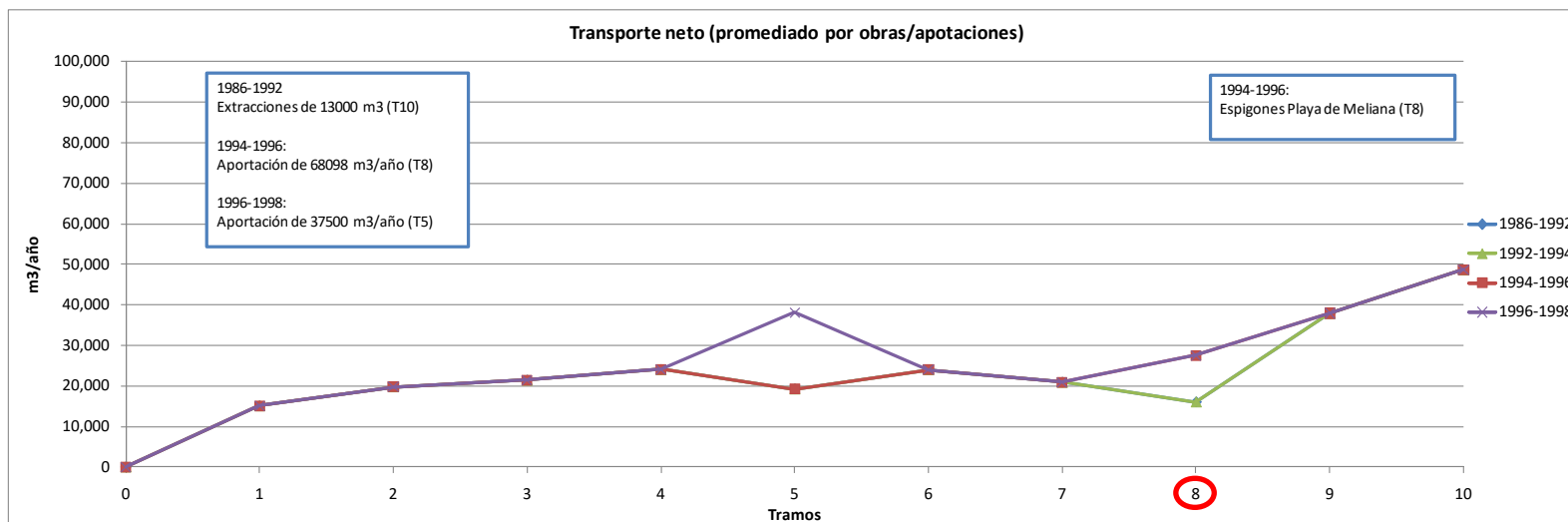


Figura 67 Transporte por tramo y periodo 1986-1998 ( $m^3/año$ ).

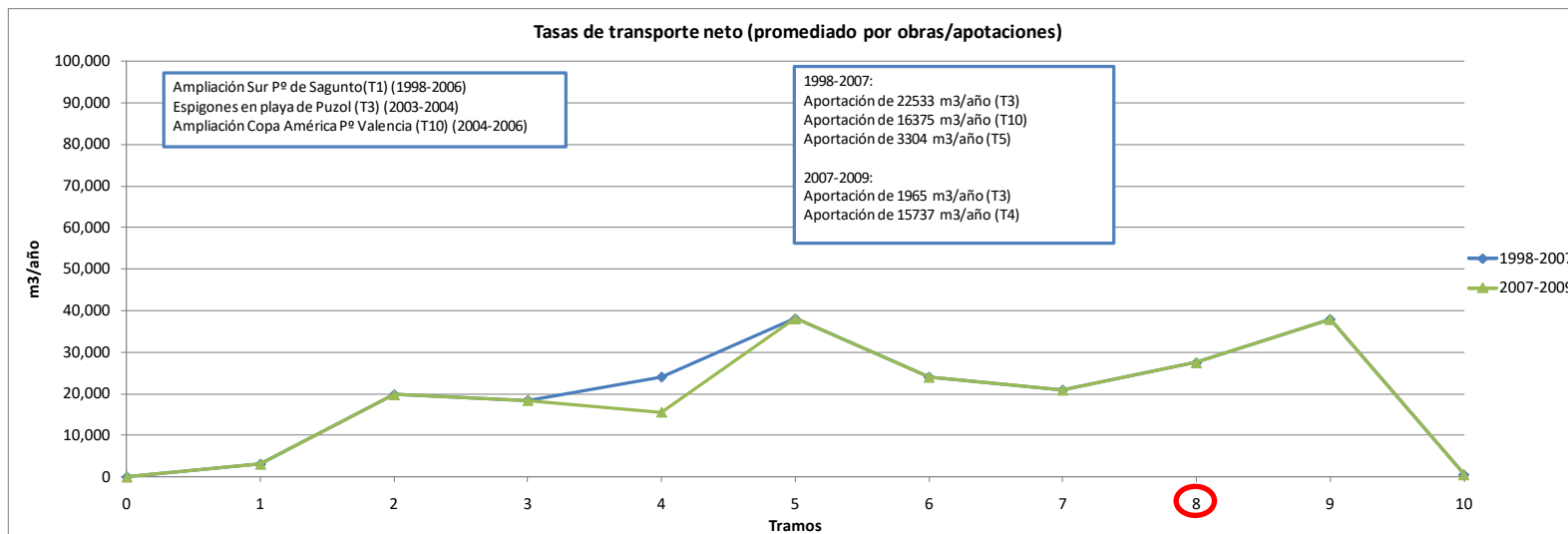


Figura 68 Transporte por tramo periodo 1998-2009 (m³/año).



En cuanto a tasas de transporte por tramos, los resultados muestran un comportamiento similar a lo largo del tiempo para los tramos 1 a 5, a diferencia de los tramos 6 a 10 en los que la tasa ha variado según el periodo de tiempo considerado.

