

ESTUDIO BÁSICO DE DINÁMICA LITORAL DE LA ACTUACIÓN DE “ACONDICIONAMIENTO DEL CORDÓN DUNAR EXISTENTE Y MEJORA DE ACCESOS SOBRE LA PLAYA DE PEIXETS (T.M. ALBORAYA, VALENCIA)”



Marzo de 2024

ÍNDICE

1	OBJETO	1
2	MARCO NORMATIVO Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS.....	1
3	DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA	3
4	ACTUACIONES PARA LAS QUE SE EMITE EL ESTUDIO	3
5	CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ACTUACIÓN Y SU UNIDAD FISIAGRÁFICA	4
	5.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO Y MORFODINÁMICO	4
	5.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	7
	5.3 LITOLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA	11
	5.4 TOPO-BATIMETRÍA.....	14
6	EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA (ELC).....	16
	6.1 ACTUACIONES EN LA COSTA	16
	6.2 ESTUDIO CUANTITATIVO DE EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA	18
	6.2.1 Material y métodos.....	18
	6.2.2 Resultados.....	21
	6.2.3 Conclusiones	22
7	CLIMA MARÍTIMO Y PROPAGACIÓN DEL OLEAJE.....	24
	7.1 OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS.....	24
	7.1.1 Fuentes de datos y su calibración	24
	7.1.2 Distribución sectorial del oleaje.....	25
	7.1.3 Régimen Medio Escalar.....	27
	7.1.4 Caracterización Extremal del oleaje en aguas profundas	29
	7.2 NIVEL DEL MAR	38
	7.2.1 Fuente de datos	38
	7.2.2 Caracterización	40
	7.2.3 Régimen medio de nivel del mar	41
	7.2.4 Régimen extremal del nivel del mar	43
	7.2.5 Ascenso del nivel medio del mar por cambio climático.....	45
	7.3 PROPAGACIÓN DEL OLEAJE	48
	7.3.1 Introducción.....	48
	7.3.2 Metodología.....	49
	7.4 OLEAJE EN LA COSTA.....	54
	7.4.1 Selección del punto objetivo en la costa	54
	7.4.2 Reconstrucción del clima marítimo en la costa	55
8	FLUJO MEDIO DE ENERGÍA.....	59
	8.1 FME A -5 m DE PROFUNDIDAD	60

8.2FME EN LA BATIMÉTRICA -2 m.....	60
9 PROFUNDIDAD DE CIERRE.....	62
10 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	65
10.1 ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE MEDIANTE EL ESTUDIO DE ELC.....	65
10.2 ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE MEDIANTE MODELO SEMI-EMPÍRICO DEL CERC	73
10.3 ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE MEDIANTE MODELO NÚMERICO (EROS-SMC)	74
10.3.1 Planteamiento y descripción del modelo	74
10.3.2 Resultados de transporte.....	78
10.4 RESUMEN DE RESULTADOS	80
11 ANÁLISIS A LARGO PLAZO DE LA PLAYA: CONDICIONES DE EQUILIBRIO	81
11.1 PERFIL DE EQUILIBRIO DE PLAYA	81
11.1.1 Perfil de Dean.....	81
11.1.2 Retroceso del perfil de playa por cambio climático.....	82
11.2 FORMA EN PLANTA DE PLAYA	84
12 COTA DE INUNDACIÓN.....	85
13 DINÁMICAS RESULTANTES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	87
14 RESUMEN Y CONCLUSIONES	87

Anexo 1. Planos de Evolución de la Línea de Costa

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Deslinde del DPMT de la zona objeto de actuación. Fuente: Visor DPMT del MITECO.	2
Figura 2 Zona objeto de actuación.....	3
Figura 3 Unidad fisiográfica del Golfo de Valencia.	5
Figura 4 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. ..	6
Figura 5 Sectorización del tramo costero donde se ubica la zona objeto de actuación.....	8
Figura 6 Vestigios del cordón dunar.....	9
Figura 7 Vista aérea de la playa del Peixets. Nota: norte a la derecha.	10
Figura 8 Campos de cultivo en el interior de la playa dels Peixets.	10
Figura 9 Edificaciones de primera línea de playa en la playa dels Peixets.....	10
Figura 10 Topografía de la zona objeto de actuación. Fuente: Colevante.	11
Figura 11 Extracto del Mapa Geológico de España a escala 1/50.000 MAGNA, de las Hojas 696	

y 722. Fuente: IGME.....	12
Figura 12 Tamaño medio de grano (D_{50} en mm) obtenido en el perfil muestreado de la Playa dels Peixets. Fuente: ECOLEVANTE.	13
Figura 13 Muestras de sedimentos en la playa de Alboraya. Fuente: ECOLEVANTE.....	13
Figura 14 Detalle de la topo-batimetría de la zona en estudio.....	14
Figura 15 Topo-batimetría de la Playa dels Peixets. Fuente: Ecolevante.	15
Figura 16 Fotografías aérea de 1956 de: borde litoral Puerto de Sagunto-Puerto de Valencia (izq.) y playa dels Peixets en Alboraya (der.) Fuente: Visor Institut Cartografic Valencià (ICV) de la GVA.	16
Figura 17 Ortofotos de evolución de la costa en la playa de Alboraya. Año 1956 (izq.), 1981 (cen.) y 2022 (der.)	18
Figura 18 Tramo V: subtramos identificados y transectos analizados.....	21
Figura 19 Evolución de la línea de costa desde 1956 a 2009 en el Transecto V.2.	22
Figura 20 Localización de las distintas fuentes del Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado	24
Figura 21 Proceso de calibración de los datos simulados SIMAR y WANA.....	24
Figura 22 Series de H_s y T_p de SIMAR y WANA calibradas y unificadas en aguas profundas (1958-2011).	25
Figura 23 Rosa de oleaje y estadísticos básicos de H_s de la serie SIMAR y WANA calibrada correspondiente al nodo 2046036 (1958-2011)	26
Figura 24 Histograma y función de distribución de la variable H_s de la serie SIMAR y WANA 2046036 calibrada (1958-2011)	26
Figura 25 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)	27
Figura 26 Histograma y función de distribución de T_p	27
Figura 27 Ajuste de la variable H_s mediante distribución Lognormal	28
Figura 28 Régimen medio escalar anual de H_s	28
Figura 29 Ajuste de extremos de H_s mediante la función de distribución de Gumbel.....	29
Figura 30 Ajuste de extremos de H_s mediante la función de distribución GEV.....	30
Figura 31 Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciópnes N (izq.) y NNE (dcha.).....	31
Figura 32 Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones ENE (izq.) y E (dcha.)	32
Figura 33 Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones ESE (izq.) y SE (dcha.)	32
Figura 34 Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones SSE (izq.) y S (dcha.)	32

Figura 35	Ajuste de extremos distribución de GEV. Dirección SSW.....	33
Figura 36	IRE y vida útil mínima en función del tipo de obra para áreas litorales.....	34
Figura 37	ISA y probabilidad conjunta de fallo en función del tipo de obra para áreas litorales	35
Figura 38	Esquema de construcción de la serie histórica con los periodos de registro de cada uno de los mareógrafos. Fuente: Puertos del Estado.	38
Figura 39	Ubicación del mareógrafo Valencia 3 con respecto a la zona en estudio. Fuente: Puertos del Estado.....	39
Figura 40	Esquema del datum del Mareógrafo Valencia 3. Cotas en metros. Fuente: Puertos del Estado.....	39
Figura 41	Series de marea meteorológica (MM), marea astronómica (MA) y nivel del mar (NM) del mareógrafo de Valencia.	40
Figura 42	Esquema de datums para los niveles del registro.....	41
Figura 43	Series de Niveles Altos (sup.) y Niveles Bajos de las aguas respecto del NMM en el Puerto de Valencia.	41
Figura 44	Régimen medio de los Niveles Altos de las aguas (Niv.A, cm).	42
Figura 45	Régimen medio de los Niveles Bajos de las aguas (Niv.B, cm).....	42
Figura 46	Régimen extremal de los Niveles Altos de las aguas.....	44
Figura 47	Régimen extremal de los Niveles Bajos de las aguas.	44
Figura 48	Cambio del nivel medio del mar a escala mundial. El sombreado con símbolos de almohadilla refleja un nivel de confianza bajo en las proyecciones del nivel del mar posteriores al año 2100, y las barras en el año 2300 reflejan conclusiones de expertos sobre el rango de posible cambio del nivel del mar. Fuente: Extracto de la Figura RRP.1 del SROCC del IPCC, 2019.	46
Figura 49	Evolución del nivel medio del mar anual observada en el Puerto de Valencia a través de los datos del mareógrafo. Datos respecto el Cero REDMAR o Cero del Puerto. .	46
Figura 50	Proyección de aumento del nivel medio del mar del Visor C3E para la zona en estudio a un periodo horizonte de 2081-2100 bajo el escenario de emisiones RCP8.5 más desfavorable. Basado en el Informe AR5 del IPCC.	47
Figura 51	Proyecciones de ascenso del nivel del mar (m) en el Mediterráneo para los escenarios de emisiones: RCP 4.5 (sup.) y RCP 8.5 (inf.). Fuente: Atlas Interactivo del WGI-IPCC-AR6 (https://interactive-atlas.ipcc.ch).	48
Figura 52	Carta náutica nº47 del Instituto Hidrográfico de la Marina.....	50
Figura 53	Carta náutica nº48 del Instituto Hidrográfico de la Marina.....	51
Figura 54	Carta náutica nº481 del Instituto Hidrográfico de la Marina.....	51

Figura 55	Diagrama de dispersión Hs-Tp donde se muestran los estados de mar escogidos para la propagación.....	52
Figura 56	Grupo de mallas encadenadas.	53
Figura 57	Malla de detalle de la familia de mallas seleccionada.	54
Figura 58	Localización del nodo objetivo en la costa.....	55
Figura 59	Rosas de Hs (izq.) y Tp (dcha.) del oleaje en la costa.	55
Figura 60	Régimen medio escalar del oleaje en la costa.	56
Figura 61	Régimen medio direccional del oleaje en la costa. Dirección E (izq.) y ESE (der.).....	56
Figura 62	Relación Hs-Tp del oleaje en la costa objeto de estudio.....	57
Figura 63	Régimen extremal del oleaje en la costa.	58
Figura 64	Régimen extremal direccional del oleaje en la costa. Direcciones E (izq.) y ESE (dcha.)	59
Figura 65	Dirección del FME a -5 m de profundidad frente a la costa en estudio.....	60
Figura 66	Planta de equilibrio discretizada a partir del FME a -2 m de profundidad.	61
Figura 67	Emplazamiento de los perfiles de playa levantados en la playa de la Malvarrosa...	64
Figura 68	Variación de la profundidad (Δh) del perfil central de la playa de la Malvarrosa entre octubre de '09 y junio de '10.....	64
Figura 69	Esquema de cálculo del balance sedimentario en el tramo i.....	67
Figura 70	Transporte por tramo y periodo de actuaciones ($m^3/año$).	69
Figura 71	Transporte por tramo y periodo 1965-1977 ($m^3/año$).	69
Figura 72	Transporte por tramo y periodo 1977-1986 ($m^3/año$).	70
Figura 73	Transporte por tramo y periodo 1986-1998 ($m^3/año$).	70
Figura 74	Transporte por tramo periodo 1998-2009 ($m^3/año$).	71
Figura 75	Tasa de transporte por tramos ($m^3/año/m$). Tramos del 1 al 5.	72
Figura 76	Tasa de transporte por tramos ($m^3/año/m$). Tramos del 6 al 10.	72
Figura 77	Comparación de $Q(m^3/año/tramo)$ observados en ELC y estimados con modelo (CERC).....	74
Figura 78	Diagramas de flujo de los modelos ESI y MEM del EROS.	75
Figura 79	Transporte potencial de inicio de erosión oleaje para Tramos 9 y 10.	79
Figura 80	Comparación de resultados de potencial de transporte neto respecto modelo numérico	80
Figura 81	Modelo parabólico de perfil de equilibrio, Dean (1977).....	82

Figura 82	Perfil de equilibrio de la playa dels Peixets.....	82
Figura 83	Diagrama de cálculo del retroceso en playas por efecto de un ascenso del NMM ..	83
Figura 84	Forma en planta del sector norte del tramo 10, Playa dels Peixets y Playa de la Patacona.....	84
Figura 85	Giro en la dirección del flujo medio de energía del oleaje previsto para el periodo 2081-2100 bajo el escenario RCP8.5 de emisiones. Fuente: visor C3E, IH Cantabria...	85
Figura 86	Componentes para el cálculo de la Cota de Inundación.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación y sucesión de depósitos del Cuaternario en función de su naturaleza y cronología. IGME	7
Tabla 2.	Tamaño medio de grano de los sedimentos de la playa dels Peixets (Alboraya).	12
Tabla 3.	Registro de aportaciones de material de relleno a playas en zonas adyacentes.....	17
Tabla 4.	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.....	20
Tabla 5.	Variaciones sufridas en la línea de costa de 1956 a 2009 en el subtramo V.B.	22
Tabla 6.	Tasas de erosión/acreción por ml de tramo	23
Tabla 7.	Contraste de los valores de oleaje medio SIMAR&WANA VS Boya Valencia 1617...	29
Tabla 8.	Comparativa de oleaje extremal SIMAR&WANA VS Boya Valencia 1617. Ajuste Gumbel de máximos.....	31
Tabla 9.	Comparativa de oleaje extremal SIMAR&WANA VS Boya Valencia 1617. Ajuste función de extremos GEV	31
Tabla 10.	Periodos de retorno para los distintos tramos de obra en áreas litorales.....	35
Tabla 11.	Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno $T_R=68$ años.....	36
Tabla 12.	Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno $T_R=143$ años.....	36
Tabla 13.	Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno $T_R=238$ años.....	36
Tabla 14.	Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno $T_R=689$ años.....	37
Tabla 15.	Alturas de ola escalares en régimen extremal asociadas a los distintos periodos de retorno de diseño	37
Tabla 16.	Oleaje extremal (H_s , T_p) asociado al periodo de retorno $T_R=68$ años (izda.) y $T_R=143$ años (dcha.)	37
Tabla 17.	Oleaje extremal (H_s , T_p) asociado al periodo de retorno $T_R=238$ años (izda.) y $T_R=689$ años (dcha.)	38
Tabla 18.	Niveles del mar en régimen medio en el Puerto de Valencia.	43
Tabla 19.	Niveles del mar en régimen extremal en el Puerto de Valencia.	44

Tabla 20.	Incrementos del nivel del mar por cambio climático proyectados en el visor C3E para la zona de actuación.....	47
Tabla 21.	Incrementos del nivel del mar por cambio climático a año horizonte 2073 desde la actualidad proyectados por el Atlas Interactivo del IPCC (AR6).	48
Tabla 22.	Casos de altura de ola y periodos propagados en cada una de las direcciones de procedencia del oleaje: NE, ENE, E, ESE y SE.....	52
Tabla 23.	Coordenadas del nodo objetivo en la costa.....	54
Tabla 24.	Tabla de estadísticos básicos de altura de ola significativa del oleaje en la costa objeto de estudio.	57
Tabla 25.	Estados de mar en RE en la costa de la Playa de Alboraya para los distintos periodos de retorno considerados.	59
Tabla 26.	Dirección FME en los nodos de control, orientación de la costa y ángulo relativo entre ambos	60
Tabla 27.	Profundidad de cierre en el tramo de actuación.	62
Tabla 28.	Avance/retroceso medio en cada tramo y periodo. (Valores positivos acreción y valores negativos erosión).	66
Tabla 29.	Variación de volumen medido por tramo y período. (Valores positivos acreción y valores negativos erosión).	66
Tabla 30.	Transporte por periodo y tramo adimensionalizado ($m^3/año/m$).....	67
Tabla 31.	Transporte por tramo y periodo de actuaciones adimensionalizado ($m^3/año/m$)...	67
Tabla 32.	Transporte por tramo y periodo de actuaciones ($m^3/año$).....	68
Tabla 33.	Potencial de transporte neto ($m^3/año/tramo$) con fórmula del CERC.....	74
Tabla 34.	Casos de oleaje equivalentes al flujo medio de energía	78
Tabla 35.	Potencial de transporte neto ($m^3/año/tramo$) con Modelo EROS para estado actual.	80
Tabla 36.	Potencial de transporte neto ($m^3/año/tramo$) (positivo en dirección Norte Sur)	80
Tabla 37.	Parámetros de ajuste de los perfiles teóricos a la batimetría del terreno	82
Tabla 1.	Parámetros del perfil de playa regenerada.....	83
Tabla 2.	Cálculo del futuro retroceso de la playa a causa del ΔNMM por cambio climático.	83
Tabla 3.	Cota de inundación para el diseño de cordones dunares.....	86

1 OBJETO

El presente estudio se emite como parte del Proyecto de “Acondicionamiento del cordón dunar existente y mejora de accesos sobre la playa de Peixets, Alboraya (València)” que busca revalorizar el entorno de la ermita del Miracle dels Peixets (o ermita dels Peixets), entre el Barranc del Carraixet (al norte) y la playa de la Patacona (al sur), en deterioro desde hace décadas por su aislamiento del resto de la fachada litoral y un uso indebido del lugar.

Con la actuación proyectada se pretende:

- ❖ Mejorar el estado de los recursos naturales del destino y el refuerzo de su atractivo complementario.
- ❖ Revitalizar el espacio natural degradado.
- ❖ Contribuir positivamente al medio ambiente y a la conservación de los valores intrínsecos del territorio.
- ❖ Reducir el impacto del cambio climático.
- ❖ Lograr mayor equilibrio entre la naturaleza y el turismo.

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).

En este sentido, la siguiente imagen obtenida del Visor de Dominio Público Marítimo-Terrestre (DPMT) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, muestra la disposición de las líneas de dominio (verde) y servidumbre de protección (magenta) de la zona objeto de actuación, corroborando la necesidad de acometer el presente estudio.

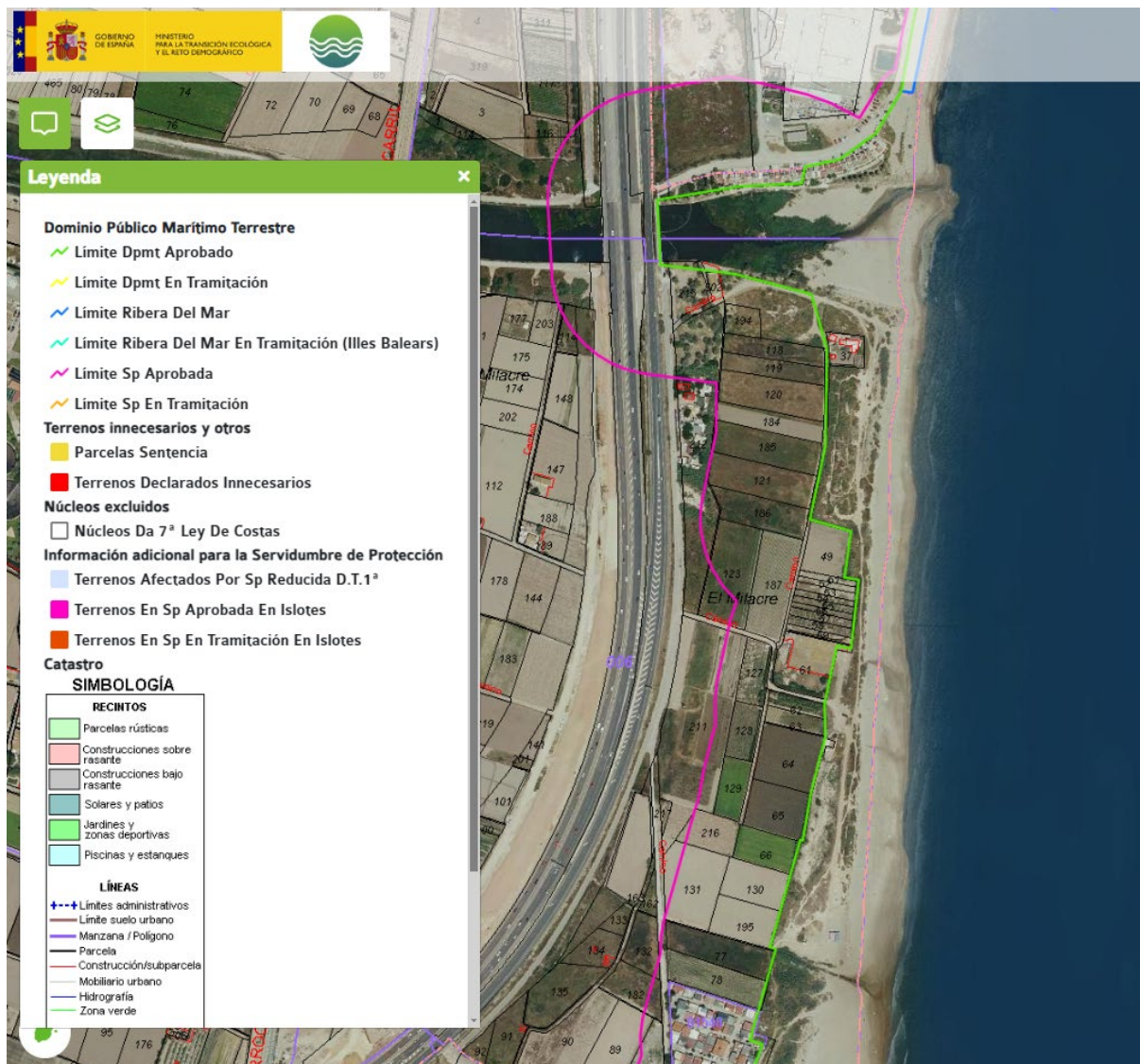


Figura 1 Deslinde del DPMT de la zona objeto de actuación. Fuente: Visor DPMT del MITECO.

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:

- Estudio de la capacidad de transporte litoral.*
- Balance sedimentario y evolución de la línea de costa, tanto anterior como previsible.*
- Clima marítimo, incluyendo estadísticas de oleaje y temporales direccionales y escalares.*
- Dinámicas resultantes de los efectos del cambio climático.*
- Batimetría hasta zonas del fondo que no resulten modificadas, y forma de equilibrio, en planta y perfil, del tramo de costas afectado.*
- Naturaleza geológica de los fondos.*
- 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.*
- 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.

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 ESTUDIO

La actuación propuesta se localiza sobre la playa dels Peixets, termino municipal de Alboraya, provincia de Valencia.

El área planteada para la actuación tiene unos 300 m de longitud, una anchura de aproximadamente 15 m. Esta ubicada al Este del municipio de Alboraya, y al Norte de la ciudad de Valencia, concretamente entre la “Gola del Barranc de Carraixet” y la playa de la Patacona.



Figura 2 Zona objeto de actuación.

El cordón dunar de esta playa se halla fuertemente degradado, por lo que se pretende renaturalizar la morfología de las dunas, mediante:

- Reperfilado de los taludes de relleno existentes, los cuales poseen fuertes pendientes.
- Creación de edificios dunares que se consolidarán gracias a la protección mediante al menos 3

líneas de captadores pasivos de arena formado por mimbre de 1,80 m de altura localizados paralelamente a la línea de costa y la plantación de especies vegetales autóctonas, en alveolo forestal, con una densidad de al menos 2,5 ud/m².

- Instalación de pasarelas peatonales formadas por tablas de madera maciza de pino de 2,00 m de ancho, canalizando el paso entre ambos lados de los cordones dunares.
- Montaje de cerramiento blando consistente en postes de madera de pino tratada unidos entre sí mediante cuerda de poliamida, que delimitarán las zonas de acceso a la playa, protegiendo así el sistema dunar.
- Instalación de señalización de información y aviso que sensibilice a los ciudadanos de la importancia paisajística y ecológica del espacio y de su necesaria conservación en cuanto a la conservación de su biodiversidad y preservación medioambiental.

5 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ACTUACIÓN Y SU UNIDAD FISIOGRÁFICA

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, entre las salidas al mar del Barranco del Carraixet y la acequia del Mar, en la playa conocida como dels Peixets o playa de Alboraya.

Este Golfo, también conocido como Óvalo Valenciano, entre el Delta del Ebro (al N) y el Cabo de San Antonio (al S), véase Figura 3, constituye una unidad fisiográfica global de 1^{er} 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.

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.

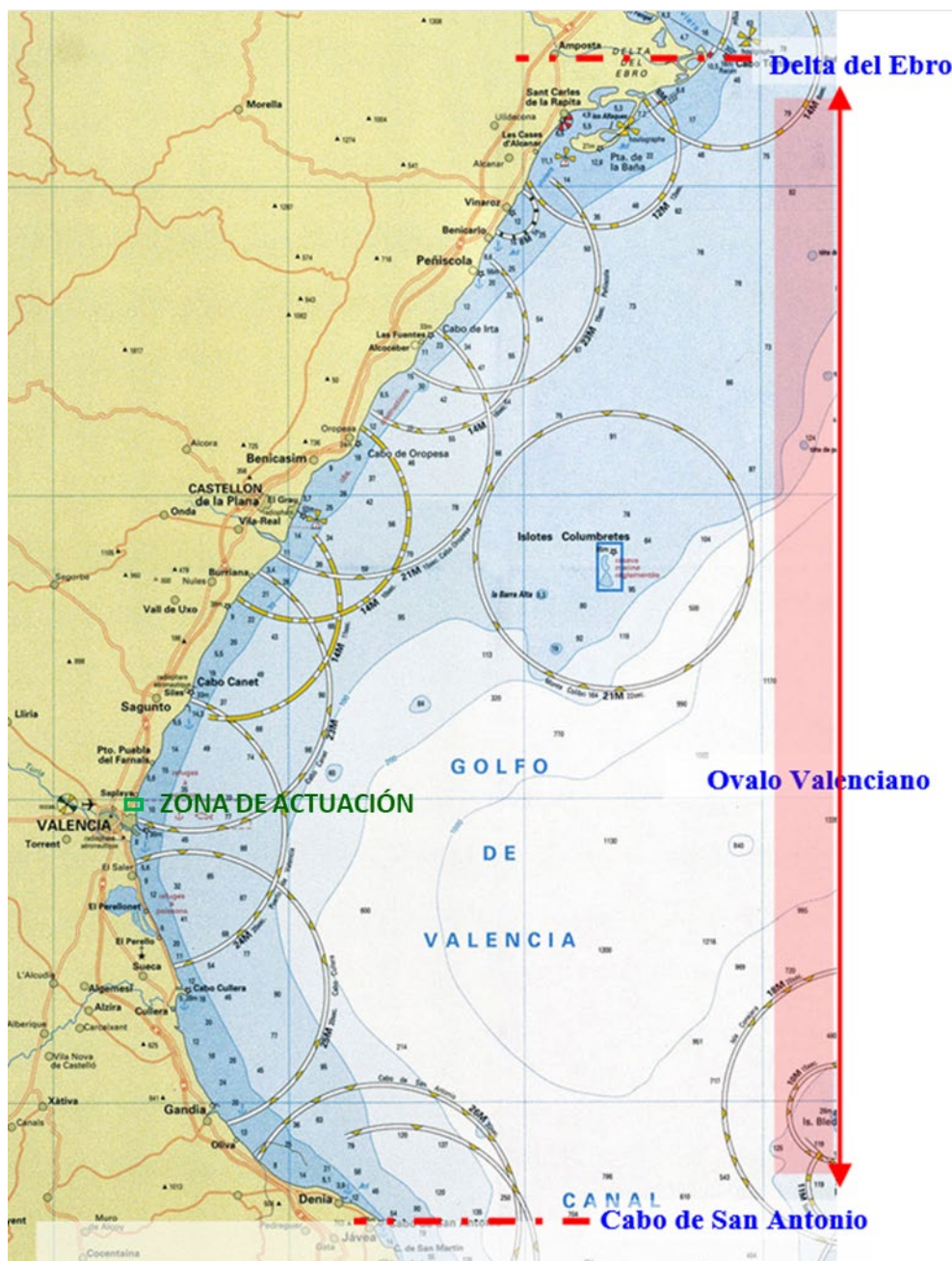


Figura 3 Unidad fisiográfica del Golfo de Valencia.