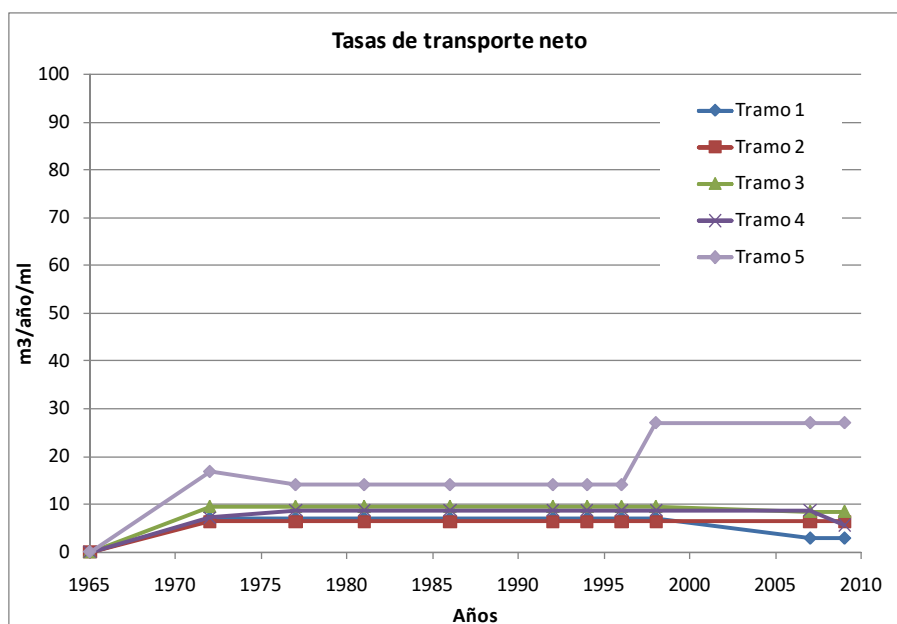


Figura 69 Tasa de transporte por tramos ( $m^3/año/m$ ). Tramos del 1 al 5.

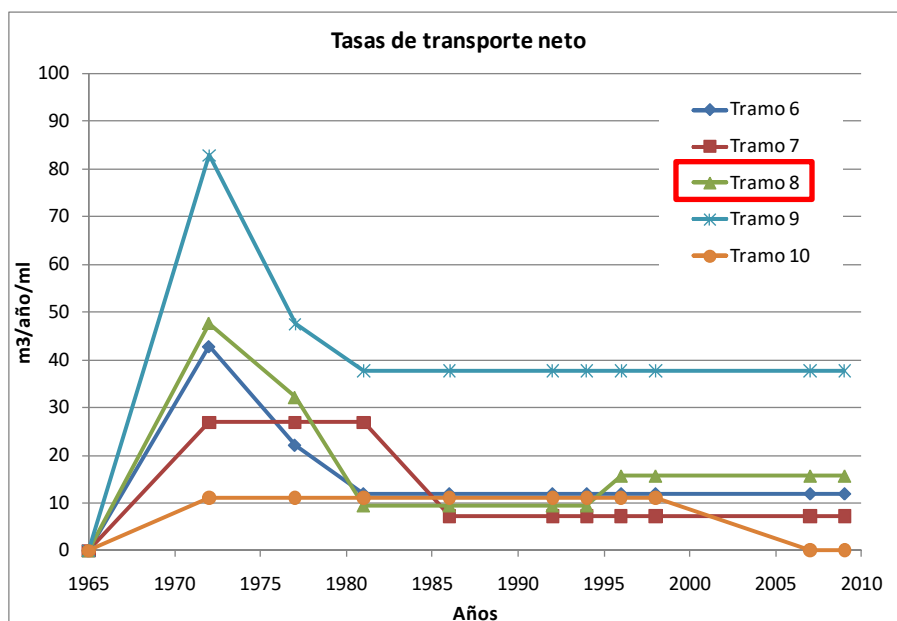


Figura 70 Tasa de transporte por tramos ( $m^3/año/m$ ). Tramos del 6 al 7.

## 10.2 ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE MEDIANTE MODELO SEMI-EMPÍRICO DEL CERC

El objetivo de este apartado es determinar una expresión semiempírica basada en la formulación teórica del CERC (CEM, 2002), calibrada mediante los resultados de volúmenes transportados obtenidos en el estudio de ELC.

La utilidad de la expresión obtenida radica en determinar la variación del potencial del transporte ante posibles variaciones del diámetro de sedimento movilizado, de las condiciones energéticas del oleaje

incidente (por ejemplo tasa de transporte potencial asociado a un episodio de temporal) o bien para el estudio de la variación dichas tasas con la profundidad.

Los periodos temporales considerados para el ajuste de la fórmula son los siguientes:

- 1965-1972: Periodo en el que la situación en la que se encontraba la costa es la más parecida a la que se podría considerar en la actualidad si se eliminasen la mayor parte de las estructuras existentes, a excepción de los puertos y del tramo escollero.
- 2007-2009: Periodo considerado como actual y comparable con los resultados del modelo numérico.

La metodología del CERC está basada en la hipótesis de que el transporte de sedimentos es directamente proporcional a la potencia longitudinal o componente paralela a la costa del flujo de energía en la zona de rompientes, obtenida mediante la expresión:

$$Pl = (E.Cg)_b \cdot \sin(\alpha_b) \cdot \cos(\alpha_b)$$

Donde el término  $(E.Cg)_b$  es el flujo de energía del oleaje evaluado en la zona de rotura y  $\alpha_b$  el ángulo entre la línea de costa y el frente de ondas en la zona de rompientes. De esta manera, el transporte queda determinado una vez establecido, por una parte, el valor escalar y dirección de la energía global anual media, y por otra parte, la orientación de la batimétrica donde se sitúan los nodos de control, mediante la expresión:

$$Ql = \frac{K}{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot (1 - n)} \cdot Pl$$

Siendo K un coeficiente adimensional dependiente del  $D_{50}$  del sedimento, estimado a través de la relación propuesta por *Del Valle, Medina y Losada (1993)*:

$$K = 1.4 \cdot e^{(-2.5 \cdot D_{50})}$$

Se calcula la energía del oleaje y la celeridad de grupo correspondiente, a partir de los resultados de oleaje obtenidos para todo el SIMAR-WANA reconstruido mediante la Técnica del Hipercubo en la cota batimétrica -4,0 m ( $h^*$ ) y en aquellos Nodos representativos de las diferentes orientaciones de la costa.

El ajuste de la fórmula del CERC con los resultados de transporte medidos en el estudio de evolución de la línea de costa es mostrado en las siguientes figuras.

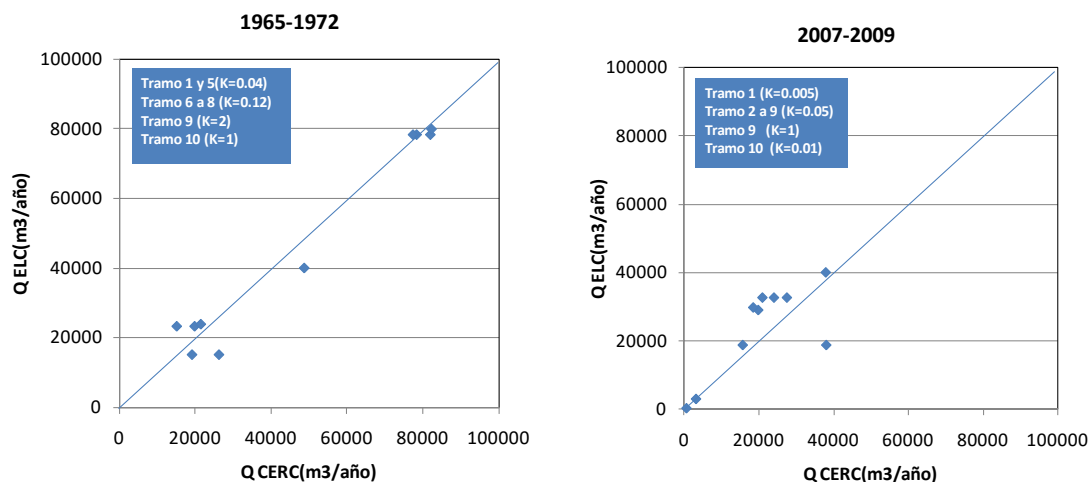


Figura 71 Comparación de  $Q(m^3/año/tramo)$  observados en ELC y estimados con modelo (CERC)

La tabla siguiente muestra los valores del potencial de flujo por tramos y el valor de los coeficientes empíricos de ajuste de cada tramo para los tres periodos de temporales considerados.

|        |           | VS (m3/año)  |              |              |               |               |               |           |          |              |              |
|--------|-----------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-----------|----------|--------------|--------------|
| Modelo | Años      | TRAMO I      |              |              | TRAMO II      |               |               | TRAMO III | TRAMO IV | TRAMO V      |              |
|        |           | Subtramo I.A | Subtramo I.B | Subtramo I.C | Subtramo II.A | Subtramo II.B | Subtramo II.C |           |          | Subtramo V.A | Subtramo V.B |
|        |           | 1            | 2            | 3            | 4             | 5             | 6             | 7         | 8        | 9            | 10           |
|        |           | N1           | N1           | N2           | N3            | N3            | N4            | N4        | N4       | N5           | N5           |
| CERC   | 1965-1972 | 23212        | 23212        | 23811        | 15052         | 15052         | 78346         | 78346     | 78346    | 79959        | 39980        |
|        | k         | 0.040        | 0.040        | 0.040        | 0.040         | 0.040         | 0.120         | 0.120     | 0.120    | 2.000        | 1.000        |
|        | 2007-2009 | 3104         | 29015        | 29763        | 18815         | 18815         | 32644         | 32644     | 32644    | 39980        | 400          |
|        | k         | 0.005        | 0.050        | 0.050        | 0.050         | 0.050         | 0.050         | 0.050     | 0.050    | 1.000        | 0.010        |
|        |           |              |              |              |               |               |               |           |          |              |              |

Tabla 32. Potencial de transporte neto ( $m^3/año/tramo$ ) con fórmula del CERC.

Teniendo en cuenta que el valor del coeficiente K propuesto Del Valle, Medina y Losada (1993), tomaría un valor fijo para todo el tramo de costa de  $K=0,96$  (dependiente del tamaño  $D_{50}=0,15$  mm), se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- El coeficiente K obtenido es significativamente menor para el tramo de costa entre Sagunto y Valencia, en la mayoría de los casos.
- El coeficiente de ajuste K es variable en el tramo, lo que podría ser debido a que existen diferentes tamaños de grano en los diferentes tramos, aunque no explica por sí solo la reducción en el coeficiente con el paso del tiempo.
- Un modelo de estimación global para el tramo de costa objeto de estudio, en función del tiempo y el espacio puede ser implementado para un escenario estable de actuaciones en la costa.

## 10.3 ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE MEDIANTE MODELO NÚMÉRICO (EROS-SMC)

### 10.3.1 Planteamiento y descripción del modelo

Dentro de este apartado se estudia la capacidad potencial que poseen las corrientes generadas por el oleaje para producir transporte de sedimentos. Para ello se ha empleado el módulo EROS del SMC, que valora tanto el sedimento movilizado por fondo como por suspensión, considerando un análisis a inicio de erosión.

**EROS** es un modelo numérico desarrollado por el GIOC de la Universidad de Cantabria, como parte del módulo MOPLA del SMC, 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. Modelo que se alimenta de los resultados de las corrientes de rotura del oleaje simuladas por el modelo COPLA (asimismo integrado en el MOPLA del SMC).

El modelo se caracteriza por disponer de dos modos de simulación diferenciados:

- Modelo de Erosión-Sedimentación Inicial (ESI): el cual evalúa la variación de la batimetría sin considerar la influencia de la variación del fondo en la hidrodinámica, permitiendo así conocer de una manera rápida la tendencia inicial de erosión-sedimentación de una playa sometida a unas determinadas condiciones hidrodinámicas.
- Modelo de Evolución Morfodinámica (MEM): éste tiene en cuenta la interacción entre la variación del fondo y las condiciones hidrodinámicas, y se emplea cuando se desea tener una estima de las variaciones de la batimetría de una playa frente a la acción de un temporal. Su tiempo de simulación es mucho mayor que el requerido para el modelo anterior puesto que se han de recalculr tanto el oleaje como las corrientes.

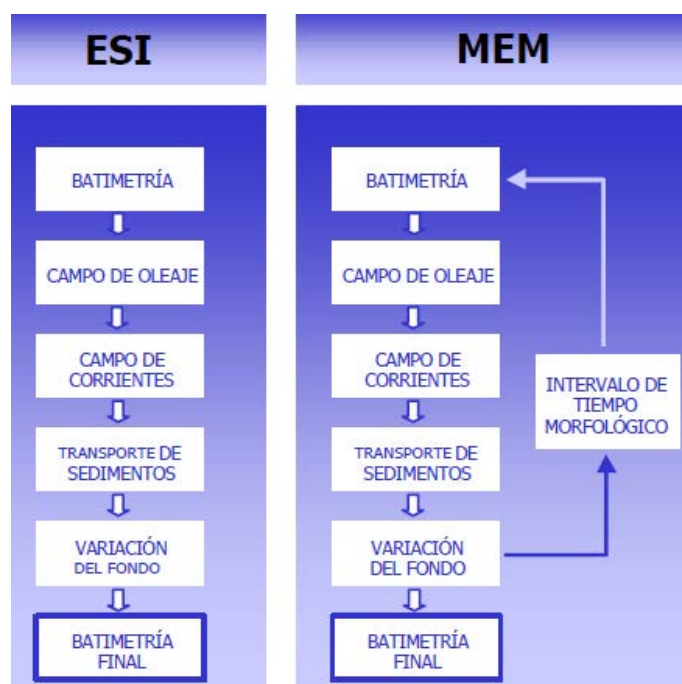


Figura 72 Diagramas de flujo de los modelos ESI y MEM del EROS.