Así, el borde marítimo dels Peixets 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 hemitímbolo 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, la playa dels Peixets o de Alboraya queda enmarcada en el subtramo 10 (ver Figura 4), con una orientación N-S, cuyos límites son: el barranc del Carraixet (al N) y el Puerto de Valencia (al S).

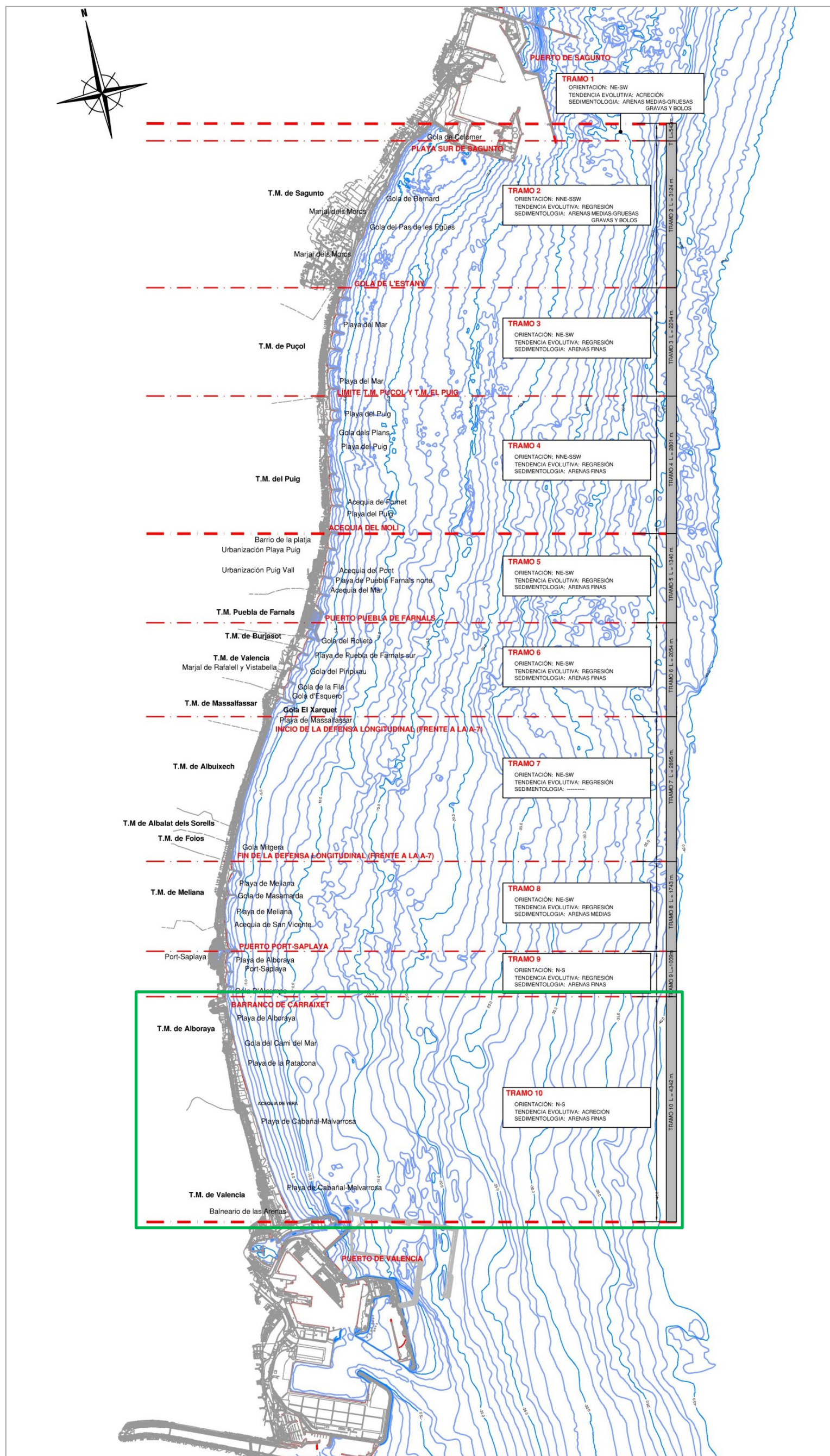


Figura 4 Zonificación de la subunidad fiográfica entre el Puerto de Sagunto y el Puerto de Valencia donde se resalta el tramo al que pertenece la zona objeto de actuación.

5.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Valencia se halla situada al pie de los rellenos del sistema ibérico, en una extensa depresión costera. La llanura litoral valenciana está constituida por depósitos cuaternarios.

El Cuaternario es la formación más extensa de la zona y constituye la llanura litoral valenciana, extendiéndose prácticamente hasta la cota 100 y rellenando el Neógeno deprimido hasta profundidades de 200 m. Estos materiales se han depositado a costa de las aportaciones de los ríos Turia, Júcar y su afluente el Magro, y la serie de barrancos que, con dirección E-W, vierten sus sedimentos en la llanura litoral.

En el Plioceno el litoral estuvo retranqueado respecto al actual. Durante el Pleistoceno, en los períodos pluviales, tuvo lugar un proceso recesivo en el que se produce la sedimentación de los materiales de glaciares, pie de monte y terrazas fluviales. El mar dejaría depósitos marinos sobre la antigua superficie formada por la transgresión anterior. La excavación y erosión se llevaría a cabo durante los períodos interpluviales coincidentes con la transgresión marina. Durante la transgresión Flandriense, el mar penetró en el continente con un amplio golfo que fue colmatándose por los aportes de los ríos Turia y Júcar, que debieron formar barras de estuario cerrando el golfo en la montaña de El Puig al N y en la Cullera al S. Movimientos ascensionales recientes hicieron emerger la barra. La formación de la restinga data de una edad no superior a los 6000 años, quedando la Albufera aislada del mar hace unos 3000 años.

PERIODO	TIPO DE DEPÓSITO		
	CONTINENTALES	MIXTOS	MARINOS
HOLOCENO	Q ₂ AL Aluvial Q ₂ AL Aluvial-Col Q ₂ C Coluviones	Q ₂ Sa Sedimentos antrópicos Q ₂ D Dunas Q ₂ l Limos pardos Q ₂ A Albufera	Q ₂ Playa CL Cordón litoral
PLEISTOCENO	Superior		
	Medio		
	Inferior		
PLIOCENO	TG Calizas		
	TSG1 Arcillas rojas		

Tabla 1. Clasificación y sucesión de depósitos del Cuaternario en función de su naturaleza y cronología. IGME

El tramo 10, abierto al mar hacia el Este y apoyado en el Puerto de Valencia al sur, cuenta con una orientación general de la costa N-S de playa continua de arenas, con 3 sectores diferenciados en los que el cordón litoral recibe distinto nombre: Playa de Alboraya o dels Peixets (al norte), Playa de la Patacona (en el centro), Playa de la Malvarrosa (al sur); cuya disposición se muestra en la siguiente imagen.



Figura 5 Sectorización del tramo costero donde se ubica la zona objeto de actuación.

Estas playas, forman parte 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, límite superior del tramo de actuación. 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.

Al sur del Barranco del Carraixet, se encuentra un cordón dunar superpuesto al cordón litoral. Las dunas se encuentran parcialmente fijadas, sin huellas de cementación o rubefacción. Debido a antropización de la zona, tan sólo es visible dicho cordón dunar justo al sur del Barranco del Carraixet,

en la Playa de Alboraya objeto de actuación, el cual se halla altamente degradado.



Figura 6 *Vestigios del cordón dunar.*

Por su parte, el Barranco del Carraixet, que nace en la localidad de Gátova, recoge las aguas de la vertiente sur de la Sierra Calderona, y las vierte al mar entre Port-Saplaya y Alboraya sobretodo en episodios de fuertes lluvias torrenciales, encontrándose su cauce normalmente seco el resto del tiempo.

La playa de actuación se ubica por tanto en el cabecero de este tramo, entre el Barranco del Carraixet y la Gola del Camí del Mar.

Con una longitud de 810 m, cuenta con una anchura media de unos 35 m, que varía desde los 25 m en su región septentrional más estrecha, hasta los 120 en la meridional junto a la Gola del Camí del Mar (Figura 7). Se trata de una playa aislada semivirgen con dunas, cuya evolución ha estado maracada por el uso agrícola en su trasdós, siendo las parcelas agrarias la ocupación principal del suelo en la zona (Figura 8), además del camping existente en el límite sur y la presencia de 3 edificaciones/viviendas de planta baja existentes en primera línea (Figura 9).



Figura 7 *Vista aérea de la playa del Peixets. Nota: norte a la derecha.*



Figura 8 *Campos de cultivo en el interior de la playa dels Peixets.*

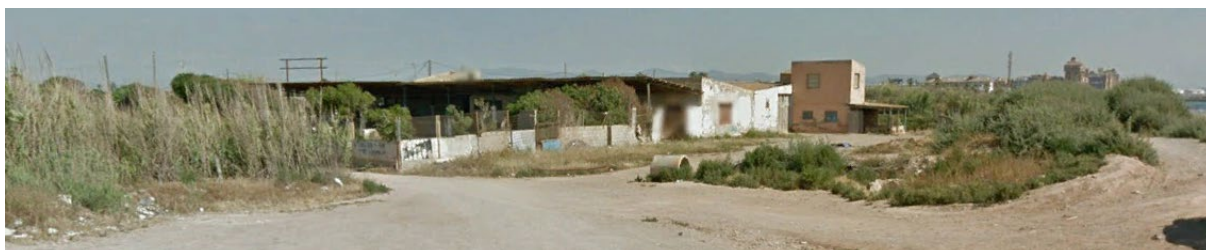


Figura 9 *Edificaciones de primera línea de playa en la playa dels Peixets.*

La propia zona de actuación la conforman los primeros 300 m del límite interior de la playa desde la desembocadura del barranco, donde se emplazan las dunas a restaurar.

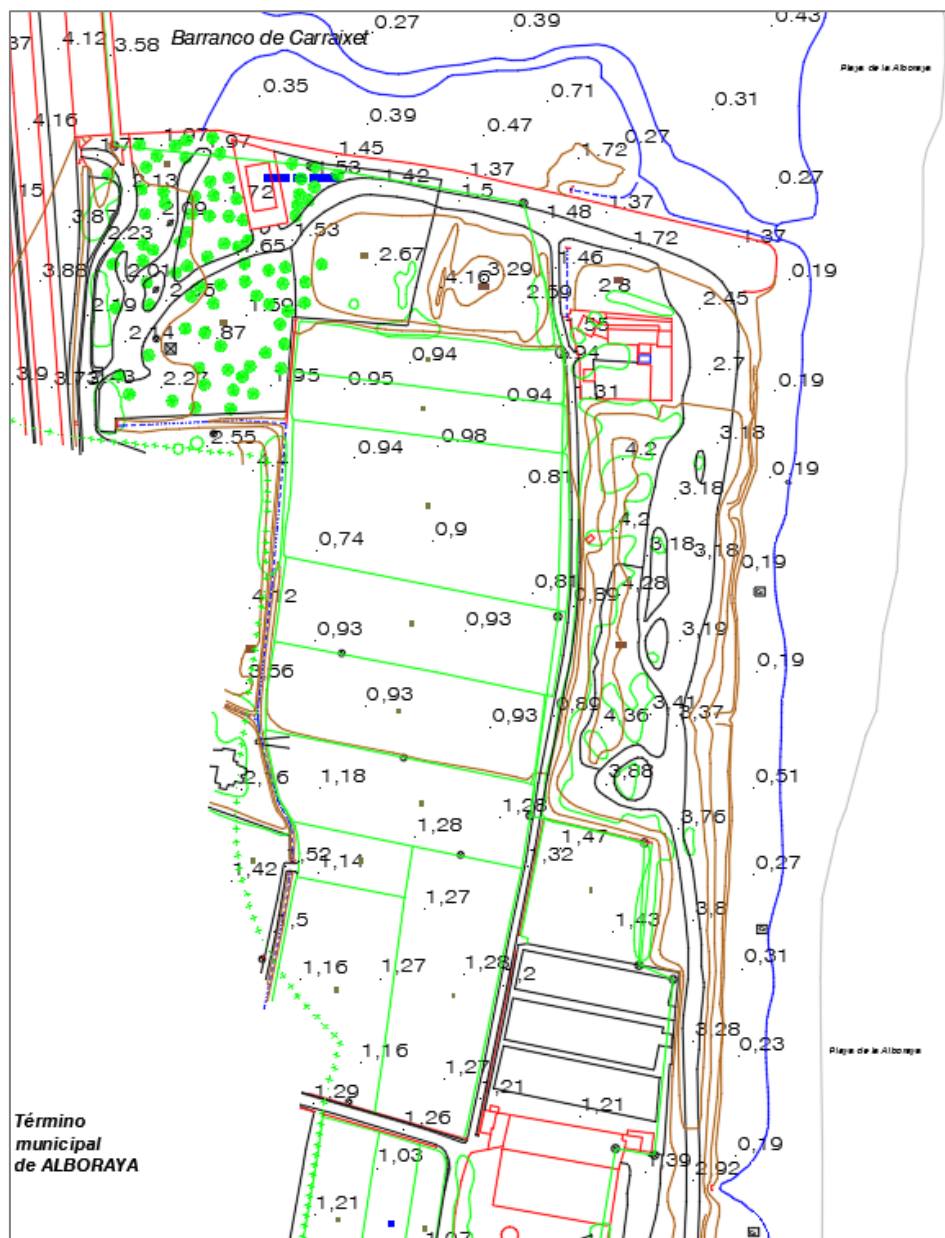


Figura 10 Topografía de la zona objeto de actuación. Fuente: Ecolavante.

5.3 LITOLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA

Los materiales originarios se encuentran estrechamente relacionados con la geomorfología de la zona que se estudia ya que tanto su procedencia, tamaño como composición depende de los procesos de erosión, transporte y sedimentación.

Así, conforme a lo reflejado en las hojas 696 y 722 del Mapa Geológico Nacional (Figura 11), los materiales presentes en la zona de proyecto son materiales principalmente de la época Holocena:

- Arenas y cantos de origen aluvial asociadas al cauce del Barranco del Carraixet (38)
- Limos pardos en la margen derecha de la desembocadura del barranco (32 y 19)
- Limos arenosos de inundación en el trasdós de la fachada costera (16) asociados al delta del Turia
- Arenas en dunas actuales (23)
- Arenas de playa (24)

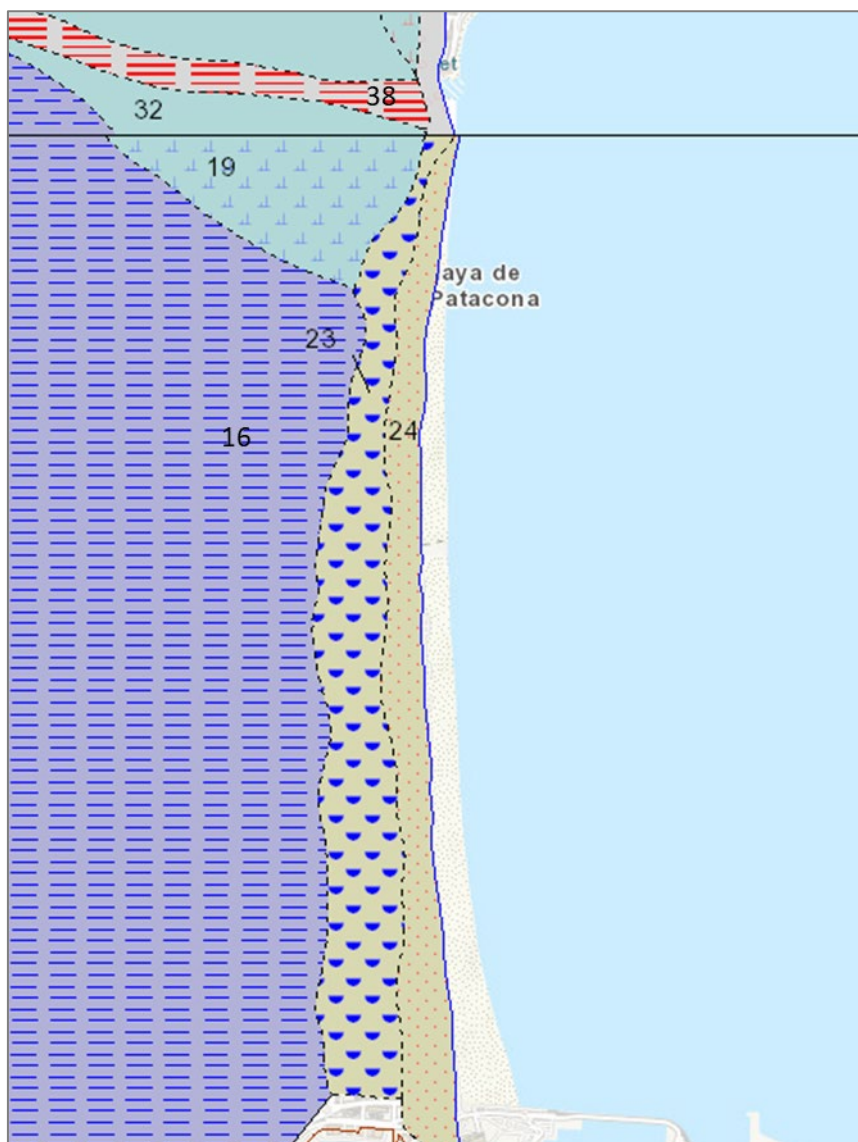


Figura 11 Extracto del Mapa Geológico de España a escala 1/50.000 MAGNA, de las Hojas 696 y 722. Fuente: IGME.

Las playas de Alboraya al sur del Barranco del Carraixet, son playas abiertas con un tamaño de arena fina con $D_{50} = 0,18$ mm. En concreto, la playa del Peixets posee un $D_{50} = 0,15$ mm, tal y como puede observarse en la tabla a continuación que recoge los resultados del análisis granulométrico realizado a las muestras de esta playa mostradas en la Figura 12.

Muestreo Pl. Peixets		Tamaño medio D_{50} (mm)			Clasificación (Friedman y Sanders, 1978)		
Zona playa	Cota (m)	individual	promedio				
PLAYA EMERGIDA	2	0,199	0,166	0,154	Arenas finas	Arenas finas	Arenas finas
	1	0,148			Arenas finas		
	0	0,15			Arenas finas		
PLAYA SUMERGIDA	-1,5	0,148	0,146	0,154	Arenas finas	Arenas finas	Arenas finas
	-4,5	0,143			Arenas finas		
	-6	0,149			Arenas finas		
	-6,2	0,144			Arenas finas		

Tabla 2. Tamaño medio de grano de los sedimentos de la playa dels Peixets (Alboraya).

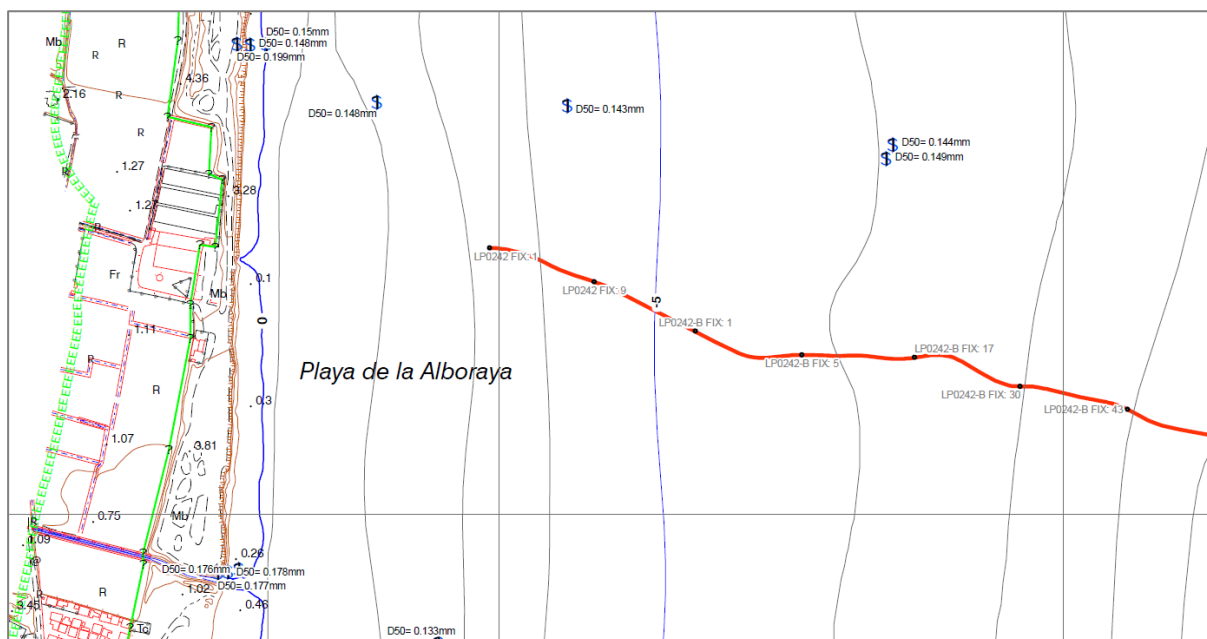


Figura 12 Tamaño medio de grano (D_{50} en mm) obtenido en el perfil muestreado de la Playa dels Peixets. Fuente: ECOLEVANTE.

La clasificación de los sedimentos por tamaño es la siguiente, pudiéndose observar su distribución en la zona de estudio en la Figura 13:

- 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.

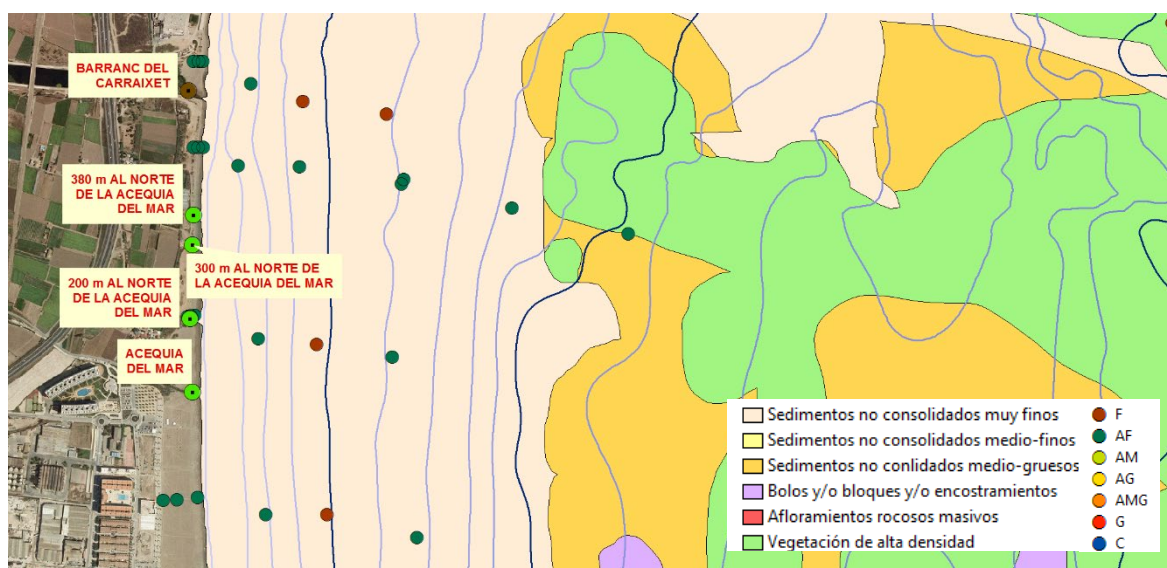


Figura 13 Muestras de sedimentos en la playa de Alboraya. Fuente: ECOLEVANTE

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 HIDTMA 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 los planos a continuación se presenta el detalle de la topo-batimetría costera de la zona de actuación.

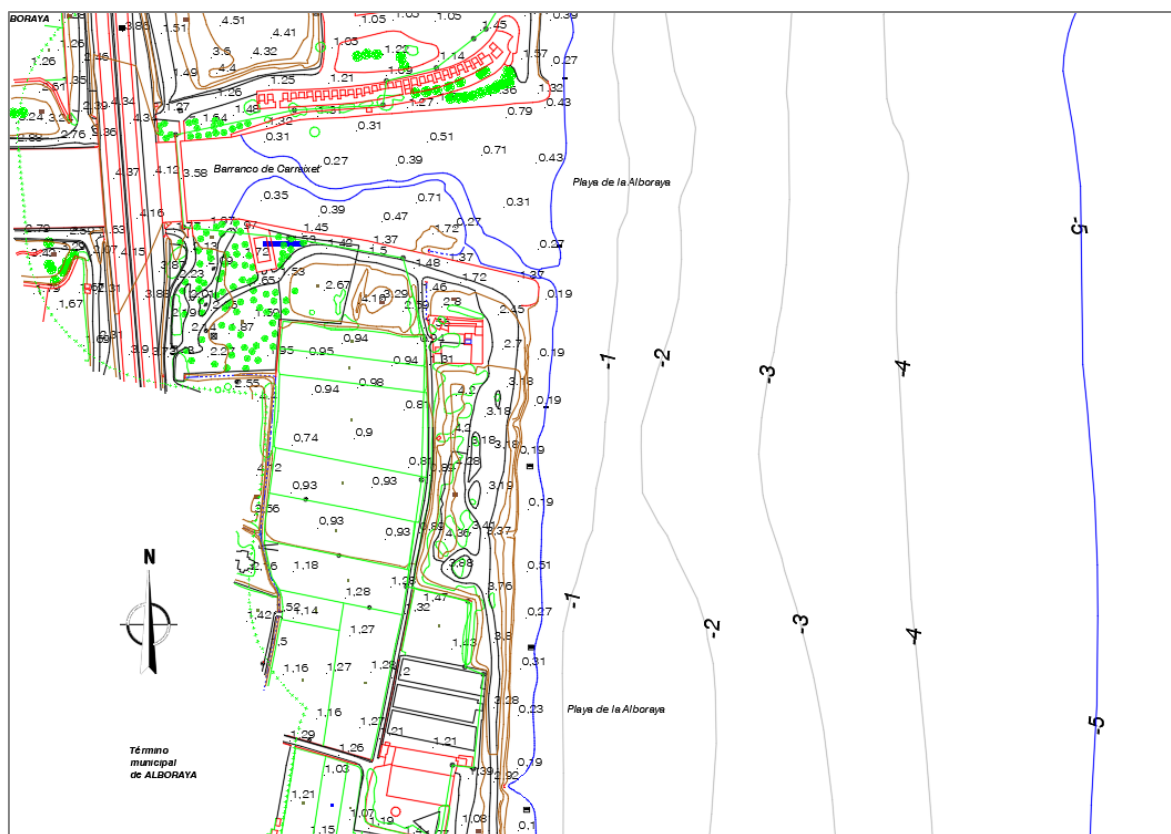


Figura 14 Detalle de la topo-batimetría de la zona en estudio.