De los dos modelos, el utilizado en este Estudio es el modelo ESI, que toma como datos de partida los siguientes:

- Batimetría inicial
- Datos de salida del oleaje calculados por el modelo Oluca
- Datos de salida del campo de corrientes de rotura calculado por el modelo Copla
- Datos de características del sedimento de la playa

En el modo ESI la ecuación de conservación del sedimento se resuelve aceptando que en el intervalo de duración del evento,  $t_f - t_0$ , las condiciones hidrodinámicas no varían.

El módulo de transporte del modelo determina el transporte de sedimentos con base en el campo de oleaje y en el campo de corrientes mediante dos formulaciones ampliamente contrastadas en el estado del arte que computan el transporte total, suma del transporte en suspensión y del transporte por fondo: Bailard (1981) y Soulsby – van Rijn (1997).

La fórmula derivada por Bailard (1981) puede escribirse como la suma de cuatro términos:

$$\vec{q}_t = \vec{q}_{b0} - \vec{q}_{bs} + \vec{q}_{s0} - \vec{q}_{ss}$$

con:

$$\begin{aligned} \vec{q}_{b0} &= \frac{C_f \varepsilon_B}{g(s-1) \tan \phi} < |\vec{u}|^2 \vec{u} > & \vec{q}_{bs} &= \frac{C_f \varepsilon_B \tan \beta}{g(s-1) \tan^2 \phi} < |\vec{u}|^3 > \vec{i} \\ \vec{q}_{s0} &= \frac{C_f \varepsilon_s}{g(s-1) w_s} < |\vec{u}|^3 \vec{u} > & \vec{q}_{ss} &= \frac{C_f \varepsilon_s^2 \tan \beta}{g(s-1) w_s^2} < |\vec{u}|^5 > \vec{i} \end{aligned}$$

donde:

g: aceleración de la gravedad (m<sup>2</sup>/s)

s =  $\rho_s/\rho_w$ : densidad relativa

$\rho_s$ : densidad del sedimento (ton/m<sup>3</sup>)

$\rho_w$ : densidad del agua (ton/m<sup>3</sup>)

$C_f$ : coeficiente de fricción, tal que  $\vec{\tau} = \rho C_f |\vec{u}| \vec{u}$

$\vec{\tau}$ : tensión tangencial en el fondo (Nw/m<sup>2</sup>)

$\vec{u}$ : velocidad en el fondo debida a la acción conjunta de ola-corriente (m/s)

$\phi$ : ángulo de rozamiento interno del sedimento (°)

$\tan \beta$ : pendiente del lecho (-)

$\vec{i}$ : vector unitario en la dirección pendiente arriba (-)

$w_s$ : velocidad de caída de grano (m/s)

$\varepsilon_B$ : factor de eficiencia del transporte por fondo (=0.1)

$\varepsilon_s$ : factor de eficiencia del transporte en suspensión (=0.02)

$<_>$ : promedio temporal

$|_ |$ : valor absoluto

Los términos representan:

$\vec{q}_t$ : transporte total por fondo y suspensión ( $q_x, q_y$ )

$\vec{q}_{b0}$ : transporte por fondo sobre lecho plano

$\vec{q}_{bs}$ : transporte por fondo debido al efecto de la pendiente

$\vec{q}_{s0}$ : transporte en suspensión sobre lecho plano

$\vec{q}_{ss}$ : transporte en suspensión debido al efecto de la pendiente

Soulsby (1997) deduce una expresión analítica experimental que aproxima de manera bastante aproximada la formulación para ola-corriente de van Rijn (1993), esta fórmula evalúa tanto el transporte por fondo como por suspensión sobre fondo horizontal.

$$q_t = A_s \bar{U} \left[ \left( \bar{U}^2 + \frac{0.018}{C_D} U_{rms}^2 \right)^{1/2} - \bar{U}_{cr} \right]^{2.4}$$

donde:

$q_t$ : transporte total ( $q_x, q_y$ )

$A_s = A_{sb} + A_{ss}$ : sección de descarga donde:

$$A_{sb} = \frac{0.005h(D_{50}/h)^{1.2}}{[(s-1)gD_{50}]^{1.2}} \quad A_{ss} = \frac{0.012D_{50}D_*^{-0.6}}{[(s-1)gD_{50}]^{1.2}}$$

$\bar{U}$ : velocidad promediada en vertical ( $\bar{u}$ ,  $\bar{v}$ )

$U_{rms}$ : velocidad orbital cuadrática media,  $U_{rms} = (u_{orb,x}, v_{orb,y})_{rms}$

$C_D = \left[ \frac{0.40}{\ln(h/z_0 - 1)} \right]^2$ : coeficiente de fricción debido a corriente

$\bar{U}_{cr}$ : velocidad crítica de inicio de movimiento (asumiendo la rugosidad efectiva  $K_s = 3D_{90}$ ,  $D_{90} = 2D_{50}$ )

$h$ : profundidad

$D_{50}$ : diámetro medio del sedimento

$D_{90}$ : diámetro que es superado por un 10% en peso

$z_0$ : rugosidad del fondo ( $\approx 0.006$  m)

$s$ : densidad relativa

$g$ : aceleración de la gravedad

$\nu$ : viscosidad cinemática del agua ( $\nu = 2 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s)

$D_* = D_{50} \left[ \frac{g(s-1)}{\nu^2} \right]^{1/3}$ : parámetro de movilidad de grano

Para la aplicación del modelo al caso de estudio, se ha propagado el oleaje correspondiente a una altura de ola y dirección equivalente al flujo medio de transporte. El período de pico asignado es el que corresponde del ajuste entre alturas de ola y períodos de toda la serie de oleaje SIMAR-WANA propagada hasta la costa.

La dirección del flujo medio de energía se obtiene como la dirección del vector resultado de la suma vectorial de vectores de magnitud  $H_i^2 \cdot C_{gi}$  y su correspondiente dirección  $\bar{u}_i$  en los nodos ubicados en el contorno de las mallas de detalle para la serie completa de oleaje SIMAR&WANA obtenida con la metodología del hipercubo. A partir de dicho vector de flujo medio, se puede calcular la altura de ola equivalente que daría lugar a un vector de la misma magnitud como suma de vectores  $H_{eq}^2 \cdot C_{gi} \cdot \bar{u}$ .

El periodo a propagar para en los casos de corrientes se calcula a partir del ajuste de una curva del tipo  $T_p = a \cdot H_s^b$  en cada uno de los cinco puntos en los contornos de las mallas de detalle.

En cuanto al tamaño del sedimento, el modelo EROS tiene en cuenta tanto el valor de  $D_{50}$  como el valor  $D_{90}$ , siendo estos los diámetros del tamiz que dejan pasar el 50% y el 90% del sedimento, respectivamente. Estos valores, obtenidos a partir de los resultados del análisis de sedimentos es  $D_{50} = 0,15$  mm y  $D_{90} = 0,20$  mm, como representativo del sedimento que se moviliza en todo el tramo de estudio.

Finalmente, el resultado de volumen por año se obtiene de promediar el dato dado por el modelo en cada punto del tramo, teniendo en cuenta la dirección de movimiento del sedimento en cada uno de los puntos, por lo que se obtiene un valor de transporte neto en m<sup>3</sup> por año y metro lineal, que multiplicado por la longitud de cada tramo, resulta el potencial de transporte del tramo por año  $Q$  (m<sup>3</sup>/año/tramo).

### 10.3.2 Resultados de transporte

La siguiente tabla muestra los casos propagados y los resultados obtenidos para cada uno de ellos.



| Tramos estudio | H <sub>s</sub> (m) | T <sub>p</sub> (s) | Dirección (º, ref. Norte) | h (m) |
|----------------|--------------------|--------------------|---------------------------|-------|
| 1 y 2          | 0,6                | 6                  | 89                        | 14    |
| 3              | 0,58               | 6,03               | 90,8                      | 10    |
| 4 y 5          | 0,58               | 6,03               | 89,8                      | 10    |
| 6, 7 y 8       | 0,54               | 5,87               | 93                        | 12    |
| 9 y 10         | 0,56               | 6                  | 88,2                      | 10    |

Tabla 33. Casos de oleaje equivalentes al flujo medio de energía

El siguiente gráficos representa la direccionalidad e intensidad de las corrientes y del transporte potencial resultado del análisis a inicio de erosión para el área costera donde se emplaza la costa de Port Saplaya objeto de actuación, que abarca los tramos 6, 7 y 8 de la unidad fisiográfica Puerto de Sagunto – Puerto de Valencia.

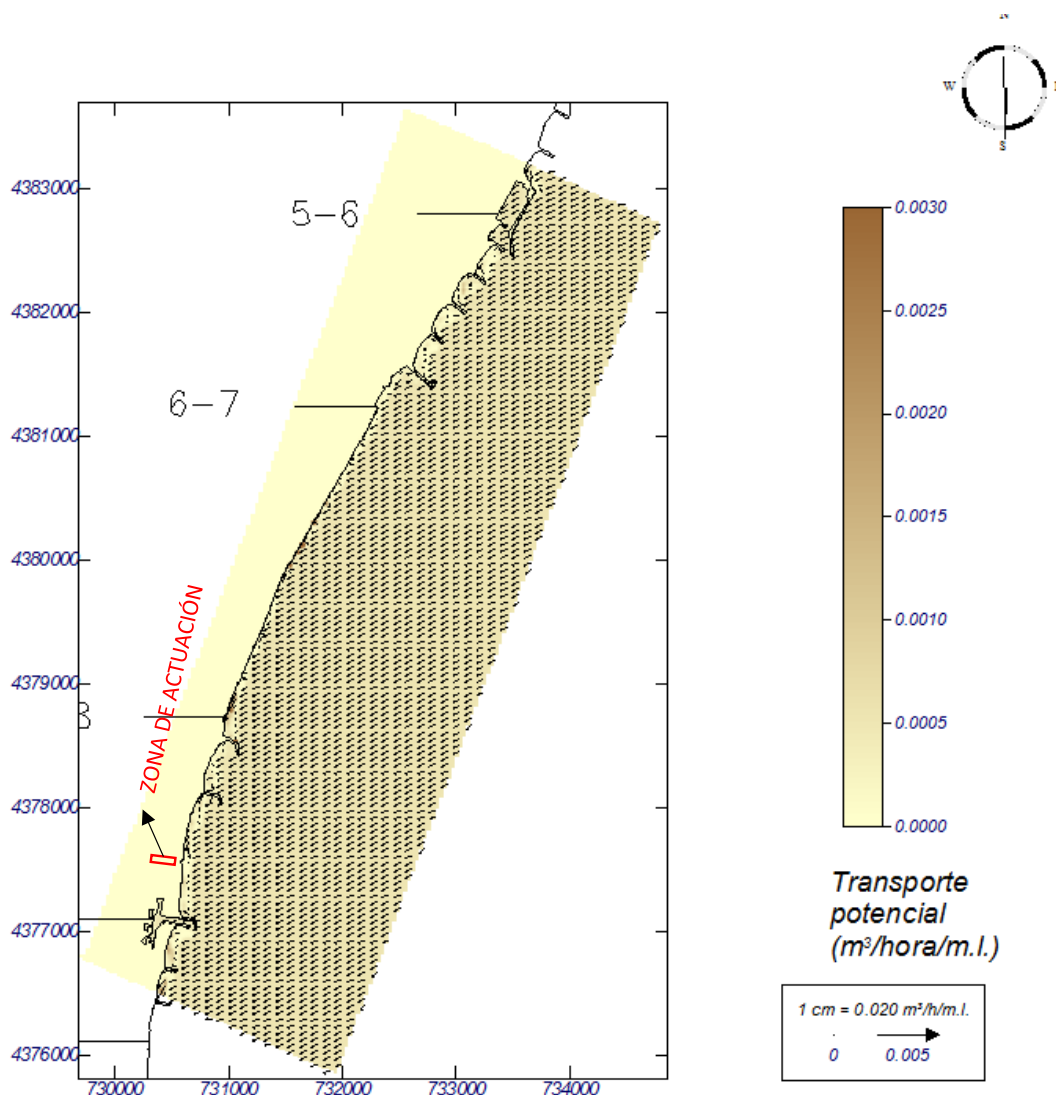


Figura 73 Transporte potencial de inicio de erosión oleaje para Tramos 6, 7 y 8

De los 3 tramos considerados en esta área, uno de ellos (Tramo 7) es el tramo escollera en el que la profundidad en las proximidades de la línea de orilla es mayor que otros tramos y por lo tanto, el modelo da resultados bajos de potencial de transporte. También se ve afectado por la presencia del Puerto de la Poba de Farnals en el Tramo 6.