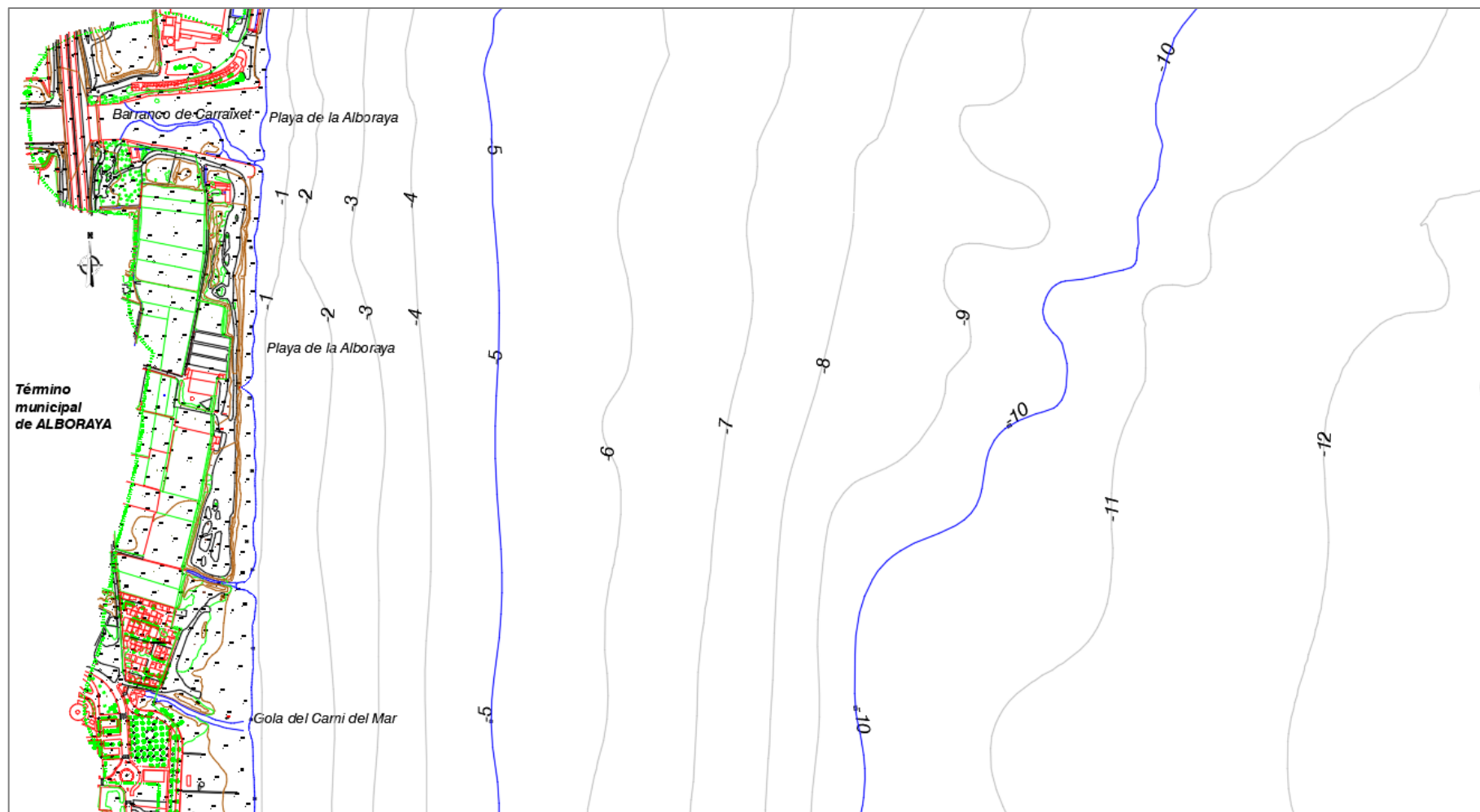


Figura 15 *Topo-batimetría de la Playa dels Peixets. Fuente: Ecolevante.*

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 de tipo longitudinal que se desarrolla entre los términos municipales de Massalfassar y Foios, que comienza el proceso de rigidización de la costa.

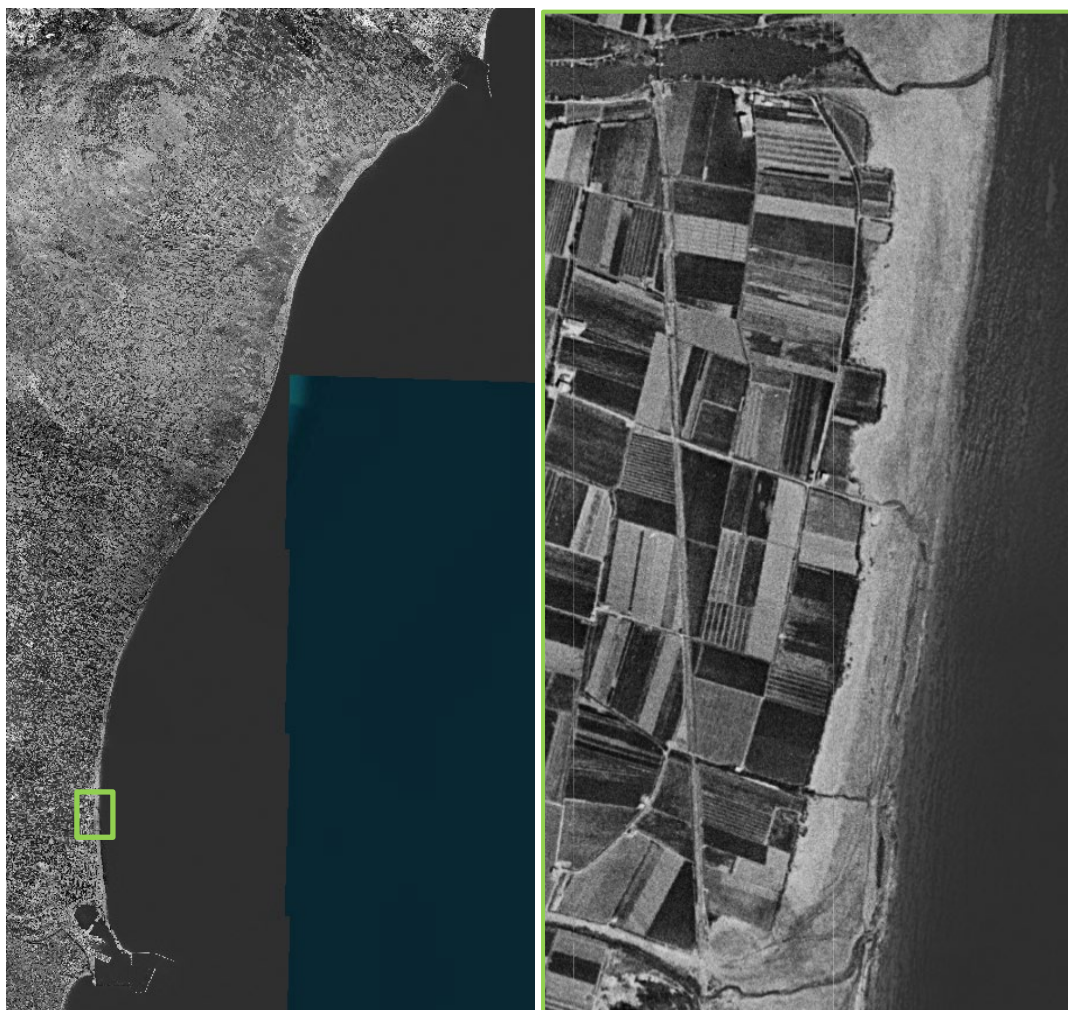


Figura 16 Fotografías aérea de 1956 de: borde litoral Puerto de Sagunto-Puerto de Valencia (izq.) y playa dels Peixets en Alboraya (der.) Fuente: Visor Institut Cartografic Valencià (ICV) de la GVA.

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 (1972-1977) y el Puerto de la Pobla de Farnals (1965-1972).

Ya en la década de los 90, y más concretamente entre 1994 y 1996, fueron prolongados varios espigones al norte de la Acequia de Fornet en el término municipal de El Puig y al norte del puerto de

Pobla de Farnals. Además se construyeron nuevos espigones para proteger la playa de Meliana.

Los 6 espigones actualmente existentes en el término municipal de Puzol son los más recientes del litoral de estudio, contruidos entre los años 2003 a 2004.

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

Actuación	TM	Fecha	Volumen aportado	D ₅₀ aportado	D ₅₀ anterior	< 63 mm	Estructuras rígidas
Aportación de arena de cantera a la playa de Alboraya	Alboraya	Enero/febr. 2010	10118.71 m ³	-	-	-	-
Mantenimiento playa de Alboraya	Alboraya	Mayo/jun. 2010	8730 m ³	-	-	-	-

Tabla 3. *Registro de aportaciones de material de relleno a playas en zonas adyacentes.*

Al sur, la construcción del Pueto de Valencia y posteriores ampliaciones, desde un primigenio embarcadero anterior a la conquista de Valencia por Jaime I en 1238, hasta su configuración actual con la última prolongación del dique de abrigo en 2008, ampliación norte, ha supuesto la retención de las arenas transportadas por la deriva litoral N-S aguas arriba y la consecuente acreción de las playas apoyadas en él. Este efecto es especialmente patente en la playa de la Malvarrosa (Valencia), inmediatamente al norte, que adquiere forma de cuña acumulativa, pero también se traslada hacia el norte, a la playa de la Patacona (Alboraya) que se halla asimismo en acreción.

La playa del Peixets, al norte de la anterior, actúa sin embargo como cabecero de este tramo, por lo que sufre los efectos de las estructuras aguas arriba sin llegar a beneficiarse del apoyo del puerto, y por tanto es la que ha experimentado mayores retrocesos.

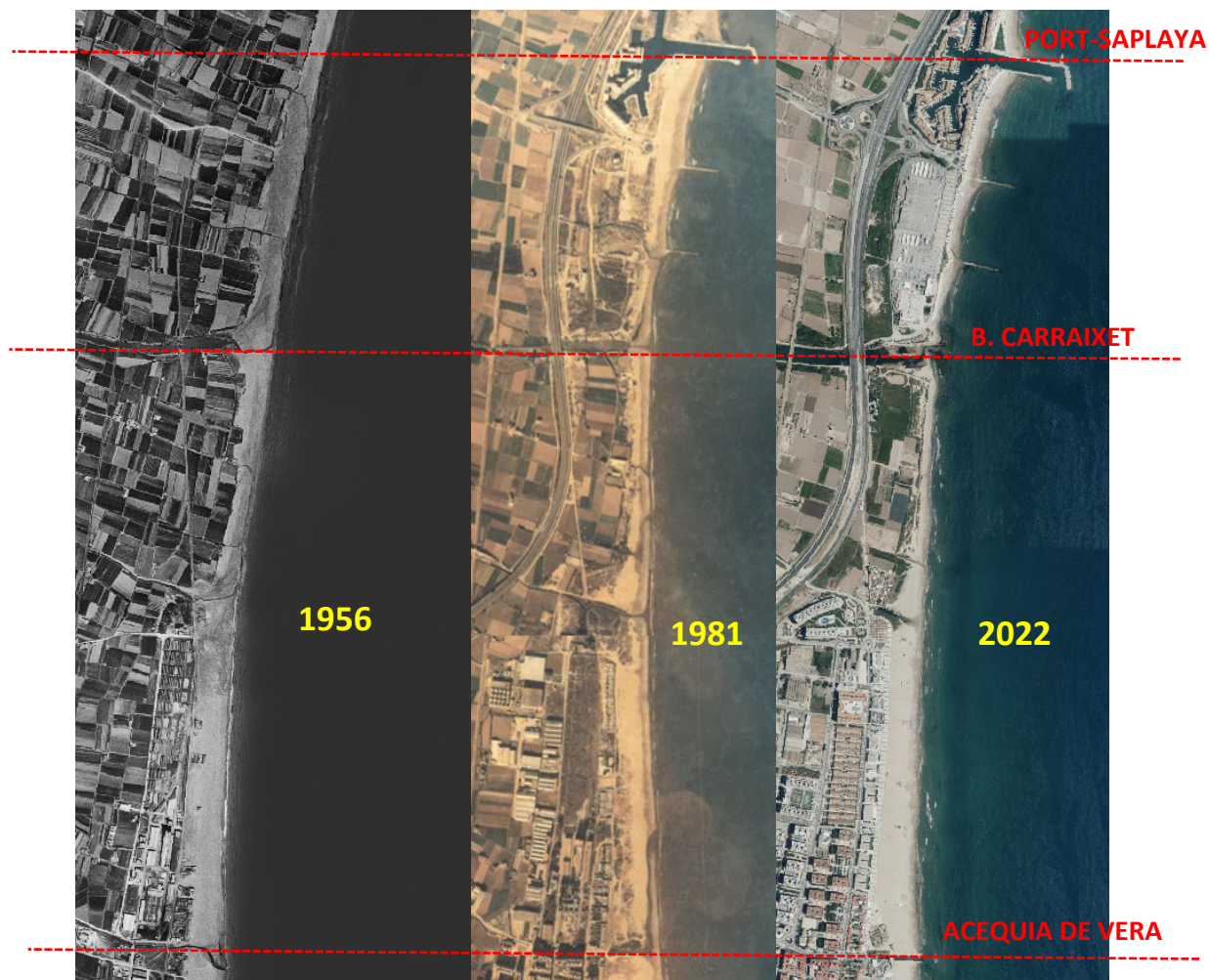


Figura 17 Ortofotos de evolución de la costa en la playa de Alboraya. Año 1956 (izq.), 1981 (cen.) y 2022 (der.)

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 V-B 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 escollorado	1975
III		Inicio tramo escollorado	Fin tramo escollorado	2884
IV		Inicio TM Meliana	Puerto Port-Saplaya	1730
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 4. 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 ± 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 ± 6 m.

Éstas desembocan en un factor de error total en la posición exacta de las líneas restituidas de ± 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 V del estudio de ELC, que alberga la zona en estudio del presente documento, y los transectos fijados para su desarrollo. En concreto, la playa de Alboraya en estudio se encuentra dentro del tramo V-B, desde el Barranco del Carraixet hasta la Acequia de Vera.

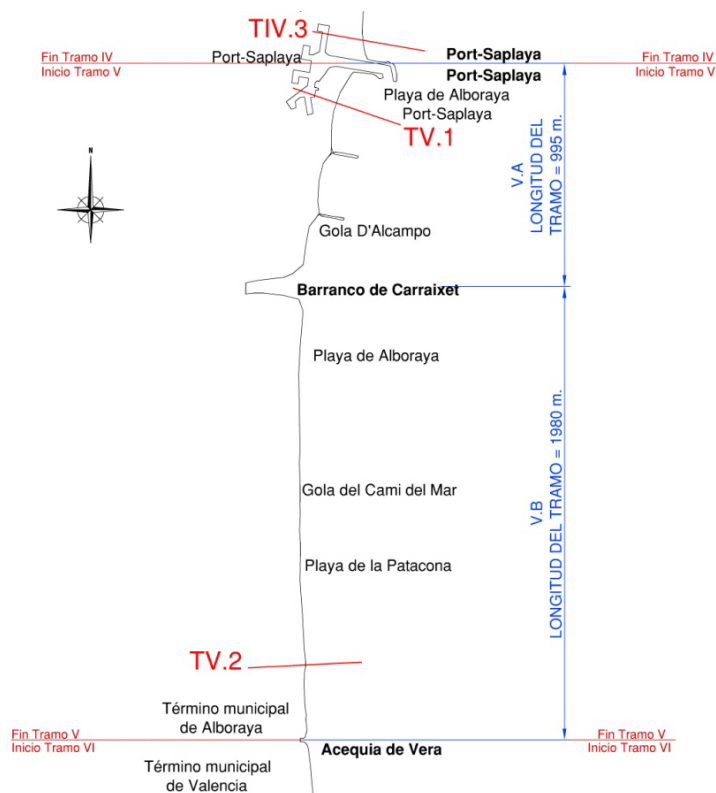


Figura 18 Tramo V: subtramos identificados y transectos analizados.

La siguiente tabla y la posterior gráfica, muestran de forma cuantitativa la evolución, en metros, de la línea de costa a lo largo del tiempo analizado.

• **Avances y/o retrocesos en transectos (Tramo V-B):**

AÑOS	TIEMPO TRANSCURRIDO (años)	SUBTRAMO V.B
		TV.2 Variaciones (m)
1956	0	0
1965	9	38
1972	7	25
1977	5	26
1981	4	2
1986	5	-15
1990	4	12
1992	2	9
1994	2	-16
1996	2	-4
1998	2	10
2006	8	8
2007	1	8
2009	2	-7

Tabla 5. Variaciones sufridas en la línea de costa de 1956 a 2009 en el subtramo V.B.

**Subtramo V.B: del Barranco del Carraixet a la acequia de Vera
(Transecto T.2)**

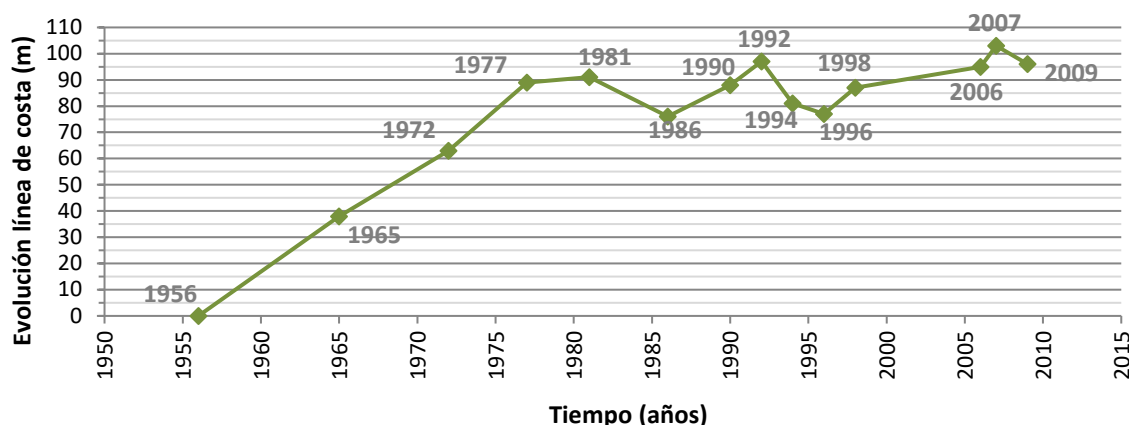


Figura 19 Evolución de la línea de costa desde 1956 a 2009 en el Transecto V.2.

6.2.3 Conclusiones

En el tramo V.B, la construcción de las estructuras rigidizadoras en el borde litoral durante los años 60-70 provocaron una tendencia de crecimiento positivo (acreción) de la línea de costa de la Patacona que se ve finalizada en los años 80 donde se aprecia un claro cambio de tendencia. Desde ese momento, la playa muestra una tendencia de estabilidad con tendencia en el tiempo más horizontal con ligera pendiente global ascendente, correspondiente con una tasa evolutiva nula o muy reducida.

Este comportamiento se debe, por un lado a la no rigidización de la playa en sus extremos, con una distancia suficiente del puerto de Port Saplaya para no verse directamente muy afectada por el efecto sombra de la estructura. Por otro lado, el Puerto de Valencia situado al sur supone un gran elemento rigidizador y acumulación de sedimentos en su parte norte, donde la playa de la Malvarrosa si se ve claramente afectada y, en menor medida y de forma secundaria, la playa de la Patacona sigue la

tendencia de la misma al tratarse de playas limítrofes y sin barrera transversal.

En la siguiente tabla (Tabla 6) 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 I			TRAMO II			TRAMO III	TRAMO IV	TRAMO V		TRAMO VI
	IA	IB	IC	IIA	IIB	IIC			VA	VB	
Longitud media del tramo (m)	2136	3119	2230	2744	1441	1975	2884	1730	1004	1996	2857
Balance Superficie(1956-2009) m2	-567069	-88095	9063	-108246	-84680	-9098	-39448	-5442	-30649	88578	211111
Promedio(1956-2009) m2/m	6,2	-2,2	-0,2	-3,2	-4,6	-0,8	-1,1	-0,3	-2,3	3,4	9,2
Promedio(1981-2009) m2/m	-0,4	-2,4	1,3	0,1	2,6	8,8	0,0	1,2	-5,5	-1,9	3,8

Tabla 6. 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.

Cabe destacar, que en el tramo V, la zona que sufre los mayores efectos de la acción de barrera del Puerto es el subtramo VA, siendo mucho menor la afección al subtramo VB ya que de forma global la erosión en planta tiene forma parabólica, acentuándose en la zona norte y reduciéndose hasta llegar a valores positivos en la zona sur. En el tramo V, la construcción del puerto de Port-Saplaya ha forzado el basculamiento de este 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 VA) donde la tendencia desde hace décadas es a tener tasas de erosión importantes. Esta tendencia erosiva se ve parcialmente contrarestada en el subtramo VB por la acreción producida en las playas por la presencia del Puerto de Valencia al sur, en el subtramo VI, que se va propagando aguas arriba hasta la playa de la Patacona. Sin embargo, la observación de fotografías aéreas de la zona en estudio (véase Figura 17) evidencia que el cabecero de este tramo VB, correspondiente con la zona de la playa dels Peixets en estudio, sí se vió afectado por la construcción del Puerto de Port-Saplaya produciéndose la regresión de su línea de costa, hecho que, junto con el mal uso de la zona, probablemente ha llevado al deterioro del cordón dunar en esta zona.

En cualquier caso, la actuación proyectada de acondicionamiento del cordón dunar, no supone la interposición de barreras al transporte longitudinal de sedimentos por lo que no se prevé que produzca modificación alguna de la línea de costa. Sin embargo, sí ejercerá de protección transversal de la costa ante temporales y de reservorio natural de la arena.

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 20), 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° N y -0,25° 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 20 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 22), 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.

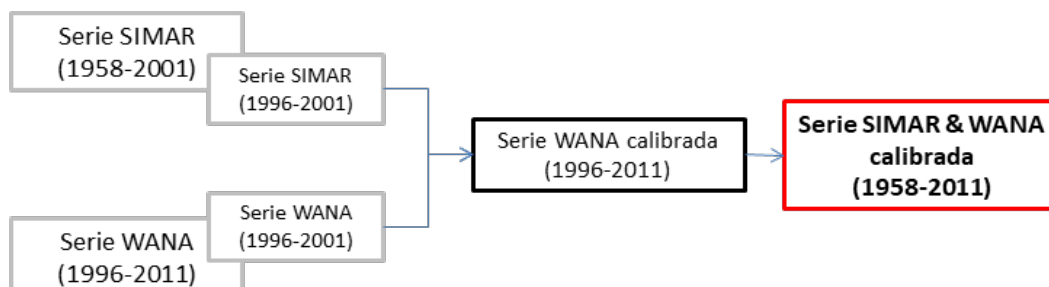


Figura 21 Proceso de calibración de los datos simulados SIMAR y WANA

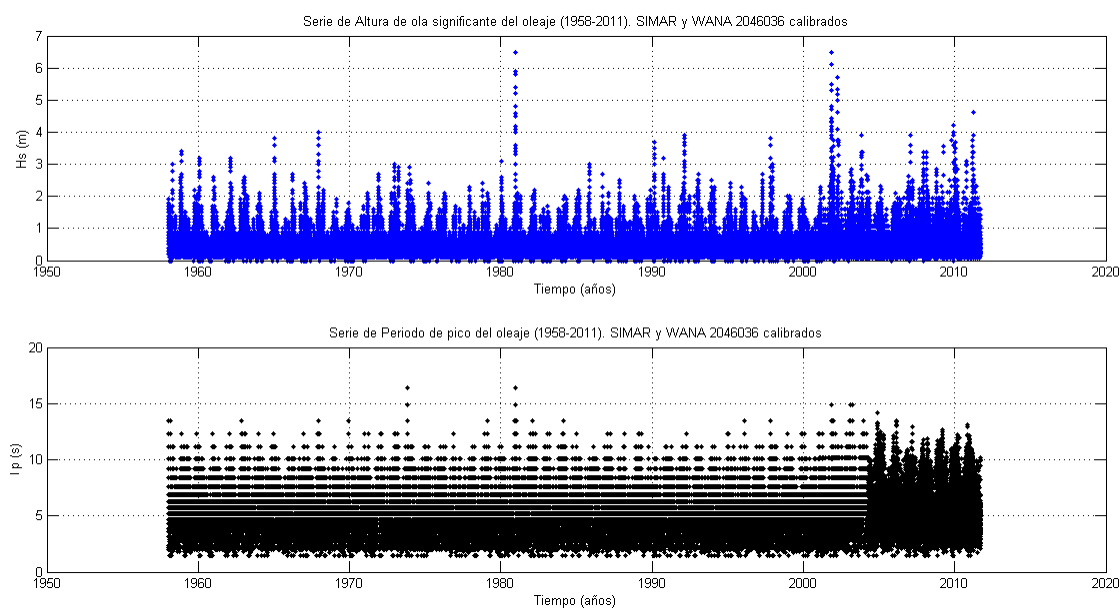


Figura 22 Series de Hs y Tp de SIMAR y WANA calibradas y unificadas en aguas profundas (1958-2011).

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 23 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.