Como resultado de todo ello, el transporte potencial de inicio de erosión obtenido para cada tramo es de 18.610 m<sup>3</sup>/año para el Tramo 6, 26.218 m<sup>3</sup>/año para el Tramo 7 y 15.794 m<sup>3</sup>/año para el Tramo 8, considerando una longitud del Tramo 6 de 2.055 m, de 2.895 m para el Tramo 7 y de 1.744 m para el Tramo 8.

A modo de resumen de resultados, los valores de transporte en dirección Norte-Sur y en situación de la batimetría de ECOLEVANTE (año 2006) empleada para la modelización del terreno, se representan en la siguiente tabla para cada tramo entre los Puertos de Sagunto y Valencia (límites de la unidad fisiográfica).

| Modelo | Años | VS (m <sup>3</sup> /año) |              |              |               |               |               |           |          |              |              |
|--------|------|--------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-----------|----------|--------------|--------------|
|        |      | TRAMO I                  |              |              | TRAMO II      |               |               | TRAMO III | TRAMO IV | TRAMO V      |              |
|        |      | Subtramo I.A             | Subtramo I.B | Subtramo I.C | Subtramo II.A | Subtramo II.B | Subtramo II.C | 7         | 8        | Subtramo V.A | Subtramo V.B |
|        |      | 1                        | 2            | 3            | 4             | 5             | 6             | 7         | 8        | 9            | 10           |
|        |      | N1                       | N1           | N2           | N3            | N3            | N4            | N4        | N4       | N5           | N5           |
| EROS   | 2006 | 9,163                    | 52,816       | 20,477       | 12,843        | 6,144         | 18,610        | 26,218    | 15,794   | 3195         | 13,804       |

Tabla 34. Potencial de transporte neto (m<sup>3</sup>/año/tramo) con Modelo EROS para estado actual.

## 10.4 RESUMEN DE RESULTADOS

Como resumen de resultados obtenidos de los modelos se puede deducir que por una parte el modelo numérico explica razonablemente bien la situación actual observada en el estudio de ELC y que el modelo semi-empírico podría ser utilizado como modelo de estimación global para explicar el comportamiento evolutivo de la unidad fisiográfica, en función del tiempo y el espacio puede ser implementado para un escenario estable de actuaciones en la costa.

Finalmente, se presenta en la siguiente tabla el resultado de las tres metodologías estudiadas para la estimación del transporte.

| Modelo | Años      | VS (m <sup>3</sup> /año) |              |              |               |               |               |           |          |              |              |
|--------|-----------|--------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-----------|----------|--------------|--------------|
|        |           | TRAMO I                  |              |              | TRAMO II      |               |               | TRAMO III | TRAMO IV | TRAMO V      |              |
|        |           | Subtramo I.A             | Subtramo I.B | Subtramo I.C | Subtramo II.A | Subtramo II.B | Subtramo II.C | 7         | 8        | Subtramo V.A | Subtramo V.B |
|        |           | 1                        | 2            | 3            | 4             | 5             | 6             | 7         | 8        | 9            | 10           |
|        |           | N1                       | N1           | N2           | N3            | N3            | N4            | N4        | N4       | N5           | N5           |
| CERC   | 1965-1972 | 23212                    | 23212        | 23811        | 15052         | 15052         | 78346         | 78346     | 78346    | 79959        | 39980        |
|        | k         | 0,040                    | 0,040        | 0,040        | 0,040         | 0,040         | 0,120         | 0,120     | 0,120    | 2,000        | 1,000        |
|        | 2007-2009 | 3104                     | 29015        | 29763        | 18815         | 18815         | 32644         | 32644     | 32644    | 39980        | 400          |
|        | k         | 0,005                    | 0,005        | 0,005        | 0,005         | 0,005         | 0,005         | 0,005     | 0,005    | 1,000        | 0,000        |
| ELC    | 1965-1972 | 15,110                   | 19,820       | 21,452       | 19,136        | 26,236        | 78,321        | 77,371    | 81,940   | 82,242       | 48,703       |
|        | 1972-1998 | 15,110                   | 19,820       | 21,452       | 23,457        | 22,503        | 33,024        | 42,100    | 35,405   | 44,764       | 48,703       |
|        | 2007-2009 | 3,104                    | 19,820       | 18,462       | 15,648        | 38,095        | 24,042        | 20,938    | 27,515   | 37,961       | 537          |
| EROS   | 2006      | 9,163                    | 52,816       | 20,477       | 12,843        | 6,144         | 18,610        | 26,218    | 15,794   | 3195         | 13,804       |

Tabla 35. Potencial de transporte neto (m<sup>3</sup>/año/tramo) (positivo en dirección Norte Sur)

Considerando el periodo actual, la comparativa de ajuste entre ambos métodos (CERC y ELC) respecto del resultado obtenido con el modelo numérico EROS, es el que se muestra en la siguiente figura.

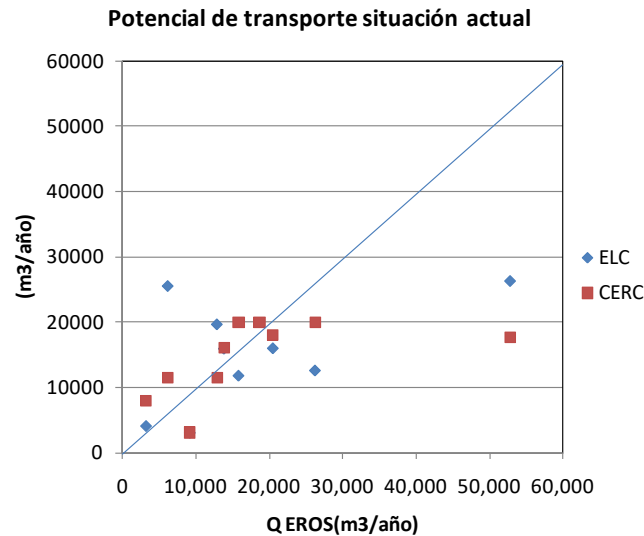


Figura 74 Comparación de resultados de potencial de transporte neto respecto modelo numérico

## 11 ANÁLISIS A LARGO PLAZO DE LA PLAYA: CONDICIONES DE EQUILIBRIO

### 11.1 FORMA EN PLANTA DE PLAYA

Se entiende por forma en planta de equilibrio la forma que va a tender a adoptar la playa en respuesta a la acción de las dinámicas actuantes en la zona, asumiendo que éstas se mantienen constantes en el tiempo. En el caso de playas encajadas, se considera que el transporte neto de sedimentos en la unidad es nulo, y este equilibrio recibe el nombre de “equilibrio estático”.

De los modelos existentes en la bibliografía para la definición de la forma en planta de equilibrio de las playas, es el de parábolas de Hsu y Evans (1989) el que mejor permite el ajuste de la forma en planta de las playas (véase Figura 75).

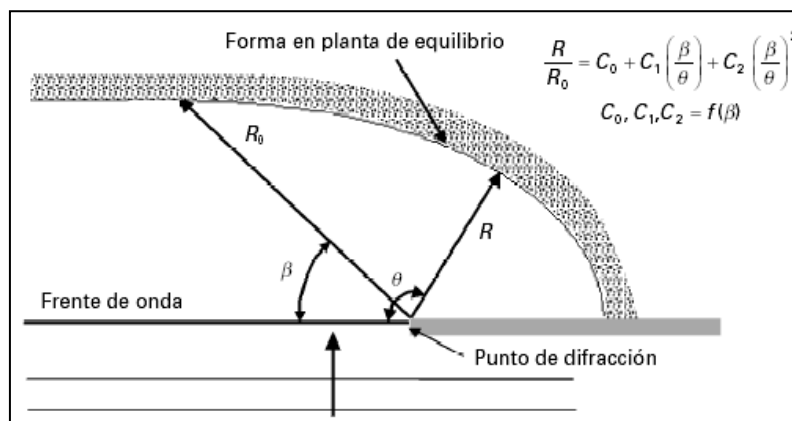


Figura 75 Esquema de la forma en planta de una playa en equilibrio (Hsu&Evans, 1989)

A partir de esta formulación, González y Medina en 2001 desarrollaron una metodología que permite la predicción y el diseño de la forma en planta de playas encajadas contenida en el SMC dentro de la herramienta de playa de equilibrio.

Mediante el empleo de dicha herramienta, y la siguiente información obtenida del estudio entre los Puertos de Sagunto y Valencia, se obtiene la forma en planta de equilibrio de la playa objeto de

actuación mostrada en la Figura 76:

- Dirección del Flujo Medio de Energía en la zona:  $\Theta_{FME} = S77^\circ E$
- Periodo del oleaje asociado a la  $H_{s12}$ :  $T = 9,8$  s
- Profundidad al pie de las estructuras que actúan como polos de difracción del oleaje:  $h_d = 3$  m

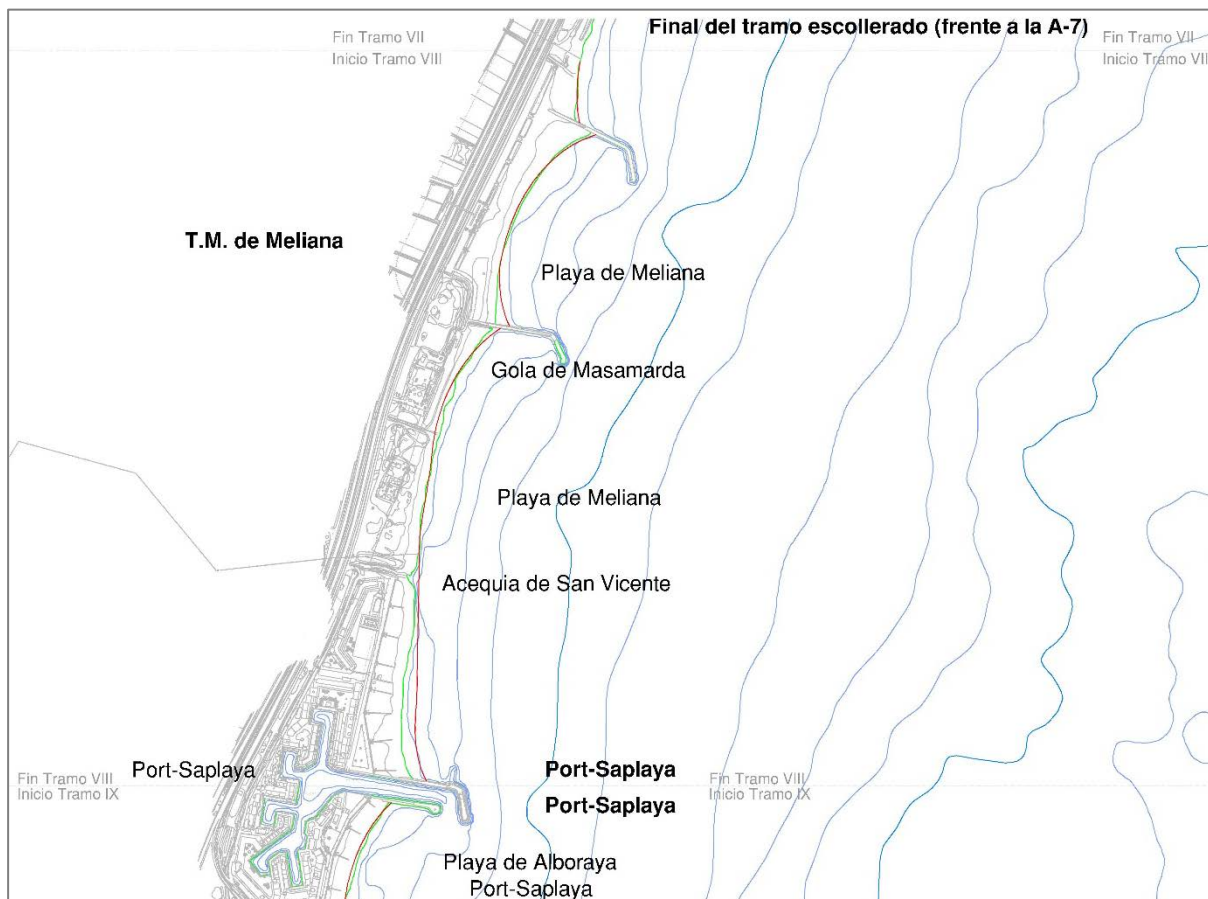


Figura 76 Forma en planta de equilibrio de las playas.