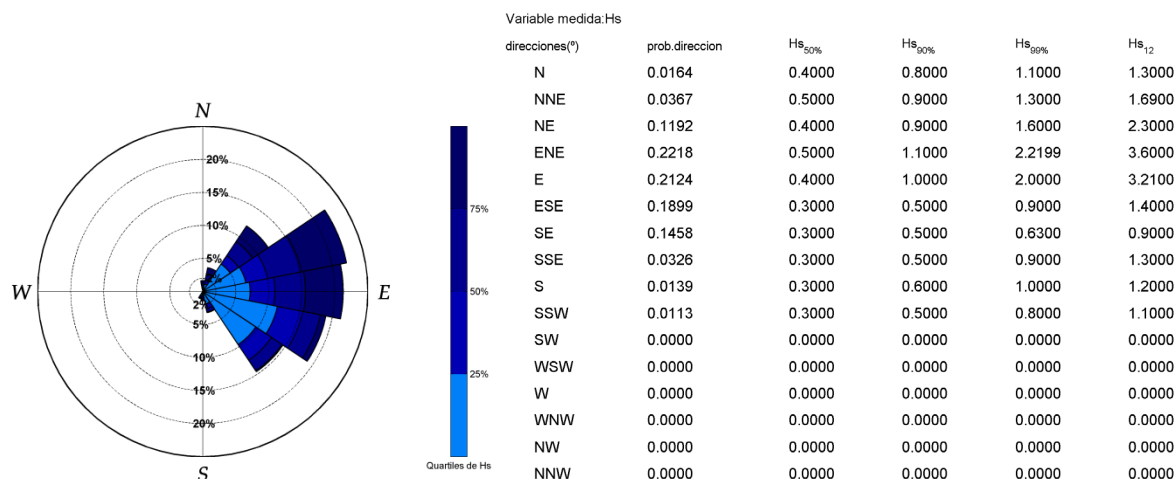


Figura 23 Rosa de oleaje y estadísticos básicos de Hs de la serie SIMAR y WANA calibrada correspondiente al nodo 2046036 (1958-2011)

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:

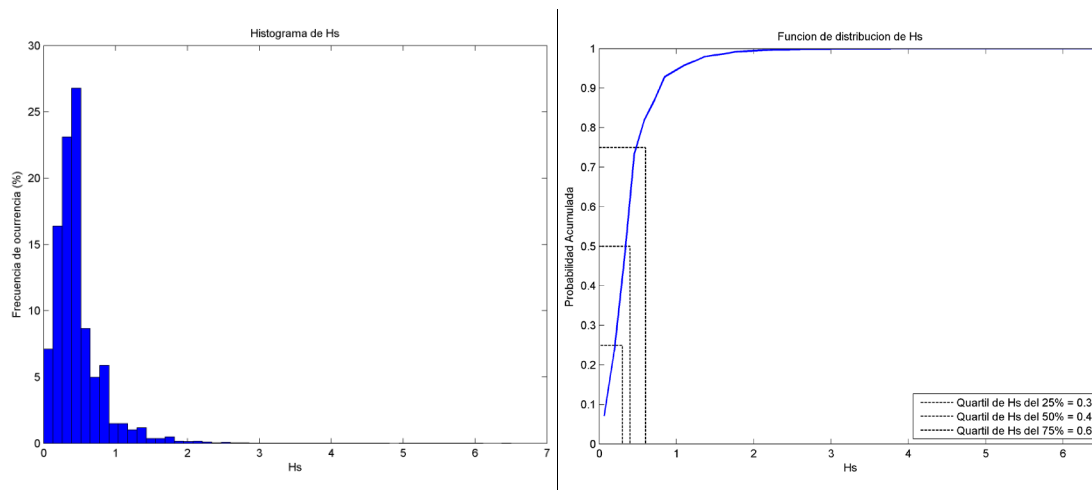


Figura 24 Histograma y función de distribución de la variable Hs de la serie SIMAR y WANA 2046036 calibrada (1958-2011)

7.1.2.2 Periodo

Análogamente se representa la distribución sectorial del periodo pico del oleaje por direcciones, así

como sus estadísticos básicos.

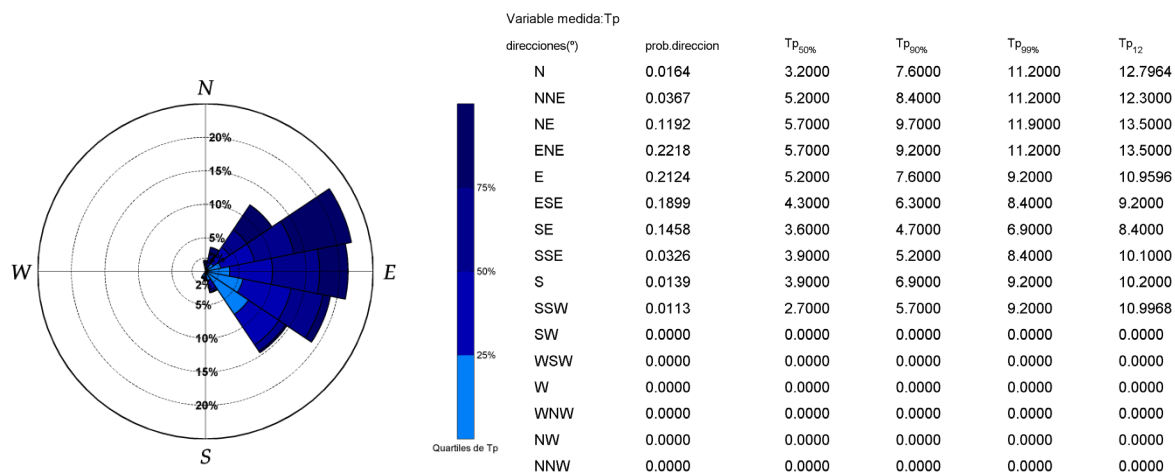


Figura 25 Rosa del periodo de pico del oleaje y estadísticos básicos de la variable T_p de la serie SIMAR y WANA 2046036 calibrada (1958-2011)

Asimismo se representa el histograma de periodo de pico y su función de distribución empírica (Figura 26).

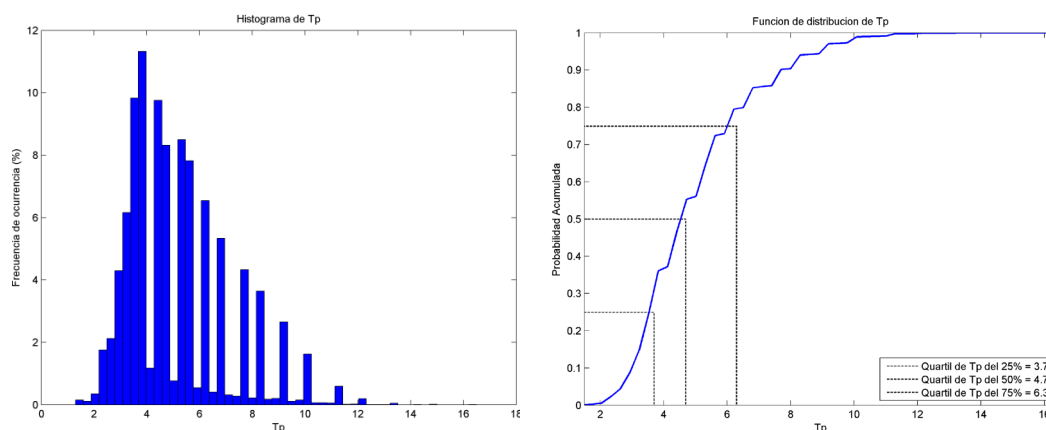


Figura 26 Histograma y función de distribución de T_p

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^{er} y 2^o 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 27).

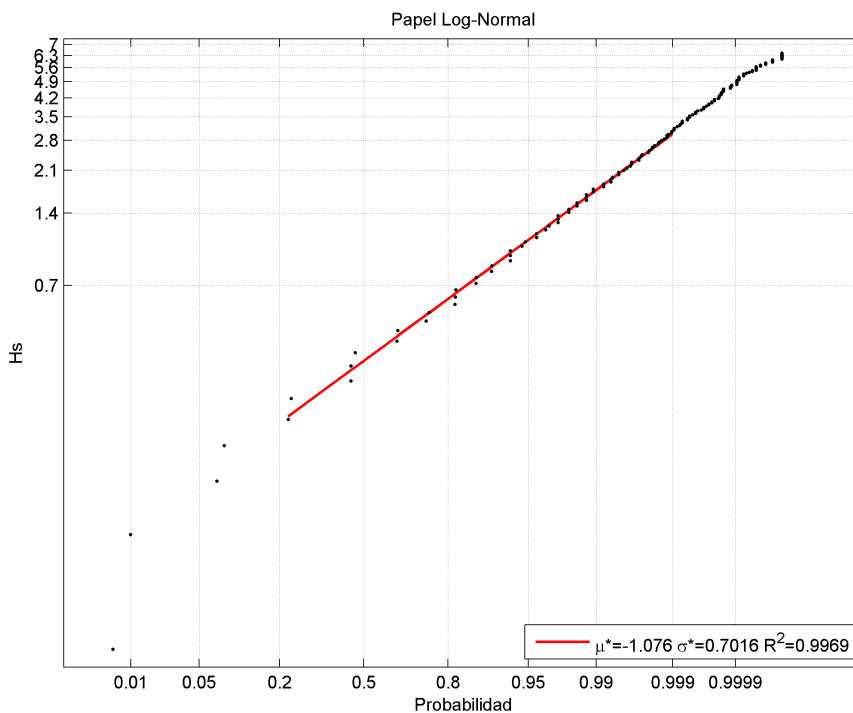


Figura 27 Ajuste de la variable H_s mediante distribución Lognormal

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

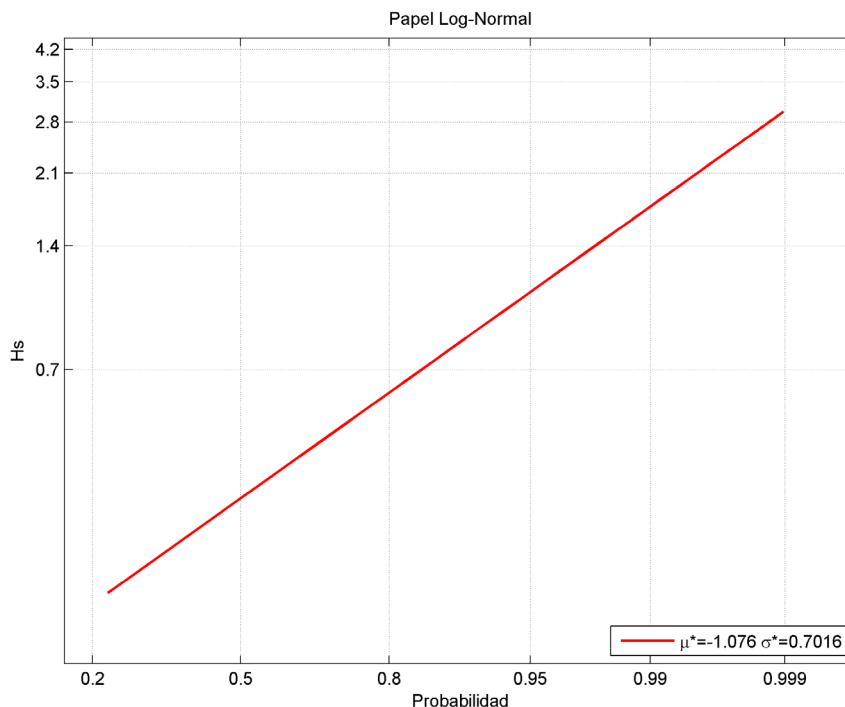


Figura 28 Régimen medio escalar anual de H_s

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 7. 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.

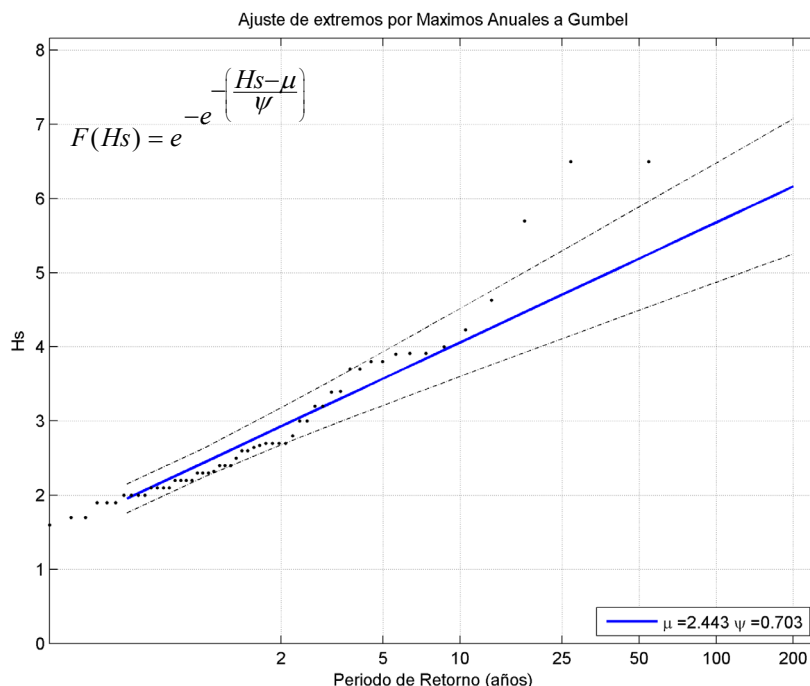


Figura 29 Ajuste de extremos de Hs mediante la función de distribución de Gumbel

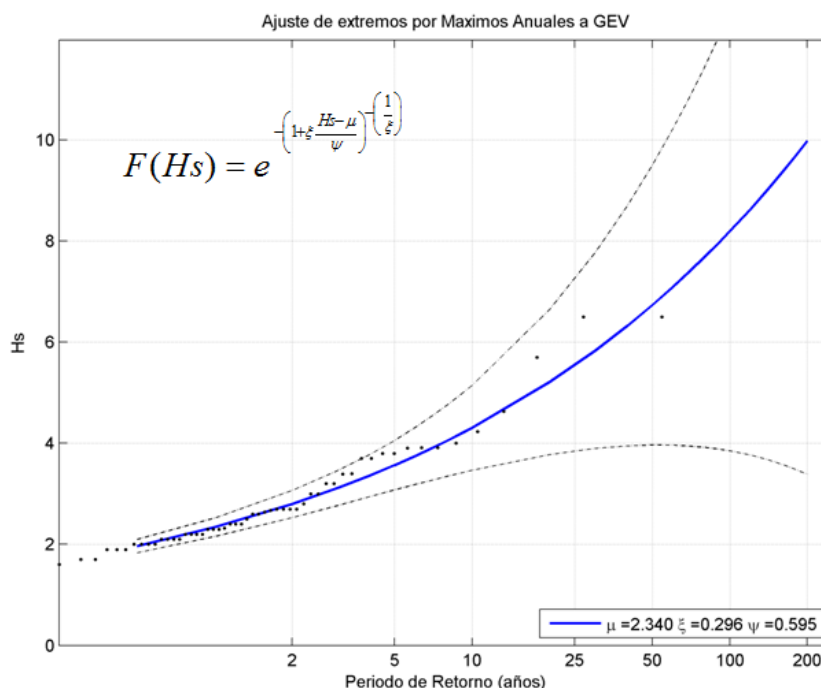


Figura 30 Ajuste de extremos de H_s mediante la función de distribución GEV.

Como resultado, la función tripamétrica 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 biparamétrica como tripamétrica 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 8. 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 9. 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.

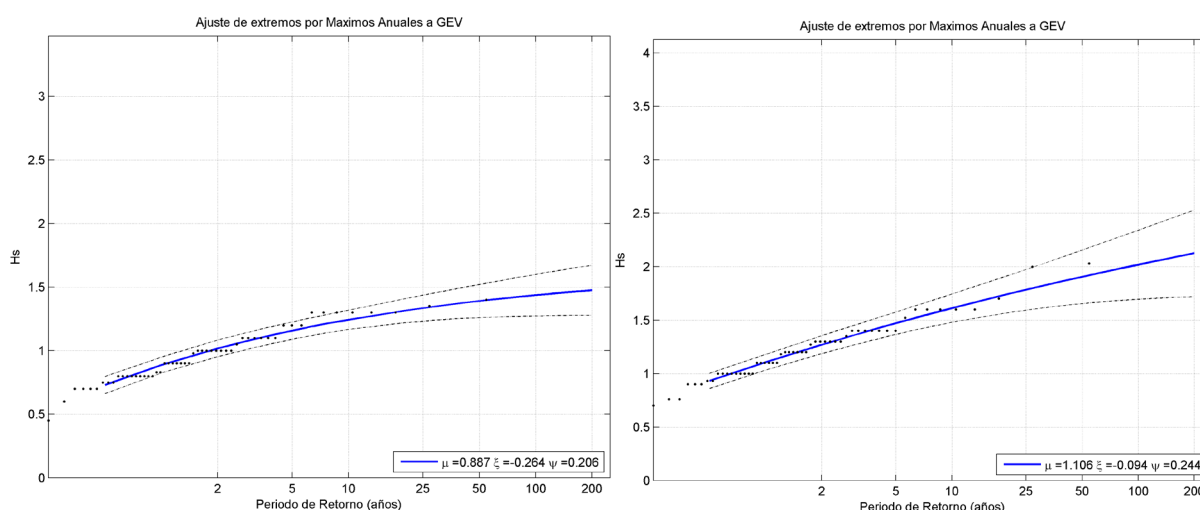


Figura 31 Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones N (izq.) y NNE (dcha.).

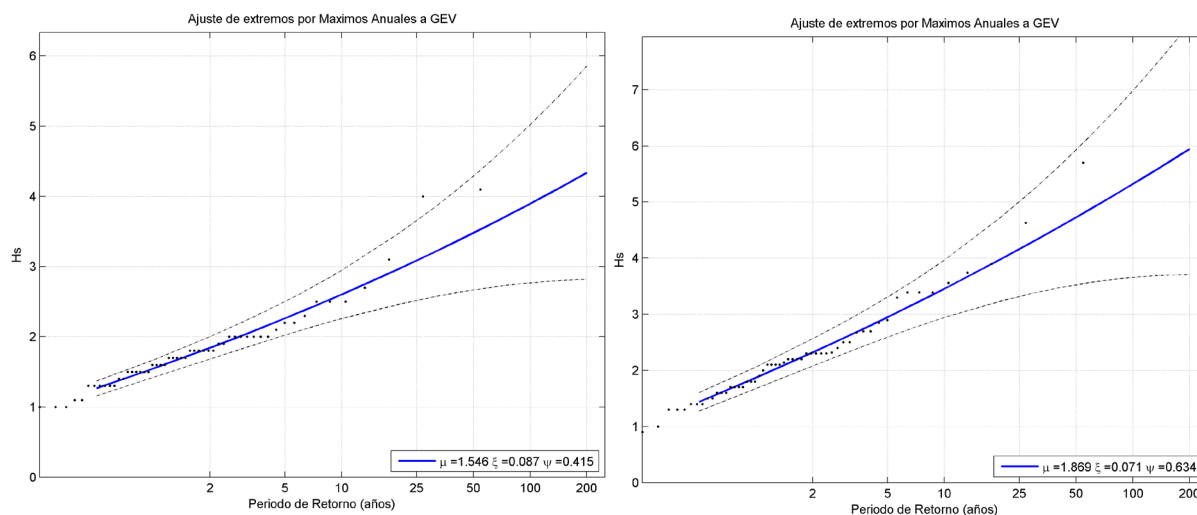


Figura 32 Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones ENE (izq.) y E (dcha.).

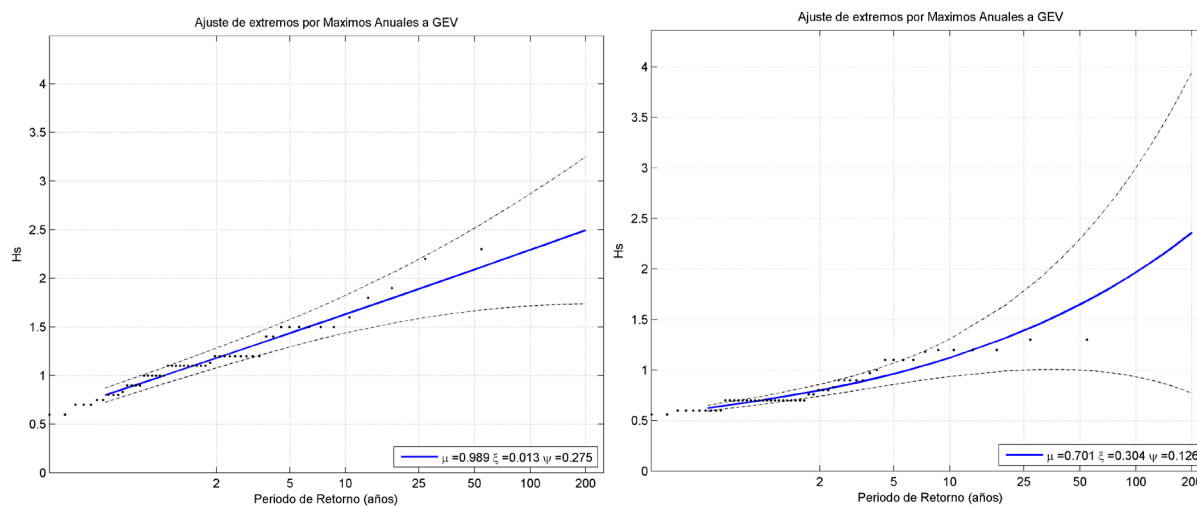


Figura 33 Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones ESE (izq.) y SE (dcha.).

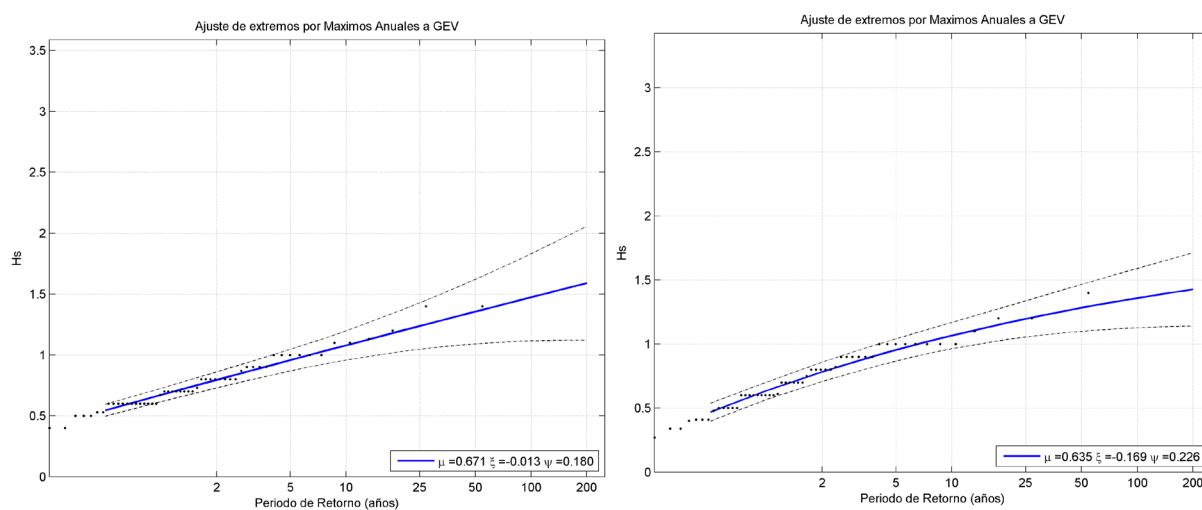


Figura 34 Ajuste de extremos distribución de GEV. Direcciones SSE (izq.) y S (dcha.).

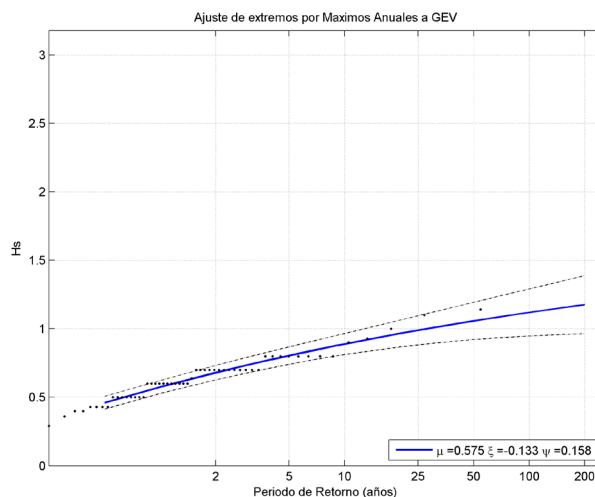


Figura 35 Ajuste de extremos distribución de GEV. Dirección SSW

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 ⁷⁾		VIDA UTIL MI-NIMA (V _m) ⁷⁾ (años)
AREAS PORTUARIAS	PUERTO CO-MERCIAL	Puertos abiertos a todo tipo de tráficos	r ₃	Alto	50
		Puertos para tráficos especializados	r ₂ (r ₃) ¹⁾	Medio (alto) ¹⁾	25 (50) ¹⁾
	PUERTO PESQUERO		r ₂	Medio	25
	PUERTO NAUTICO-DEPORTIVO		r ₂	Medio	25
	INDUSTRIAL		r ₂ (r ₃) ¹⁾	Medio (Alto) ¹⁾	25 (50) ¹⁾
	MILITAR		r ₂ (r ₃) ²⁾	Medio (Alto) ²⁾	25 (50) ²⁾
	PROTECCION DE RELLENOS O DE MARGENES		r ₂ a r ₃ ³⁾	Medio a Alto ³⁾	25 a 50 ³⁾
AREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES ⁴⁾		r ₃	Alto	50
	PROTECCION DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		r ₂ (r ₃) ⁵⁾	Medio (Alto) ⁵⁾	25 (50) ⁵⁾
	PROTECCION Y DEFENSA DE MARGENES		r ₁ (r ₃) ⁶⁾	Bajo (Alto) ⁵⁾	15 (50) ⁷⁾
	REGENERACION Y DEFENSA DE PLAYAS		r ₁	Bajo	15

1) El índice IRE se elevará a r₃ 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 r₃ 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 r₃ 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 r₂ cuando en su zona de afección se localicen edificaciones o instalaciones industriales.

7) Los índices inferiores a r₃ de la tabla se elevarán un grado por cada 30 M€ de coste de inversión inicial de la obra de abrigo.

Figura 36 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 ¹⁾	Mercancías peligrosas ²⁾	s ₃	Alto	0.01	0.07
			Pasajeros y Mercancías no peligrosas	s ₂	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique	s ₁	No significativo	0.20	0.20	
	PUERTO PESQUERO	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique	s ₂	Bajo	0.10	0.10	
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique	s ₁	No significativo	0.20	0.20	
	PUERTO NAUTICO DEPORTIVO	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique	s ₂	Bajo	0.10	0.10	
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique	s ₁	No significativo	0.20	0.20	
	PUERTO INDUSTRIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías adosadas al dique ¹⁾	Mercancías peligrosas ²⁾	s ₃	Alto	0.01	0.07
			Mercancías no peligrosas	s ₂	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o adosadas al dique	s ₁	No significativo	0.20	0.20	
PUERTO MILITAR	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique ¹⁾	s ₃	Alto	0.01	0.07		
	Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique	s ₁	No significativo	0.20	0.20		
PROTECCION DE RELLENOS O MARGENES	Con zona de almacenamiento adosada al dique ¹⁾	Mercancías peligrosas ²⁾	s ₃	Alto	0.01	0.07	
		Mercancías no peligrosas	s ₂	Bajo	0.10	0.10	
AREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES ³⁾			s ₄	Muy Alto	0.0001	0.07
	PROTECCION DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO			s ₂ (s ₃) ⁴⁾	Bajo (Alto) ⁴⁾	0.10 (0.001)	0.10 (0.07)
	PROTECCION Y DEFENSA DE MARGENES			s ₂ (s ₄) ⁵⁾	Bajo (Muy alto) ⁵⁾	0.10 (0.0001)	0.10 (0.07)
	REGENERACION Y DEFENSA DE PLAYAS			s ₁	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 (s₄) (p_{ELU}=0.0001; p_{ELIS}=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 s₃ 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 s₄ cuando en caso de fallo pudieran resultar afectadas edificaciones u otras instalaciones industriales.

- 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 (s₄) (P_{ELU}=0.0001; P_{ELIS}=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, aquéllos que en caso de fallo se podrían producir importantes inundaciones en el territorio.
- 4) El índice ISA se elevará a s₁ 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 s₄ cuando en caso de fallo pudieran resultar afectadas edificaciones u otras instalaciones industriales.

Figura 37 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 10).

TRAMO DE OBRA	VIDA ÚTIL	P _f	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 10. 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, 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 extremales direccionales de oleaje, para los posibles periodos de retorno se incluyen en las Tablas a continuación:

Sector direccional	Localización (μ)	Escala (Ψ)	Forma (ξ)	H_s (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 11. *Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno $T_R=68$ años*

Sector direccional	Localización (μ)	Escala (Ψ)	Forma (ξ)	H_s (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 12. *Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno $T_R=143$ años*

Sector direccional	Localización (μ)	Escala (Ψ)	Forma (ξ)	H_s (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 13. *Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno $T_R=238$ años*

Sector direccional	Localización (μ)	Escala (ψ)	Forma (ξ)	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 14. Alturas de ola direccional asociada al periodo de retorno $T_R=689$ años

Los valores escalares quedan recogidos en la siguiente tabla:

Direccionalidad del oleaje		Parámetros ajuste F. GEV			Hs (m) F(T_R , en años)			
Dirección	Probab.	μ	ψ	ξ	68	143	238	689
Escarlar	100	2.34	0.595	0.296	7.32	9.05	10.48	14.24

Tabla 15. Alturas de ola escalares en régimen extremal asociadas a los distintos periodos de retorno de diseño

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 16. 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	
	H_s (m)	T_p (s)	H_s (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 17. Oleaje extremal (H_s , T_p) asociado al periodo de retorno $T_R = 238$ años (izda.) y $T_R = 689$ años (dcha.)

7.2 NIVEL DEL MAR

7.2.1 Fuente de datos

Se toma, como datos de partida para el análisis de las oscilaciones del nivel del mar en el área de estudio, la serie histórica del nivel del mar en el Puerto de Valencia (1992-2022) de Puertos del Estado (PE). Esta serie ha sido construida por PE a partir de los registros de los mareógrafos “Vale” (de tipo acústico SRD) y “Val 3 o Valencia 3” (tipo radar, modelo Miros), tras su unificación al Cero de Referencia del Miros, y la corrección de los errores hallados al realizar el solape.

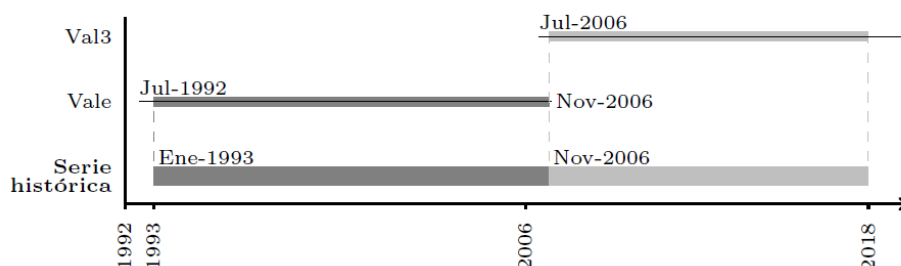


Figura 38 Esquema de construcción de la serie histórica con los periodos de registro de cada uno de los mareógrafos. Fuente: Puertos del Estado.

El mareógrafo “Valencia 3”, actualmente en servicio y al que está referida la serie histórica, se sitúa en el Dique de graneles sólidos del puerto, concretamente en la coordenada (0,31º W, 39,44º N).

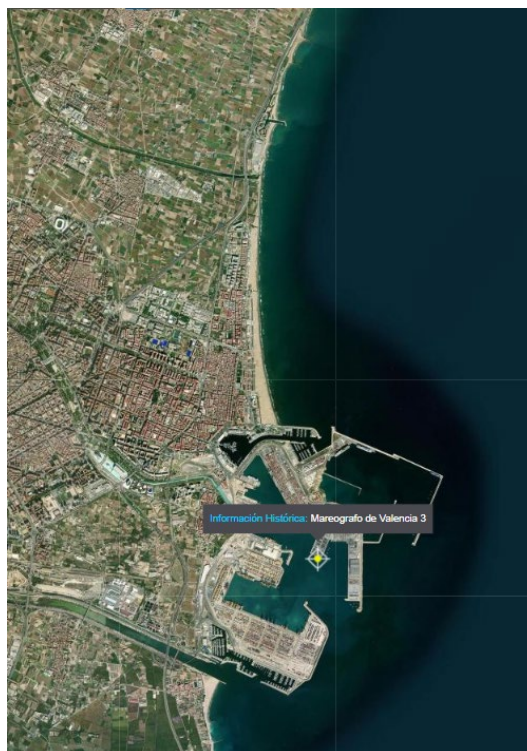
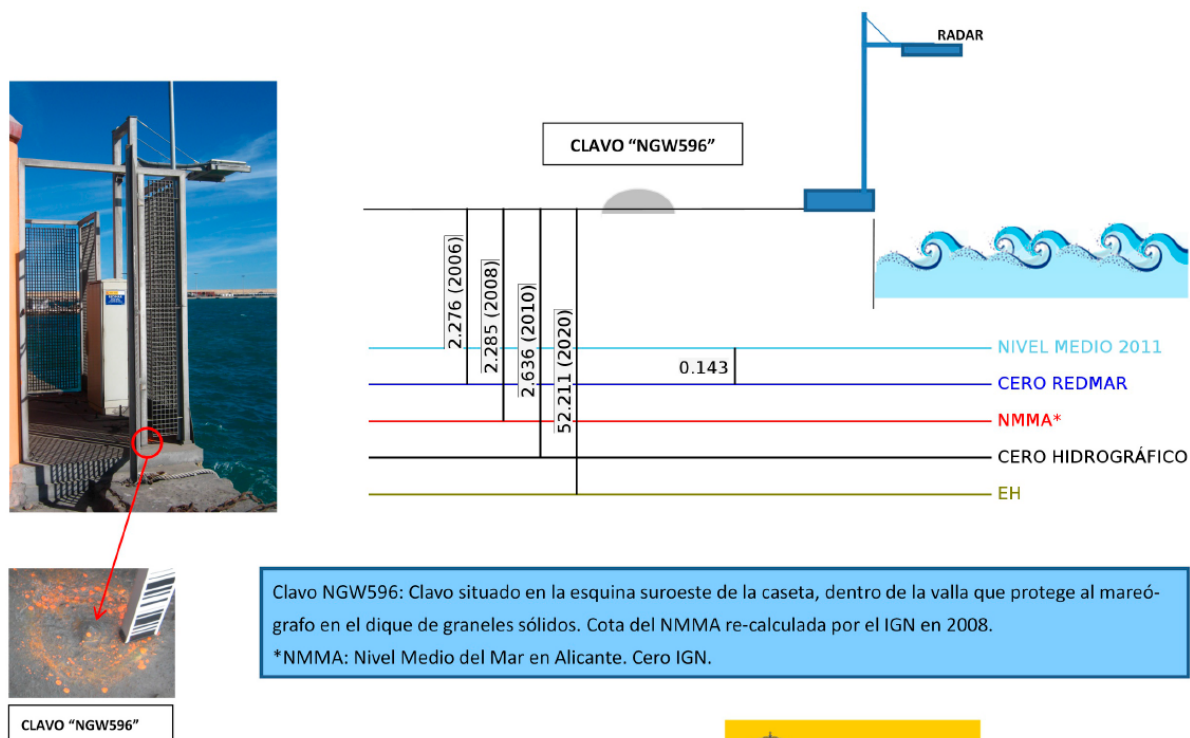


Figura 39 Ubicación del mareógrafo Valencia 3 con respecto a la zona en estudio. Fuente: Puertos del Estado.

Los datos de la serie están referidos al Cero REDMAR, coincidente con el Cero del Puerto de Valencia, la imagen a continuación recoge el esquema del datum de este mareógrafo:



Nota: La posición relativa de Clavo y Mareógrafo está simplificada.

Figura 40 Esquema del datum del Mareógrafo Valencia 3. Cotas en metros. Fuente: Puertos del Estado.

Para la transformación de los Ceros de Referencia de los datos de la serie, la página web de Puertos del Estado indica:

- Para referir al cero geodésico nacional (IGN) = NMMA: nivel + 0,009 m
- Para referir al cero hidrográfico (IHM) = LAT¹: nivel + 0,36 m
- Para referir al elipsoide (WGS84): nivel + 49,935 m

7.2.2 Caracterización

El nivel de marea, marea total o nivel del mar, NM, se obtiene como suma de las variables marea astronómica (MA), componente determinista de la marea resultante de la atracción gravitatoria del sistema tierra-luna-sol, y marea meteorológica (MM), componente aleatoria reflejo de las condiciones de presión atmosférica reinantes, tal que: $MA+MM=NM$. Estas componentes astronómica y meteorológica, así como el nivel total de las aguas para el Puerto de Valencia, y sus máximos y mínimos, se representan en la siguiente gráfica, con los datos de 1992 a 2022.

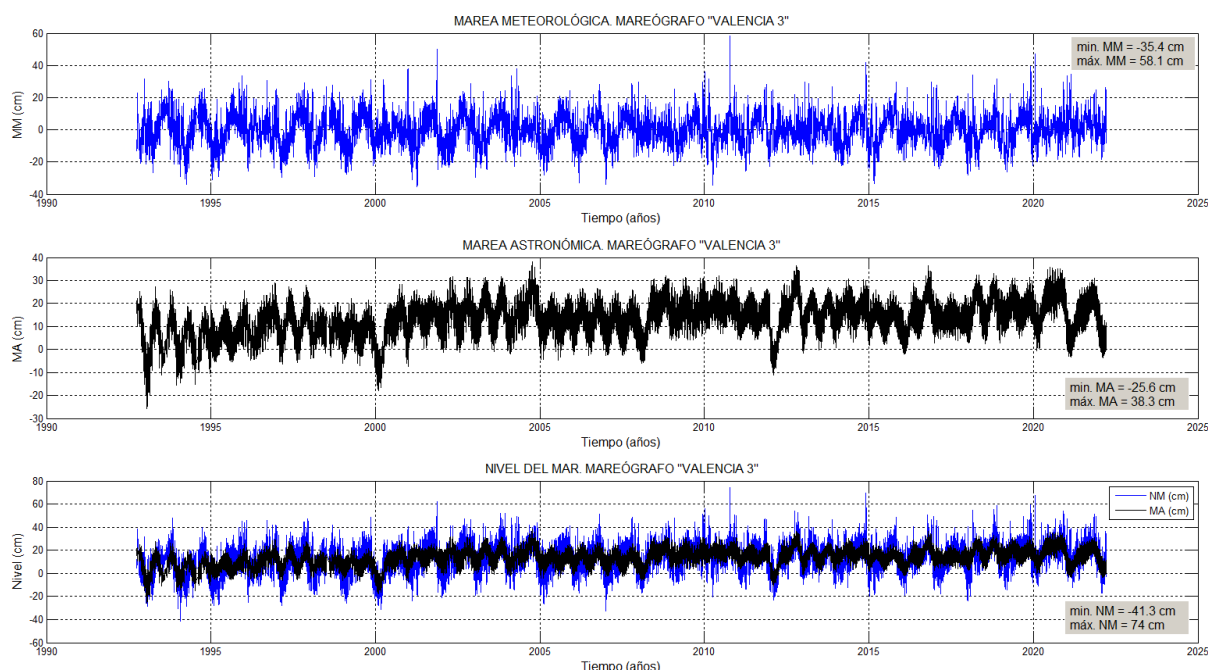


Figura 41 Series de marea meteorológica (MM), marea astronómica (MA) y nivel del mar (NM) del mareógrafo de Valencia.

En relación a la marea astronómica, ésta presenta un régimen mixto, con predominancia diurna, y carrera micromareal.

Para la obtención de los niveles de mar de cálculo, definidas en el apartado 7.1.4.3, se ha calculado el Nivel Medio del Mar (NMM) de la serie (1992-2022), se han referenciado los valores de nivel medidos por el mareógrafo a dicho valor, y se han obtenido: la Serie de Niveles Altos de las aguas (valores positivos por encima del NMM) y la Serie de Niveles Bajos de las aguas (valores negativos por debajo del NMM). A partir de estas series de datos se lleva a cabo la caracterización estadística, obtención de

¹ Lowest Astronomical Tide

los regímenes medios y extremales.

El NMM en Valencia, promedio de los datos de la serie, se sitúa a +0,133 m del Cero REDMAR, y a 0,142 m del NMMA.

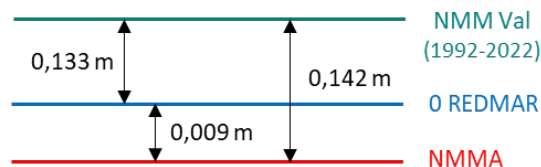


Figura 42 Esquema de datum para los niveles del registro.

Estas series de niveles altos y bajos de las aguas respecto al NMM en Valencia se presentan a continuación.

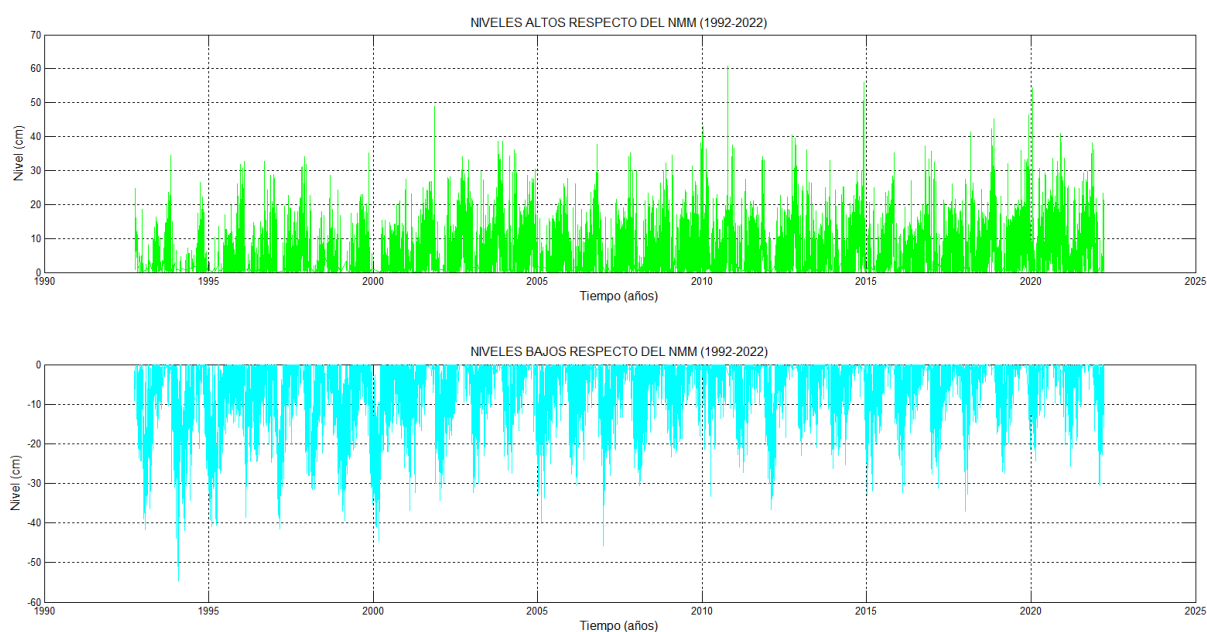


Figura 43 Series de Niveles Altos (sup.) y Niveles Bajos de las aguas respecto del NMM en el Puerto de Valencia.

7.2.3 Régimen medio de nivel del mar

Los valores de nivel del mar (cm) de las series de Niveles Altos (Niv. A) y Niveles Bajos (Niv. B) han sido ajustados a distintas funciones de distribución, presentando un buen ajuste a la función Weibull de mínimos.

La función de distribución Weibull de mínimos de una variable aleatoria x es:

$$F(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x - \lambda}{\delta} \right)^\beta \right]$$

Donde:

λ : es el parámetro de localización

δ : es el parámetro de escala

β : es el parámetro de forma

Las gráficas a continuación muestran el ajuste realizado, así como los valores de los parámetros de ajuste de la función.

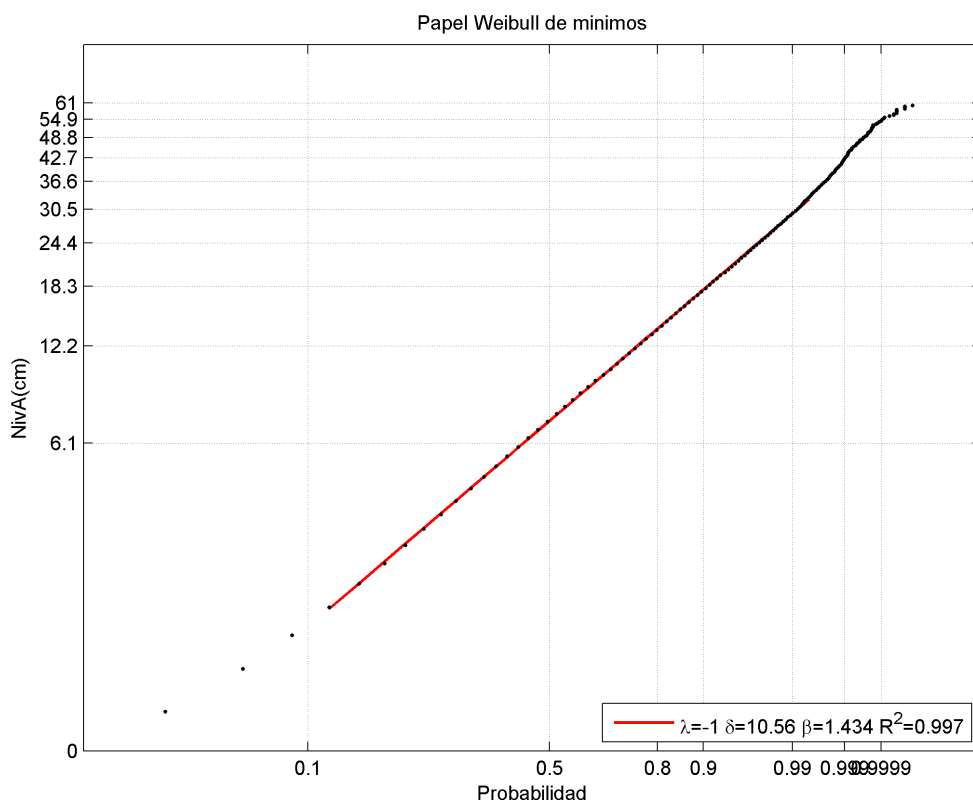


Figura 44 Régimen medio de los Niveles Altos de las aguas (Niv.A, cm).

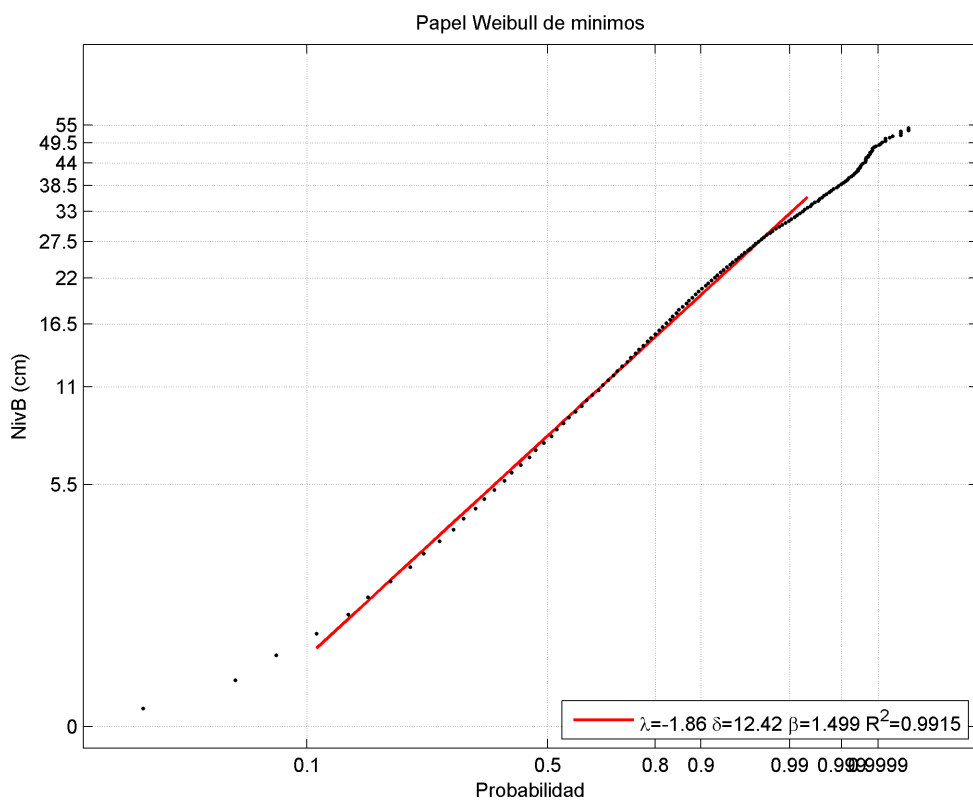


Figura 45 Régimen medio de los Niveles Bajos de las aguas (Niv.B, cm).

La tabla a continuación recoge los valores representativos del régimen medio del nivel del mar estimados a partir de los niveles de agua en el Puerto de Valencia, expresados respecto al nivel medio del mar en el puerto (NMM Val) y al NMMA (cero de referencia del proyecto), combinada marea astronómica-meteorológica.

NIVEL DE LAS AGUAS	Niveles en RM (cm NMM Val)			Niveles en RM (m NMM Val)			Niveles RM (m NMMA)		
	0,5	0,85	0,999	0,5	0,85	0,999	0,5	0,85	0,999
Nivel alto (NivA)	7,18	15,50	39,64	0,07	0,16	0,40	0,21	0,30	0,54
Nivel bajo (NivB)	-7,87	-17,18	-43,23	-0,08	-0,17	-0,43	0,06	-0,03	-0,29

Tabla 18. Niveles del mar en régimen medio en el Puerto de Valencia.

7.2.4 Régimen extremal del nivel del mar

Para la caracterización de los valores extremos de nivel del mar se sigue el método de selección de extremos de máximos anuales, y se ajustan los datos a la función 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:

- μ es el parámetro de localización
- Ψ es el parámetro de escala
- ξ es el parámetro de forma

Las siguientes gráficas muestran el ajuste realizado para los Niveles Altos (Niv. A) y Niveles Bajos (Niv. B) de las aguas con las bandas de confianza del 90%.

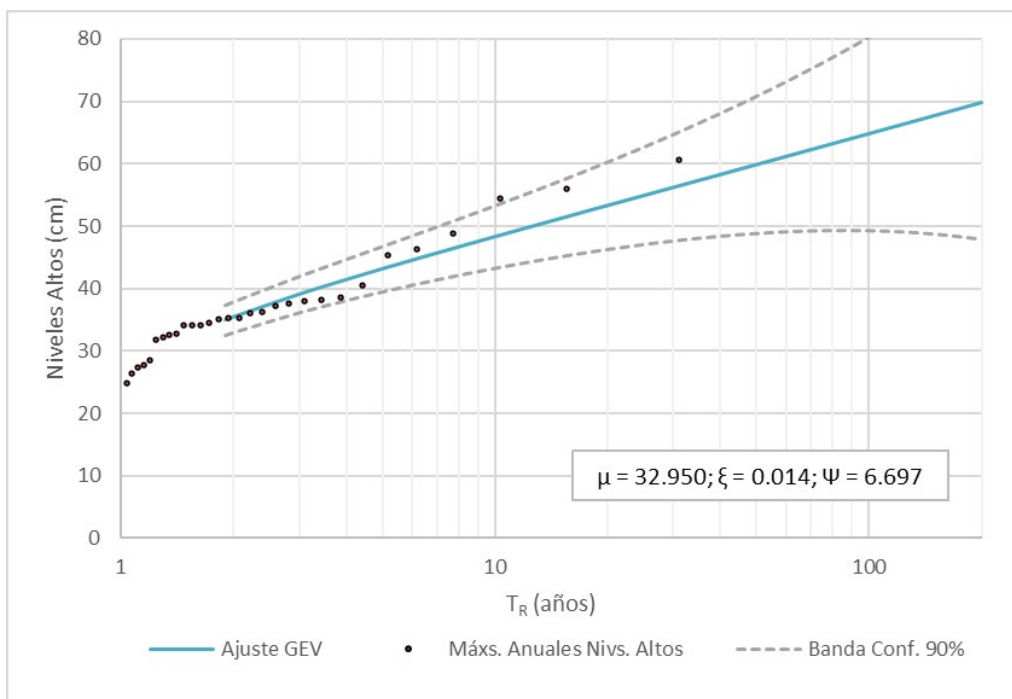


Figura 46 Régimen extremal de los Niveles Altos de las aguas.

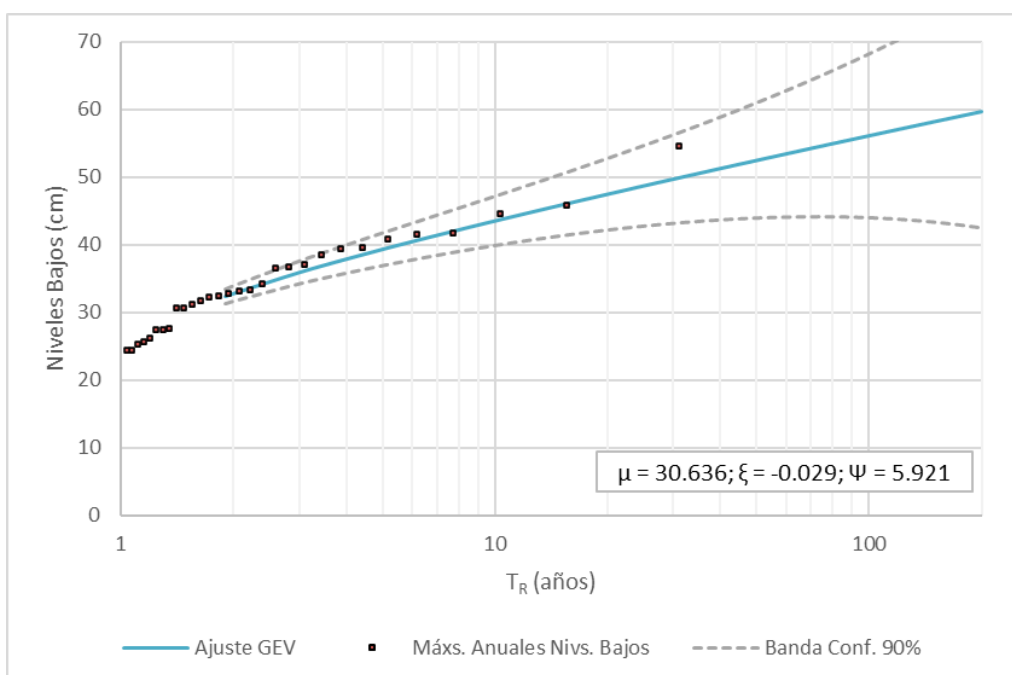


Figura 47 Régimen extremal de los Niveles Bajos de las aguas.

Del mismo modo que para el régimen medio, la siguiente tabla recoge los valores del nivel de las aguas en condiciones extremas para los distintos periodos de retorno considerados.

NIVEL DE LAS AGUAS	Niveles en RE (cm NMM Val) – $F(T_R \text{ en años})$					Niveles en RE (m NMMA) – $F(T_R \text{ en años})$				
	5	68	143	238	689	5	68	143	238	689
Nivel alto (NivA)	43,10	62,01	67,34	71,02	78,78	0,57	0,76	0,82	0,85	0,93
Nivel bajo (NivB)	-39,33	-54,11	-57,99	-60,59	-65,88	-0,25	-0,40	-0,44	-0,46	-0,52

Tabla 19. Niveles del mar en régimen extremal en el Puerto de Valencia.

7.2.5 Ascenso del nivel medio del mar por cambio climático

Según el Informe Especial “El océano y la criosfera en un clima cambiante” del *Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* de las Naciones Unidas (SROCC; IPCC, 2019), que forma parte del 6º periodo de evaluación, el nivel medio del mar a escala mundial está aumentando, y la aceleración observada en los últimos decenios obedece al ritmo cada vez más rápido de la pérdida de hielo de los mantos de hielo de Groenlandia y de la Antártida, así como a la pérdida constante de masa de los glaciares y la expansión térmica del océano. Los aumentos de los vientos y las precipitaciones de los ciclones tropicales, así como los incrementos de las olas extremas (que se hacen más frecuentes), combinados con el aumento del nivel del mar relativo agravan los fenómenos relacionados con el nivel del mar extremo y los peligros costeros.

El IPCC prevé que el aumento del nivel medio del mar a escala mundial en la RCP² 2,6 (escenario de bajas emisiones) será de 0,39 m (de 0,26 a 0,53 m, rango probable) para el período 2081-2100 y de 0,43 m (de 0,29 a 0,59 m, rango probable) en 2100 con respecto al período 1986-2005 (véase Figura 48). En la RCP 8,5 (escenario de altas emisiones), el aumento del nivel medio del mar a escala mundial correspondiente es de 0,71 m (de 0,51 a 0,92 m, rango probable) para el período 2081-2100 y de 0,84 m (de 0,61 a 1,10 m, rango probable) en 2100. Las proyecciones del aumento del nivel medio del mar en la RCP 8,5 en 2100 son 0,1 m más altas que las del 5º Informe de Evaluación, y el rango probable es superior a 1 m en 2100 debido a que se prevé una mayor pérdida de hielo del manto de hielo de la Antártida (nivel de confianza medio). La incertidumbre a finales de siglo está determinada principalmente por los mantos de hielo, sobre todo en la Antártida.

Este proceso agravará más los problemas de los temporales, incrementará la erosión costera, aumentará el rebase de estructuras marítimas y afectará a las áreas urbanizadas más próximas a la ribera del mar (inundaciones, pérdidas de tierras, salinización de reservas hídricas, etc.), de ahí que su consideración resulte fundamental en todo proyecto de ingeniería marítima.

² Trayectorias de concentración representativas (RCP): escenarios de emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso y cobertura de la tierra.

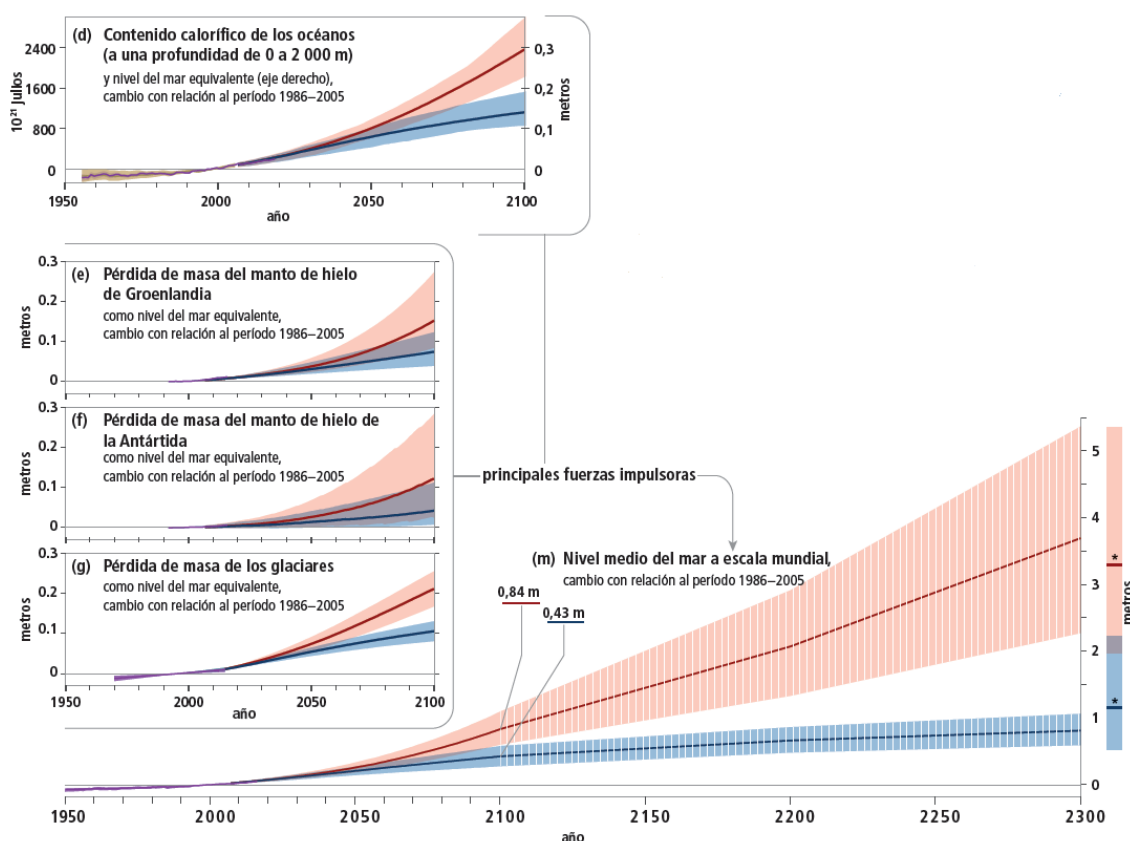


Figura 48 Cambio del nivel medio del mar a escala mundial. El sombreado con símbolos de almohadilla refleja un nivel de confianza bajo en las proyecciones del nivel del mar posteriores al año 2100, y las barras en el año 2300 reflejan conclusiones de expertos sobre el rango de posible cambio del nivel del mar. Fuente: Extracto de la Figura RRP.1 del SROCC del IPCC, 2019.

De hecho, la representación del nivel medio del mar anual del mareógrafo del Puerto de Valencia mostrada en la Figura 49, permite corroborar cómo se viene produciendo este incremento en el nivel del mar en el entorno de la actuación. El ascenso total observado es de unos 14 cm entre 2021 y 1993, 29 años, que se traduce en una tasa de ascenso anual de 0,45 cm/año.

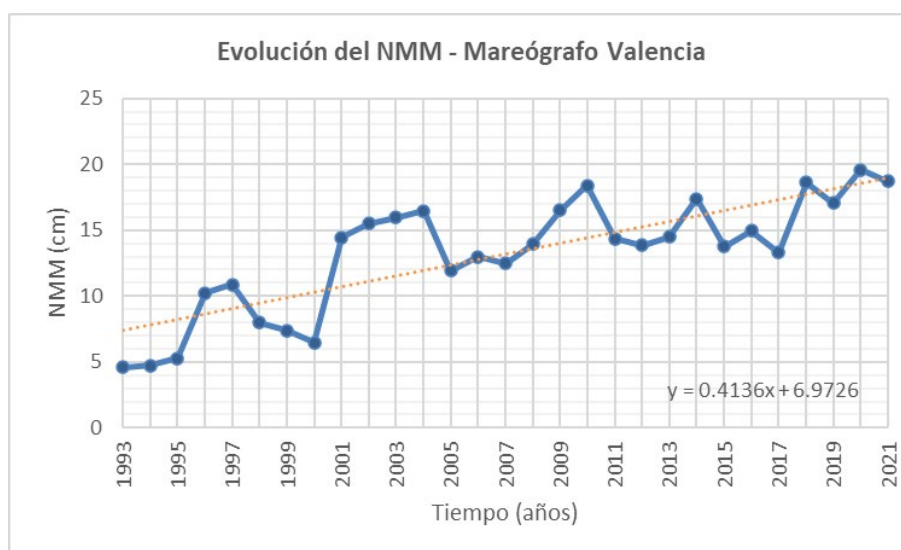


Figura 49 Evolución del nivel medio del mar anual observada en el Puerto de Valencia a través de los datos del mareógrafo. Datos respecto el Cero REDMAR o Cero del Puerto.

El contenido de la evaluación de los efectos del cambio climático para proyectos en el litoral queda recogido en el artículo 92 del Reglamento General de Costas (*Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas*) donde se establece que en caso de obras de protección del litoral, puertos y similares, el efecto del cambio climático en las dinámicas costeras actuantes deberán ser evaluadas en un periodo temporal mínimo de 50 años desde la fecha de solicitud.

En cumplimiento de la normativa vigente y dada la tipología de las obras a plantear, se procede a estimar el futuro incremento del nivel del mar en la zona a año horizonte 2074, 50 años desde la fecha de proyecto.

El visor del proyecto C3E, que integra los resultados del proyecto "Cambio Climático en la Costa Española" desarrollado por el "IH Cantabria" en el período 2009-2012 para la *Oficina Española de Cambio Climático*, establece para la zona objeto de proyecto (Figura 50) los siguientes incrementos del nivel del mar ($\Delta\text{MSL}_{\text{CC}}$) según los periodos temporales horizonte y escenarios de cambio considerados:



Figura 50 Proyección de aumento del nivel medio del mar del Visor C3E para la zona en estudio a un periodo horizonte de 2081-2100 bajo el escenario de emisiones RCP8.5 más desfavorable. Basado en el Informe AR5 del IPCC.

Escenarios de cambio	Años horizonte	$\Delta\text{MSL}_{\text{CC}}$ (m)
RCP4.5	2026-2045	0,1496
	2081-2100	0,4303
RCP8.5	2026-2045	0,1599
	2081-2100	0,5773

Tabla 20. Incrementos del nivel del mar por cambio climático proyectados en el visor C3E para la zona de actuación.

Estos aumentos del NMM dados por el visor C3E se corresponden a las elevaciones proyectadas según datos del 5º Informe de Evaluación del IPCC (AR5) respecto del valor del NM promediado en el periodo 1985-2005. Desde entonces, el nivel del mar ha ido ascendiendo, por lo que para conocer dicho

incremento desde la actualidad hasta el 2073, se recurre al “Atlas Interactivo del Grupo de Trabajo I del IPCC” como parte del trabajo desarrollado por éste en el 6º periodo de evaluación (AR6), y por ello actualizado a los progresos en la investigación científica. Los resultados se presentan en la Tabla 21.

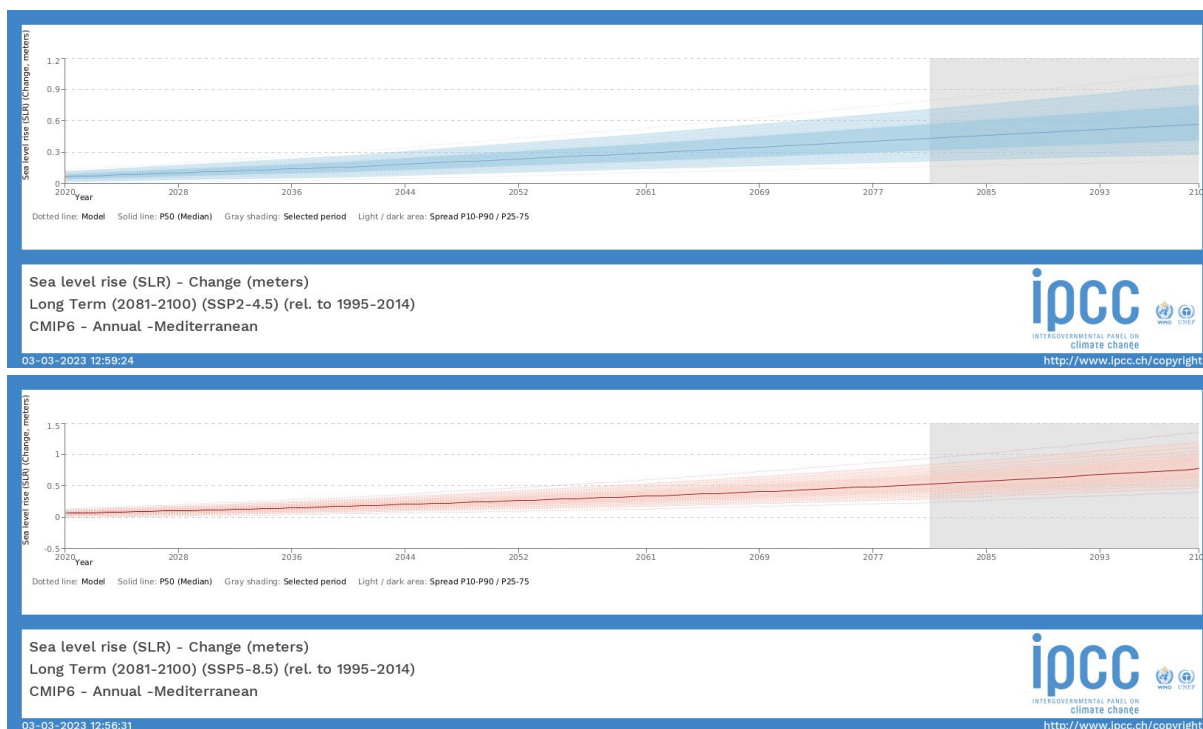


Figura 51 Proyecciones de ascenso del nivel del mar (m) en el Mediterráneo para los escenarios de emisiones: RCP 4.5 (sup.) y RCP 8.5 (inf.). Fuente: Atlas Interactivo del WGI-IPCC-AR6 (<https://interactive-atlas.ipcc.ch>).

Escenarios de cambio	Año horizonte	$\Delta\text{MSL}_{\text{CC}}$ (m)
RCP4.5	2074	0,295
RCP8.5	2074	0,377

Tabla 21. Incrementos del nivel del mar por cambio climático a año horizonte 2073 desde la actualidad proyectados por el Atlas Interactivo del IPCC (AR6).

7.3 PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

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 = $1/T_p$
 - γ : 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:
 - θ_m ($^\circ$): dirección media del oleaje
 - σ_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: D_x , D_y .

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.

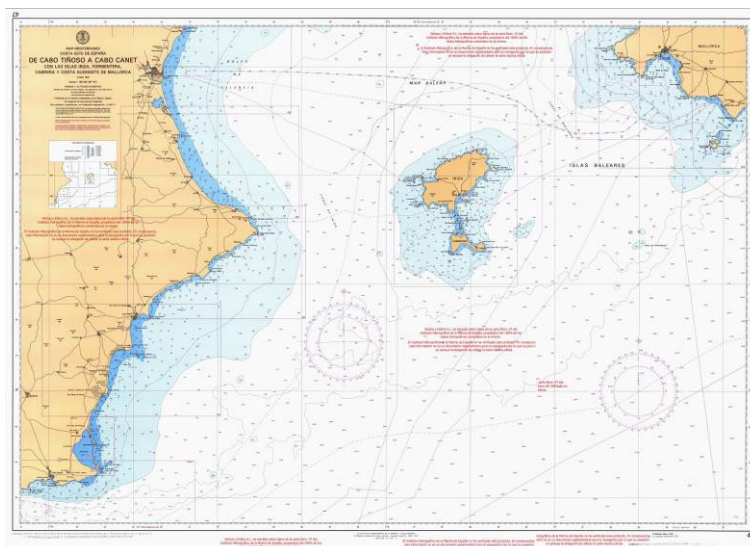


Figura 52 Carta náutica nº47 del Instituto Hidrográfico de la Marina.

- 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.

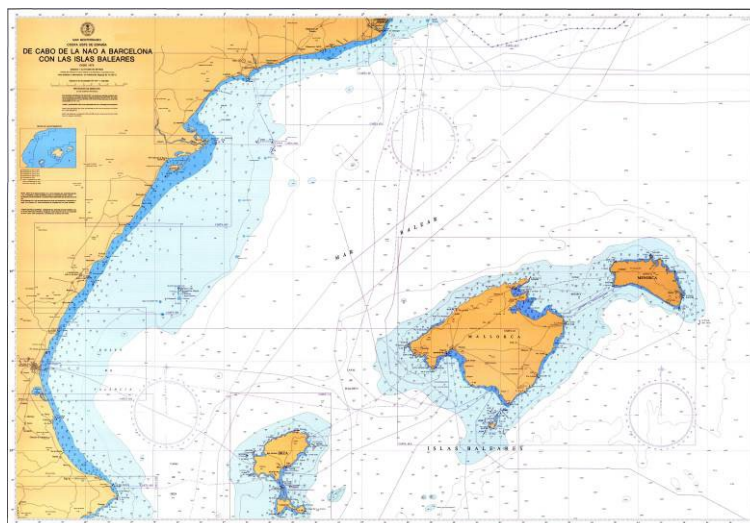


Figura 53 Carta náutica nº48 del Instituto Hidrográfico de la Marina.

- 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.

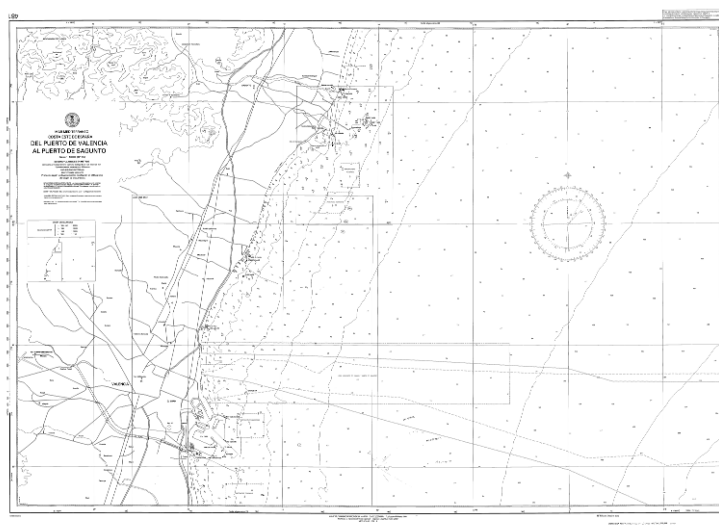


Figura 54 Carta náutica nº481 del Instituto Hidrográfico de la Marina.

- 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 la 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.

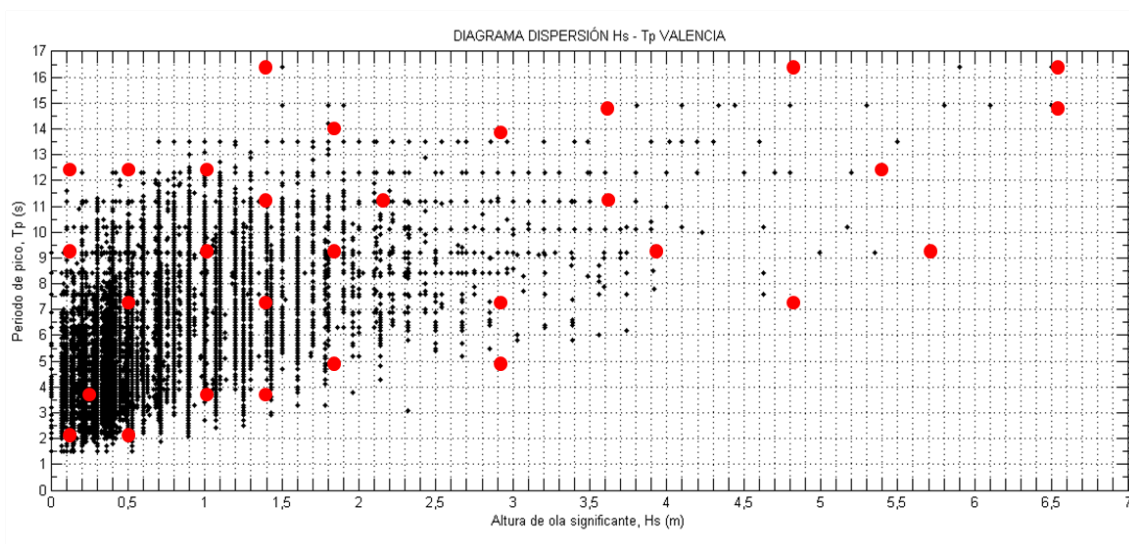


Figura 55 Diagrama de dispersión H_s - T_p donde se muestran los estados de mar escogidos para la propagación.

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 22. 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 1 familia de 3 mallas encadenadas que parten en aguas profundas (límite de la malla exterior calculado para el mayor T_p a propagar), hasta llegar a la

costa, propagando los grupos direccionales del oleaje en función de su orientación.

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).

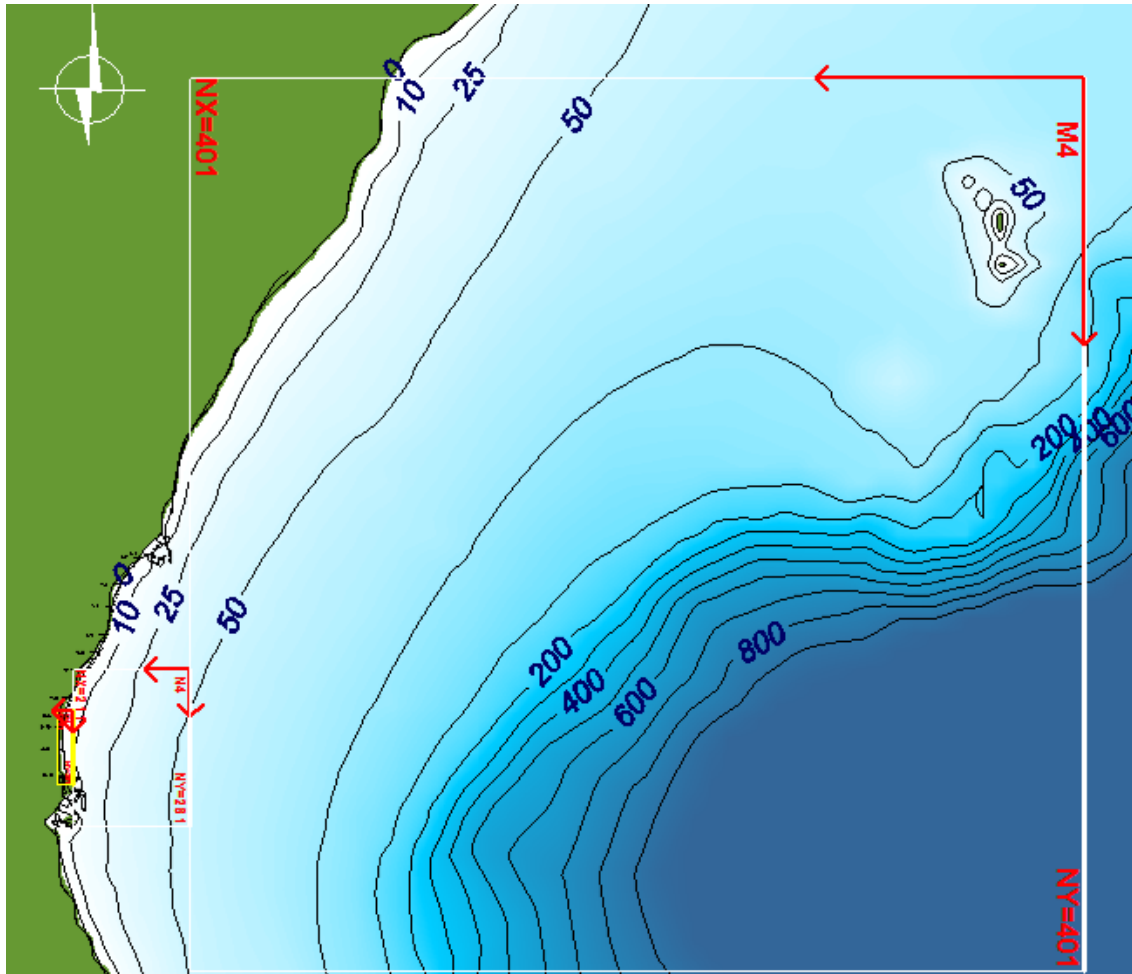
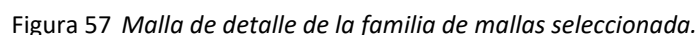


Figura 56 Grupo de mallas encadenadas.



7.4.1 Selección del punto objetivo en la costa

En la Tabla 23 se presentan las coordenadas de este punto (nodo 10) de control escogido para la reconstrucción del clima marítimo, cuya posición en planta puede observarse en la imagen de la Figura 58.

Tabla 23. *Coordenadas del nodo objetivo en la costa.*

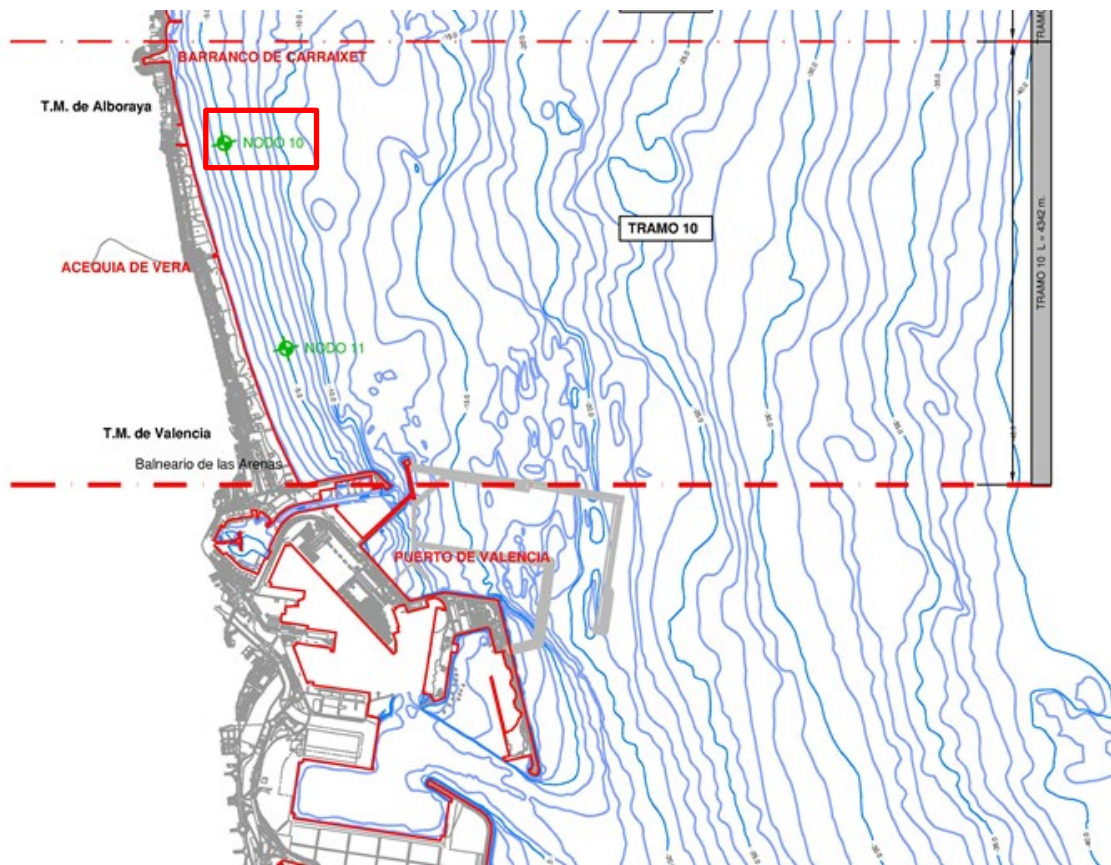


Figura 58 Localización del nodo objetivo en la costa.

7.4.2 Reconstrucción del clima marítimo en la costa

7.4.2.1 Análisis direccional

En la Figura 59 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.

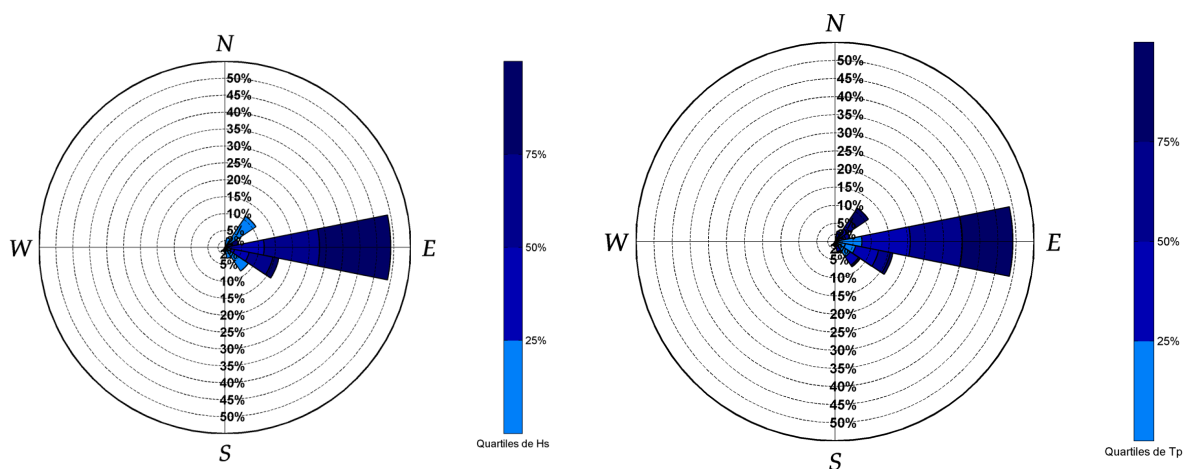


Figura 59 Rosas de Hs (izq.) y Tp (dcha.) del oleaje en la costa.

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:

λ es el Parámetro de localización (moda de la distribución)

δ es el Parámetro de escala (proporcional a la desviación típica de la distribución)

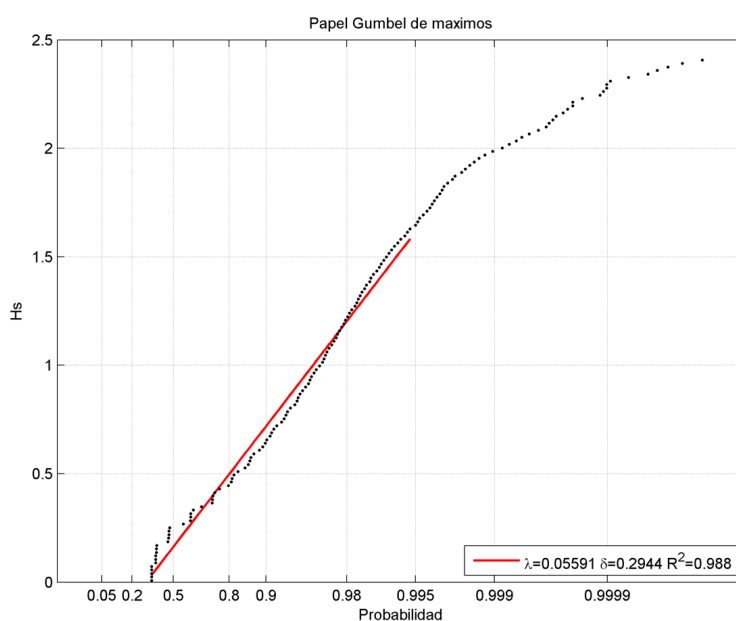


Figura 60 Régimen medio escalar del oleaje en la costa.

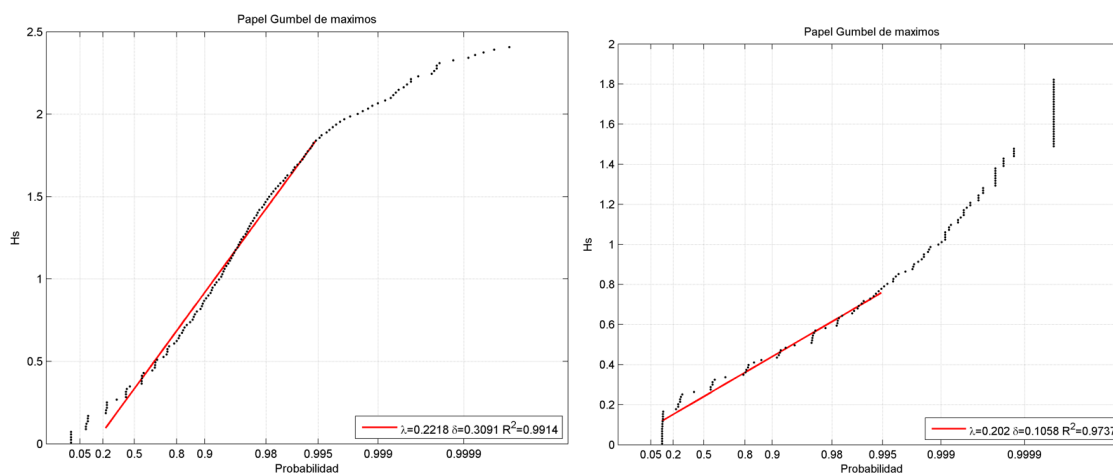


Figura 61 Régimen medio direccional del oleaje en la costa. Dirección E (izq.) y ESE (der.).

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

TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida: Hs

direcciones(°)	prob.direccion	Hs _{50%}	Hs _{90%}	Hs _{99%}	Hs ₁₂
N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNE	0.0291	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NE	0.1104	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ENE	0.0420	0.4295	0.6690	1.0787	1.3074
E	0.4906	0.3610	0.8803	1.6617	2.0371
ESE	0.1627	0.2686	0.4321	0.6846	0.9884
SE	0.0835	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSE	0.0326	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
S	0.0139	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0113	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 24. 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:

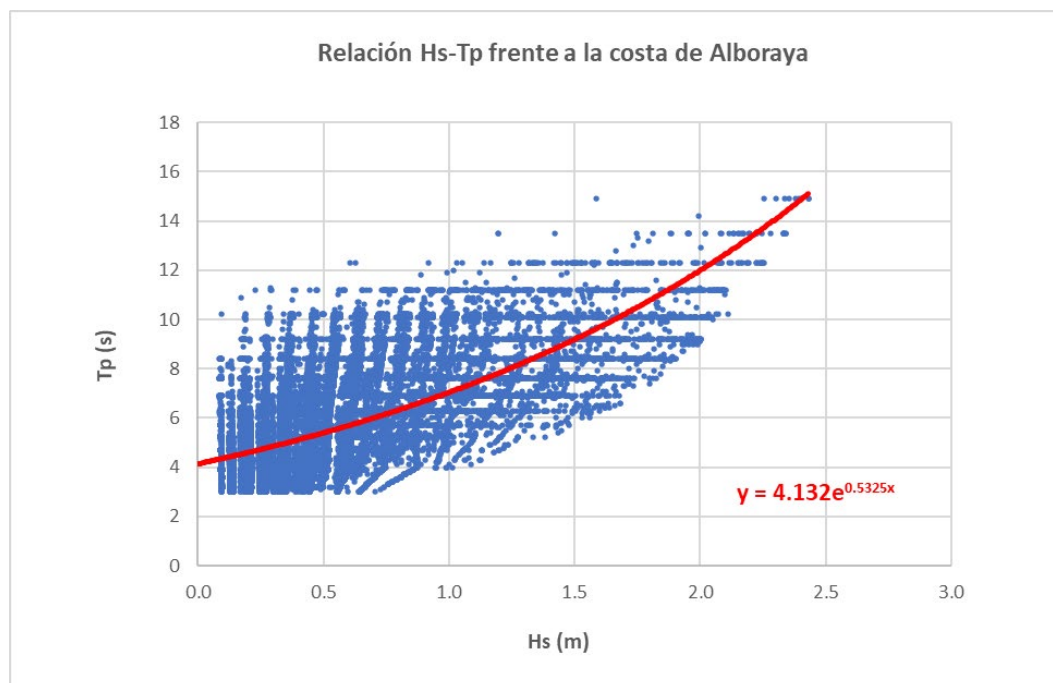


Figura 62 Relación Hs-Tp del oleaje en la costa objeto de estudio.

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:

μ es el parámetro de localización

ψ es el parámetro de escala

ξ es el parámetro de forma

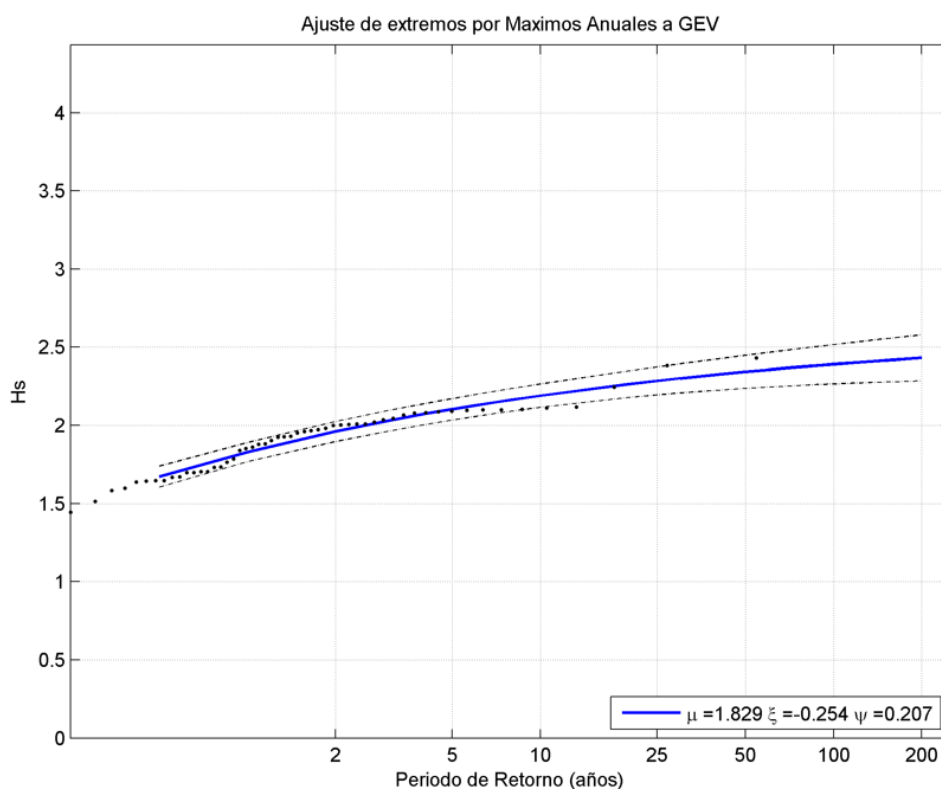


Figura 63 Régimen extremal del oleaje en la costa.

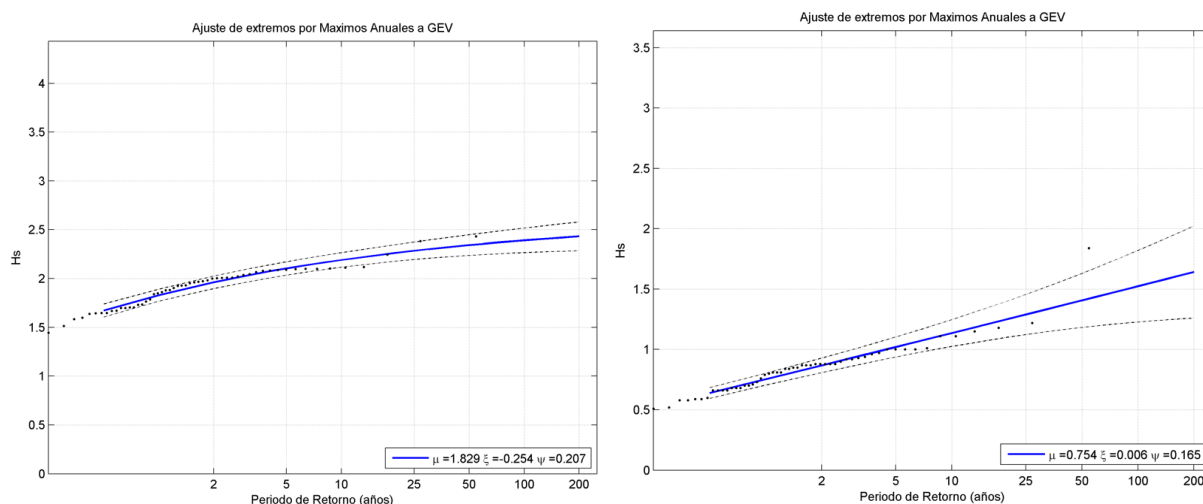


Figura 64 Régimen extremal direccional del oleaje en la costa. Direcciones E (izq.) y ESE (dcha.)

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 62.

Dirección	Parámetros Ajuste (GEV)			H_s (m) f (T_R)	T_p (s)	H_s (m) f (T_R)	T_p (s)	H_s (m) f (T_R)	T_p (s)	H_s (m) f (T_R)	T_p (s)
	μ	ψ	ξ	68	asocs.	143	asocs.	238	asocs.	689	asocs.
E	1.829	0.207	-0.254	2.36	14.55	2.41	14.93	2.44	15.16	2.49	15.55
ESE	0.754	0.165	0.006	1.46	8.98	1.58	9.61	1.67	10.06	1.85	11.09

Tabla 25. Estados de mar en RE en la costa de la Playa de Alboraya para los distintos periodos de retorno considerados.

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 batimetría 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 26 y puede visualizarse en la Figura 65, 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 (°)	Orientación tramo de costa (°)	Ángulo entre el FME y la paralela a la costa (°)
N89.2E	N1W	90

Tabla 26. Dirección FME en los nodos de control, orientación de la costa y ángulo relativo entre ambos

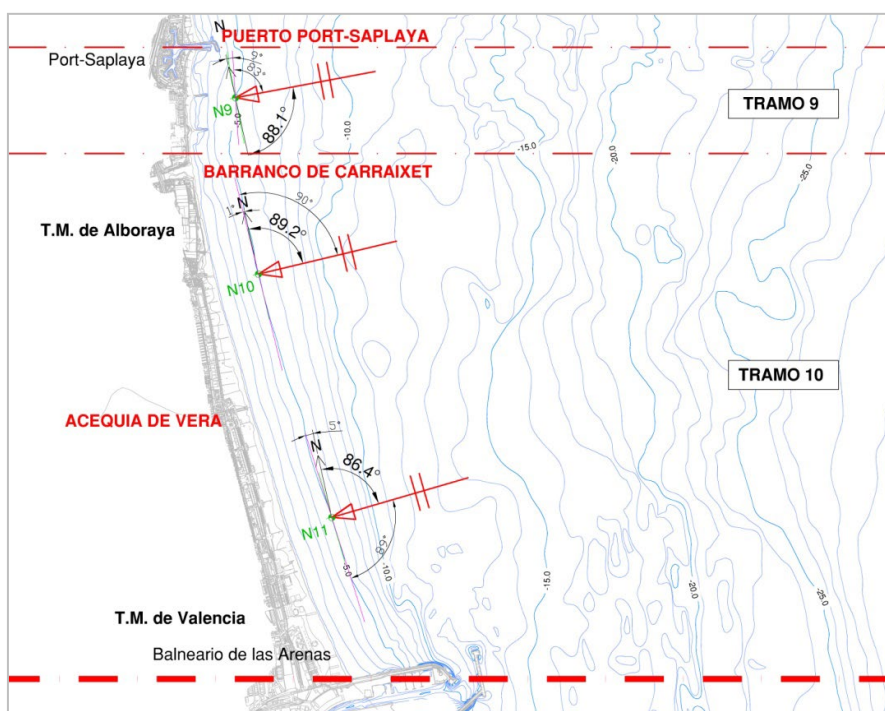


Figura 65 Dirección del FME a -5 m de profundidad frente a la costa en estudio.

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 en la unidad fisiográfica entre los Puertos de Sagunto y Valencia.

El análisis del flujo medio de energía en el tramo 10 revela una tendencia a la estabilidad a largo plazo de la línea de orilla, que presenta una alineación media muy próxima a la orientación teórica de equilibrio (90° al norte de la acequia de la Vera y 89° al sur) y, por tanto, una potencialidad de transporte asociada muy reducida.

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.

El tramo objeto de estudio, tal como se ha definido en la Figura 4, comprende las playas de Alboraya (o els Peixets), la Patacona y la playa de la Malvarrosa, con una extensión total de aproximadamente 4.340 m.

La reproducción discretizada de la línea de orilla en este frente costero se ha llevado a cabo mediante la proyección de ortogonales al frente de oleaje en 43 puntos de control distribuidos cada 10 m sobre la batimétrica de -2 m.

Como resultado se obtiene que la línea de orilla discretizada reproduce fielmente la línea de costa actual a lo largo de toda su extensión.

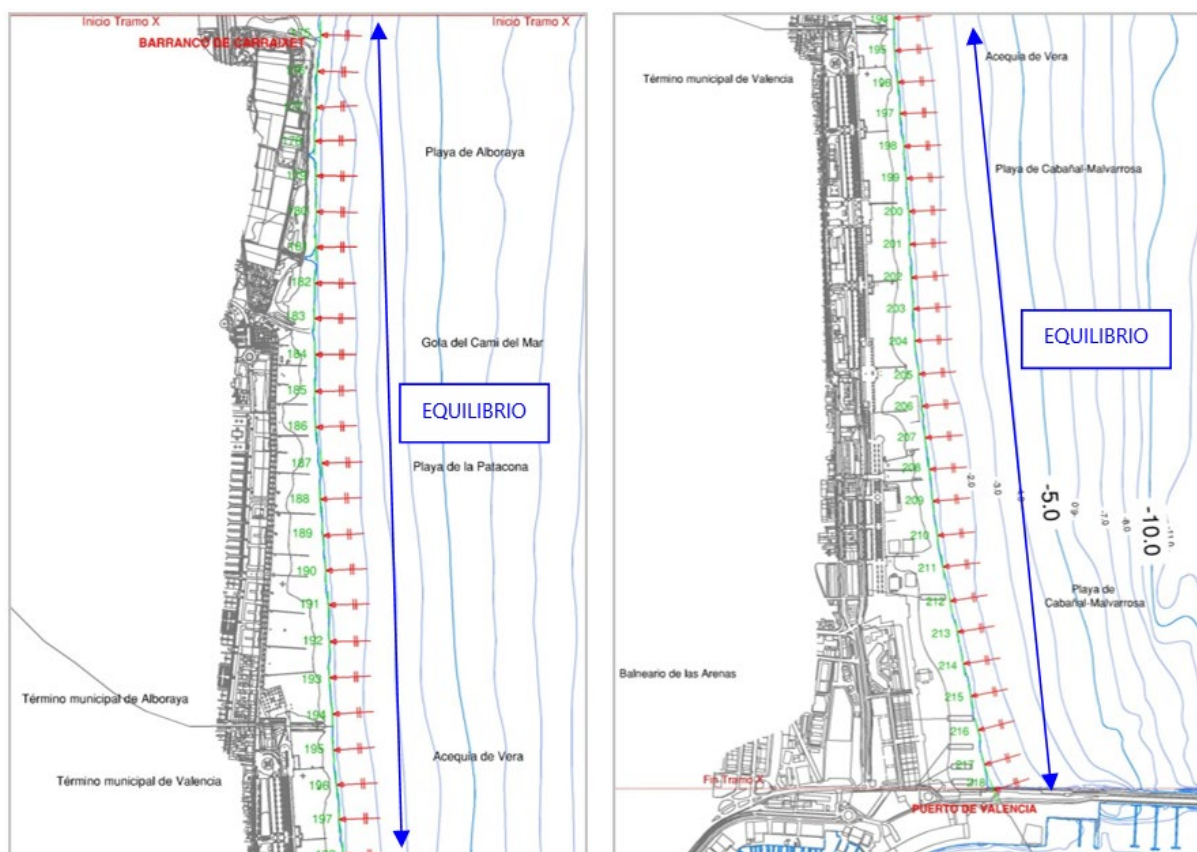


Figura 66 Planta de equilibrio discretizada a partir del FME a -2 m de profundidad.

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)

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

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_{s12} (m)	T_s (s)	Hallermeier (m)	Birkemeier (m)
10	730638.482	4375173.07	-5	1.7619	9.66	3.8	2.9

Tabla 27. Profundidad de cierre en el 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_{s12} media en aguas profundas de los 53 años de la serie, sin considerarse por tanto los efectos del fondo; y (b) la H_{s12} 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_{s12} media del registro.

Para ello se calcula la H_{s12} 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 $\overline{H_{s12}} = 2.3 \text{ m}$ 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_{s12} 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 $H_{s12} (-6\text{m}) = 3 \text{ m}$.

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

- Profundidad de cierre (h^*) para $H_{s12} (-4\text{m}) = 2 \text{ m}$.

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

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, en dos de las playas de la zona de actuación, entre ellas la Playa de la Malvarrosa.

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 La Malvarrosa, 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.

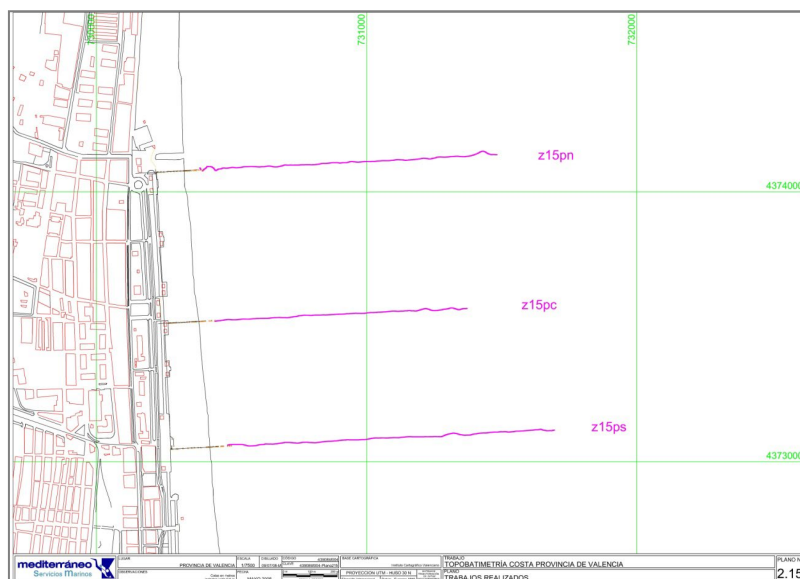


Figura 67 Emplazamiento de los perfiles de playa levantados en la playa de la Malvarrosa.

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 las siguiente figura se observa que las variaciones temporales de los perfiles de la playa de la Malvarrosa 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.

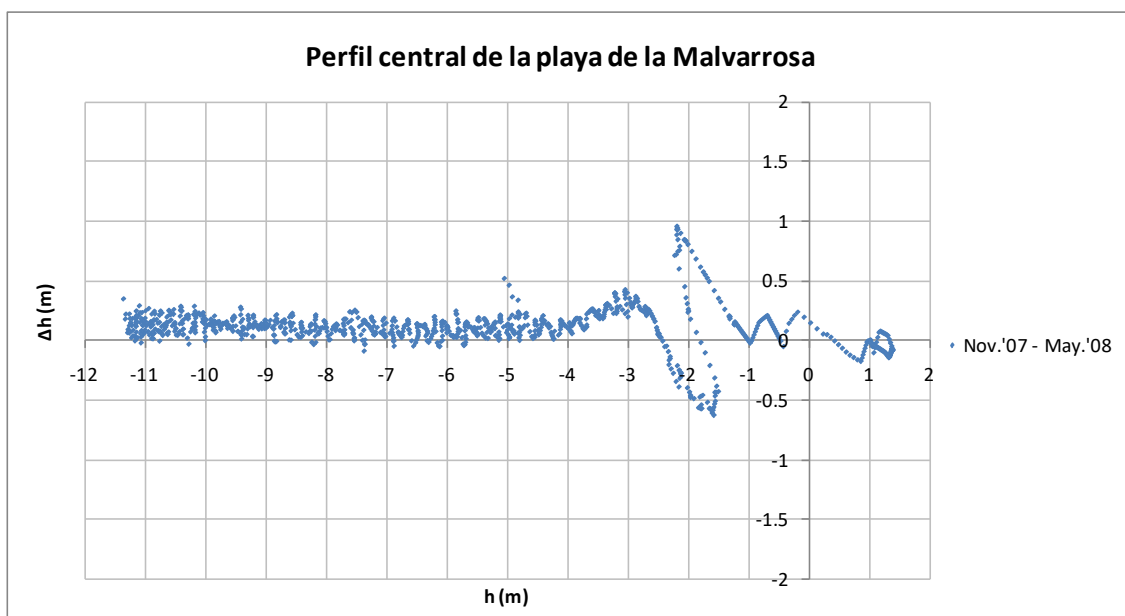


Figura 68 Variación de la profundidad (Δh) del perfil central de la playa de la Malvarrosa entre octubre de '09 y junio de '10.

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 costa³, 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.

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.

³ Coastal Engineering Manual (CEM). USACE

Años	Variación de Superficie (m ² /año/m)									
	Tramo 1 Grau Vell	Tramo 2 Marjal de los Moros	Tramo 3 Puzol	Tramo 4 El Puig Norte	Tramo 5 El Puig Sur	Tramo 6 Puebla de Farnals	Tramo 7 Defensa escollera	Tramo 8 Meliana	Tramo 9 Port-Saplaya	Tramo 10 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 28. Avance/retroceso medio en cada tramo y periodo. (Valores positivos acreción y valores negativos erosión).

Años	Volúmenes medidos V _{m,i} (m ³ /año)									
	Tramo 1 Grau Vell	Tramo 2 Marjal de los Moros	Tramo 3 Puzol	Tramo 4 El Puig Norte	Tramo 5 El Puig Sur	Tramo 6 Puebla de Farnals	Tramo 7 Defensa escollera	Tramo 8 Meliana	Tramo 9 Port-Saplaya	Tramo 10 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 29. Variación de volumen medido por tramo y periodo. (Valores positivos acreción y valores negativos erosión).

Aplicándolo a los datos de la Tabla 29, 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_{s,i}=Volumen de salida del tramo i (m³/año)

V₁, 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_{m,i}= 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 30).

La Figura 69 explica de forma esquemática las variables que interviene en la formulación de estimación del balance sedimentario en cada celda de estudio:

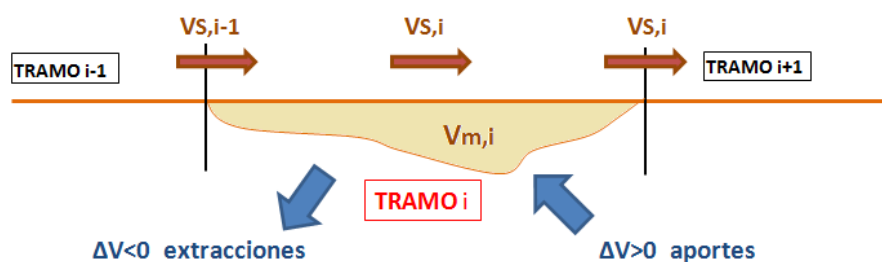


Figura 69 Esquema de cálculo del balance sedimentario en el tramo i

Años	Transporte (m ³ /año/m)									
	Tramo 1 Grau Vell	Tramo 2 Marjal de los Moros	Tramo 3 Puzol	Tramo 4 El Puig Norte	Tramo 5 El Puig Sur	Tramo 6 Puebla de Farnals	Tramo 7 Defensa escollera	Tramo 8 Meliana	Tramo 9 Port-Saplaya	Tramo 10 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 30. Transporte por periodo y tramo adimensionalizado (m³/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	0.1			
2007-2009										

Tabla 31. Transporte por tramo y periodo de actuaciones adimensionalizado (m³/año/m).

Finalmente, si se considera la longitud de cada tramo en los periodos de tiempo considerados, el resultado de transporte en m³/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	48703			
1972-1977				24074	19283	41624		55024	48104				
1977-1981						24042	20938	16083	37961				
1981-1986													
1986-1992								27515					
1992-1994													
1994-1996													
1996-1998													
1998-2007	3104	18462	38095				537						
2007-2009			15648										

Tabla 32. Transporte por tramo y periodo de actuaciones (m³/año).

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

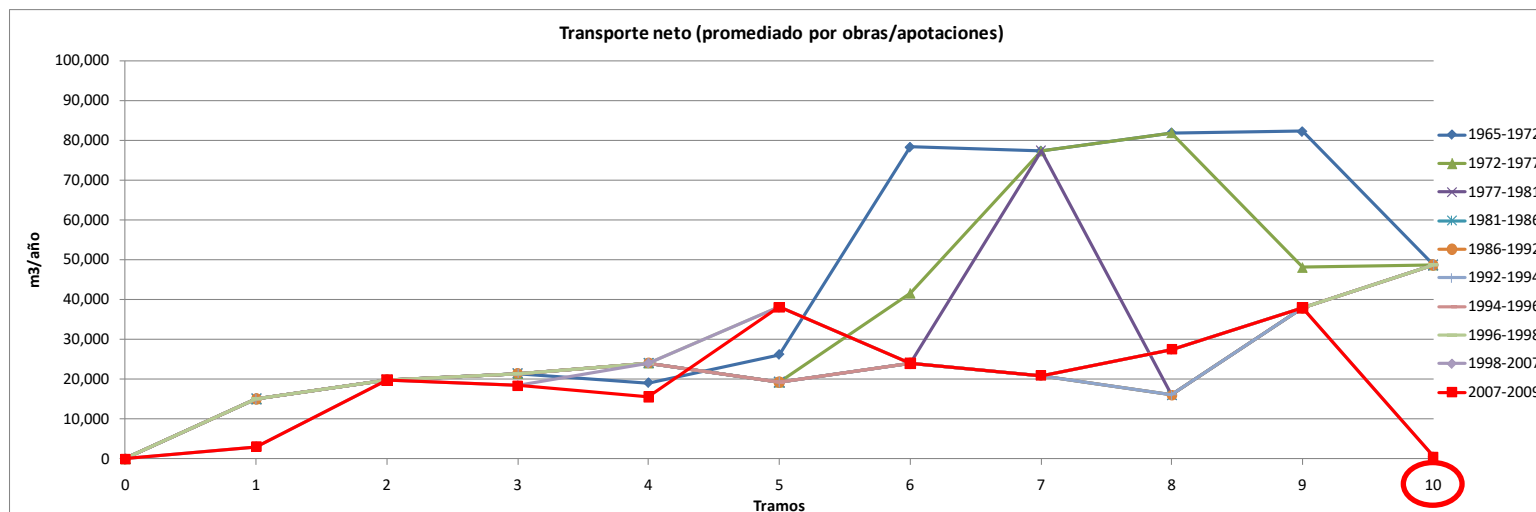


Figura 70 Transporte por tramo y periodo de actuaciones (m³/año).

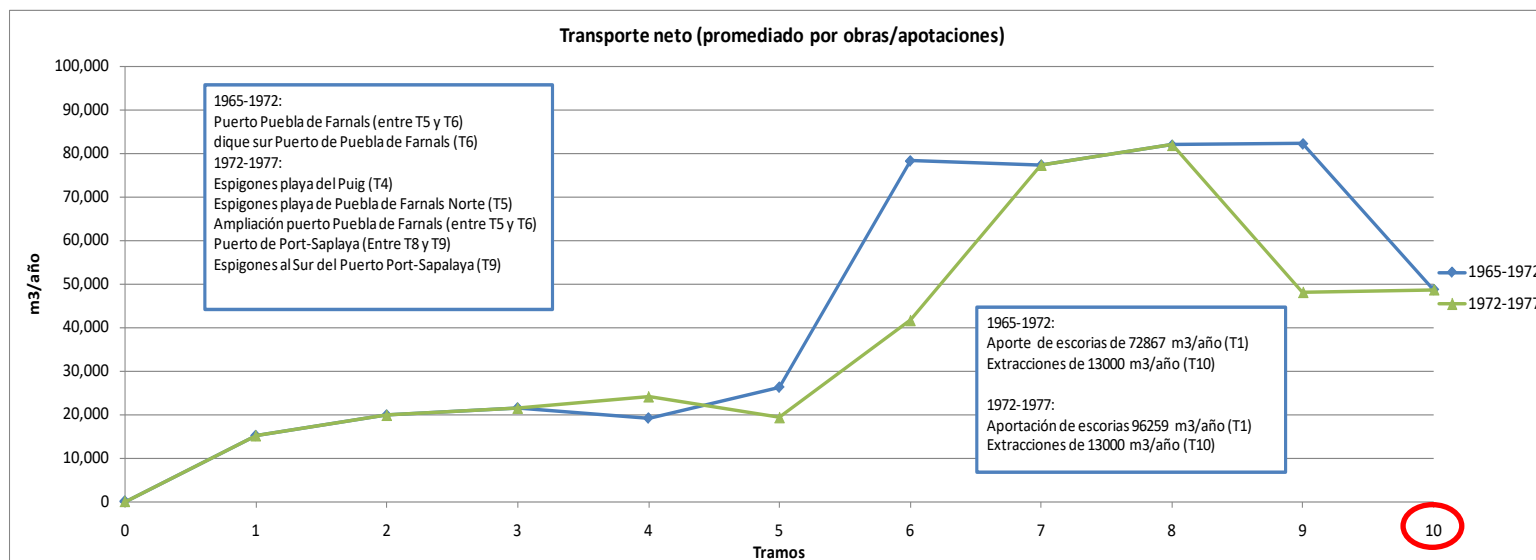


Figura 71 Transporte por tramo y periodo 1965-1977 (m³/año).

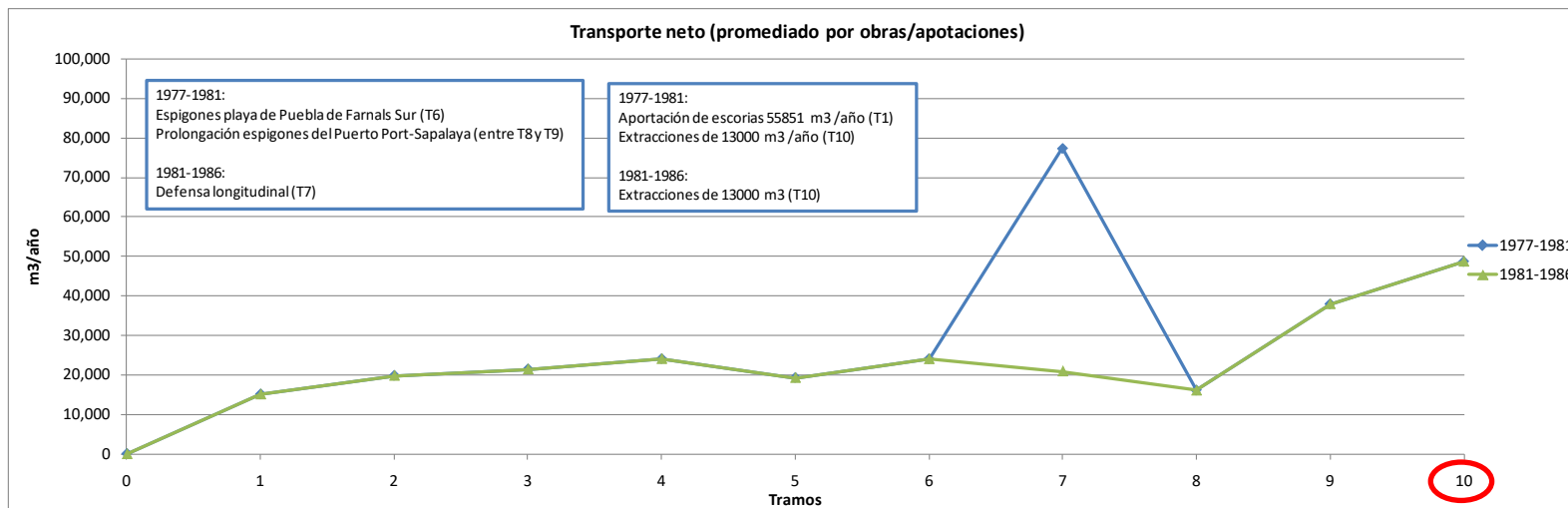


Figura 72 Transporte por tramo y periodo 1977-1986 ($m^3/año$).

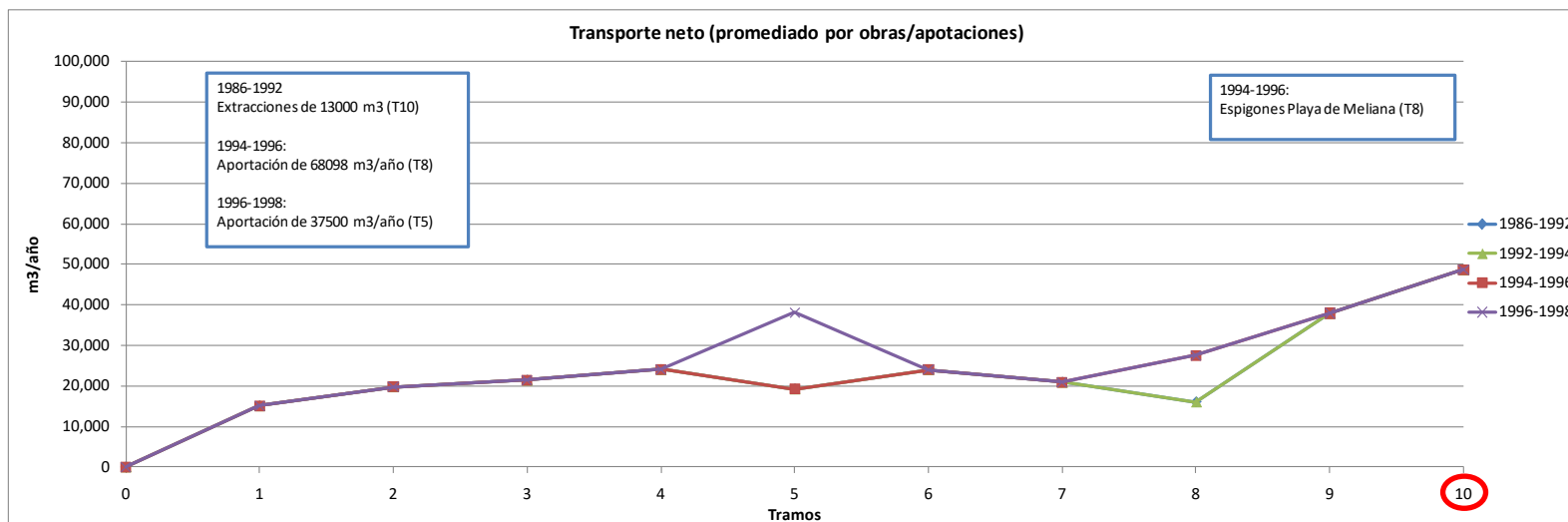


Figura 73 Transporte por tramo y periodo 1986-1998 ($m^3/año$).

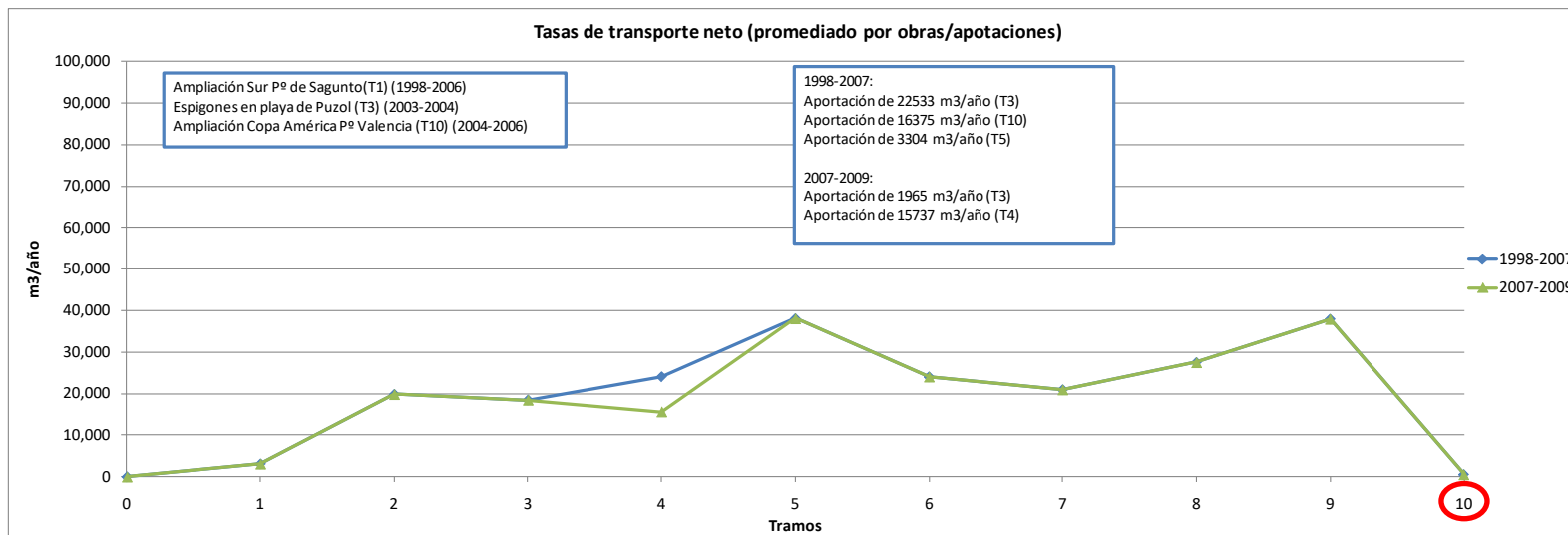


Figura 74 Transporte por tramo periodo 1998-2009 (m³/año).

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.

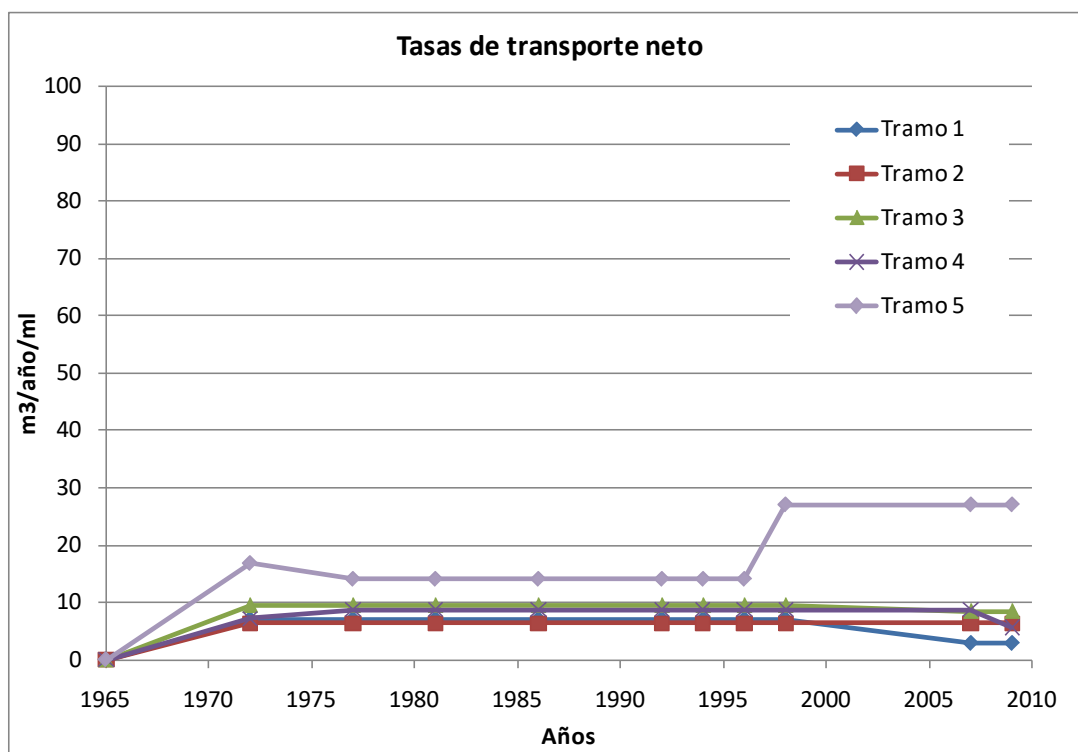


Figura 75 Tasa de transporte por tramos ($m^3/año/m$). Tramos del 1 al 5.

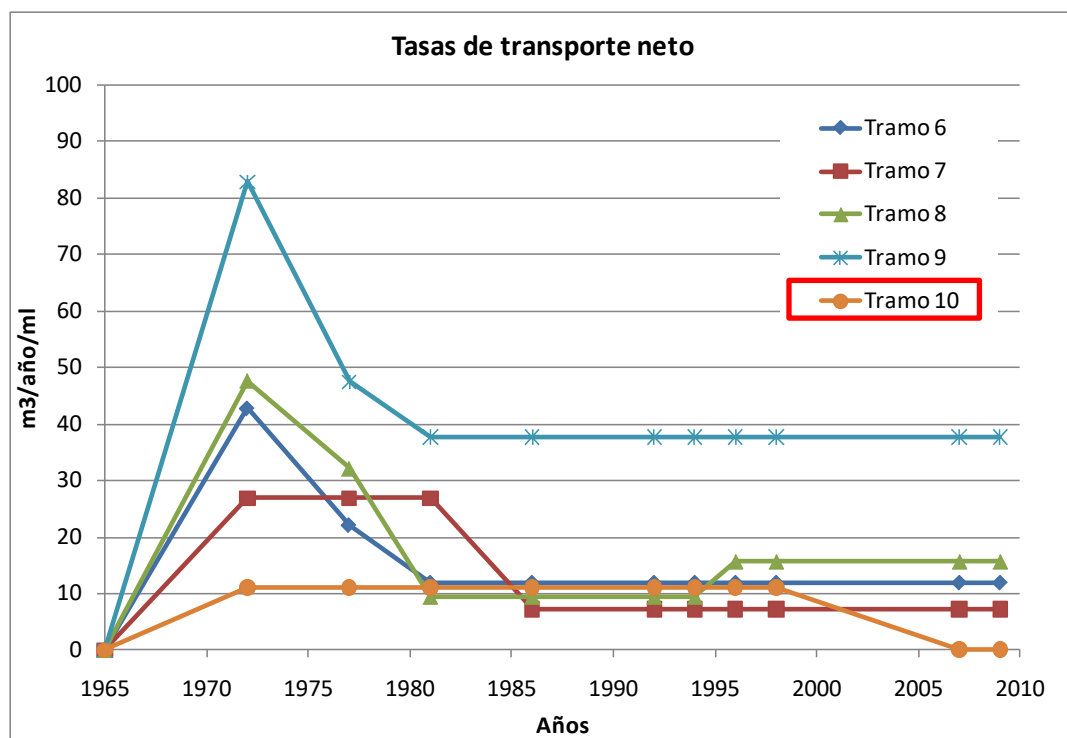


Figura 76 Tasa de transporte por tramos ($m^3/año/m$). Tramos del 6 al 10.

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 escollorado.
- 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 α_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 Hipercubico 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.

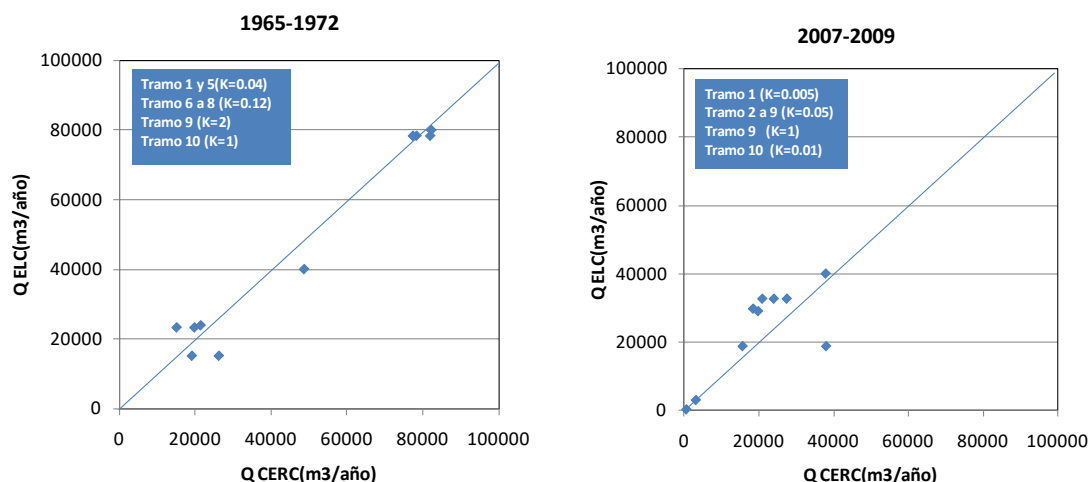


Figura 77 Comparación de $Q(m^3/año/tramo)$ observados en ELC y estimados con modelo (CERC)

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 períodos de temporales considerados.

		VS ($m^3/año$)									
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			9	10
CERC	1965-1972	N1	N1	N2	N3	N3	N4	N4	N4	N5	N5
	k	23212	23212	23811	15052	15052	78346	78346	78346	79959	39980
	2007-2009	3104	29015	29763	18815	18815	32644	32644	32644	39980	400
CERC	k	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.120	0.120	0.120	2.000	1.000
	k	0.005	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	1.000	0.010

Tabla 33. 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 NÚMERICO (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.

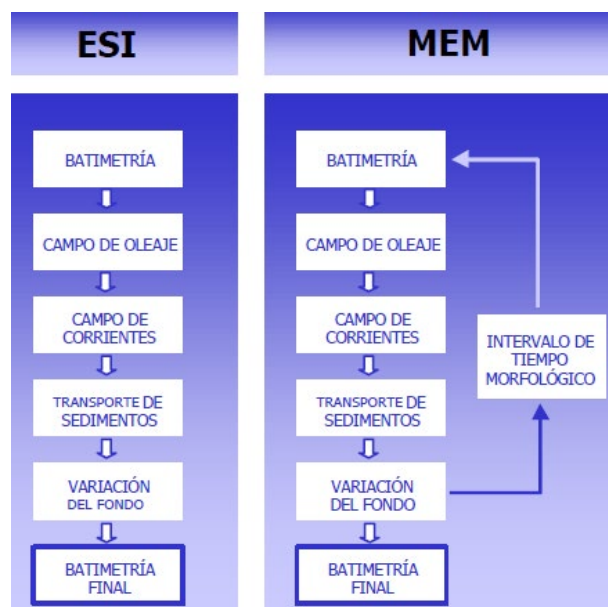


Figura 78 Diagramas de flujo de los modelos ESI y MEM del EROS.

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^2/s)

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

ρ_s : densidad del sedimento (ton/m^3)

ρ_w : densidad del agua (ton/m^3)

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^2)

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

ϕ : ángulo de rozamiento interno del sedimento ($^\circ$)

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

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

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

ε_B : factor de eficiencia del transporte por fondo (=0.1)

ε_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 (≈ 0.006 m)

s : densidad relativa

g : aceleración de la gravedad

ν : viscosidad cinemática del agua ($\nu = 2 \cdot 10^{-6}$ m²/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 m³ por año y metro lineal, que multiplicado por la longitud de cada tramo, resulta el potencial de transporte del tramo por año Q (m³/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_s (m)	T_p (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 34. *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 playa de la Patacona, objeto de actuación, que abarca los tramos 