## 11.2 PERFIL DE EQUILIBRIO DE PLAYA

Se denomina perfil de equilibrio al perfil final que presenta una playa con un tamaño de grano determinado, expuesta a unas condiciones constantes de oleaje, en el que el balance de fuerzas en cada uno de sus puntos es tal que el transporte neto es nulo, por lo que el perfil no experimenta ningún cambio neto con el tiempo (Larson, 1991).

A lo largo del tiempo, han sido propuestos distintos modelos para la determinación del perfil de equilibrio, siendo el más empleado en la actualidad, y por tanto el utilizado en el presente estudio, el desarrollado por Dean en 1977 a partir de la formulación del perfil de equilibrio de Brunn (1954). Dean ajusta el perfil de una playa a través de una expresión potencial donde la única variable es el parámetro dimensional de forma A, que Dean (1987) definió como una función de la velocidad de caída de grano, la cual se conoce con el nombre de expresión parabólica y es consistente con la hipótesis de que la disipación de energía por unidad de volumen en la zona de rompientes es constante:

$$h = Ax^{2/3} \quad A = Kw_s^{0.44}$$

Donde:

- h: profundidad del agua
- x: distancia desde la costa
- A: parámetro de forma
- $w_s$ : velocidad de caída de grano
- K: constante adimensional,  $K = 0.51$

De manera aproximada, y para arenas de densidad  $\rho_s = 2.65 \text{ tn/m}^3$ , la velocidad de caída de grano puede obtenerse a partir del tamaño de grano (D) como:

- $w_s(m/s) = 1.1 \cdot 10^6 D^2(m)$   $D < 0.1 \text{ mm}$
- $w_s(m/s) = 273 D^{1.1}(m)$   $0.1 < D < 1 \text{ mm}$
- $w_s(m/s) = 4.36 D^{0.5}(m)$   $D > 1 \text{ mm}$

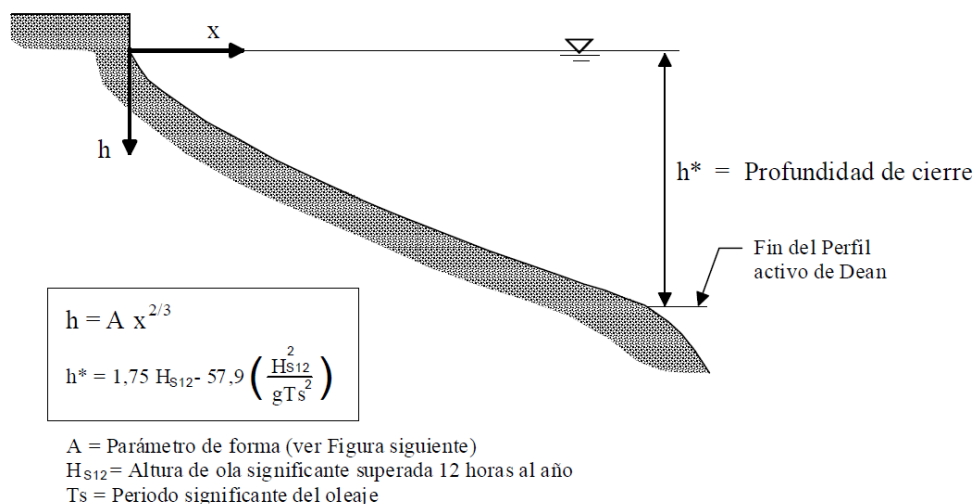


Figura 77 Modelo parabólico de perfil de equilibrio, Dean (1977).

La siguiente tabla incluye los parámetros del perfil teórico de Dean (1977) ajustado a los perfiles actuales de la playa en estudio (batimetría de ECOLEVANTE).

| TRAMO | K    | A     | w          | D50 (m) |
|-------|------|-------|------------|---------|
| 8     | 0.68 | 0.117 | 0.01822614 | 0.00016 |

Tabla 36. Parámetros de ajuste de los perfiles teóricos a la batimetría del terreno

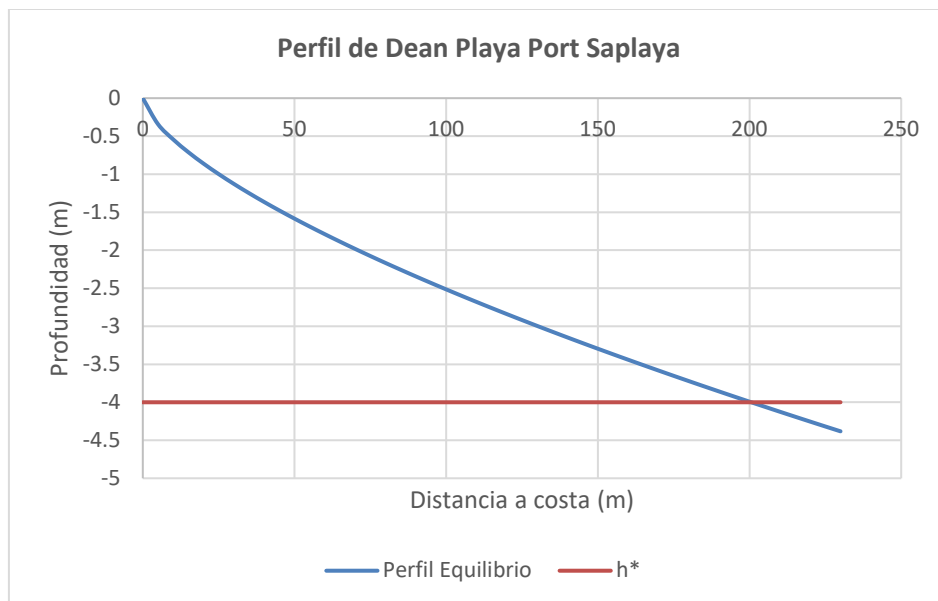


Figura 78 Perfil de equilibrio de la playa de Port Saplaya.

Valencia, 8 de junio de 2022.

**Autores:**

Marta Velasco Carrau  
Licenciada en Ciencias del Mar  
Máster GIZC – IH Cantabria

Joaquín Garrido Checa  
Dr. Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos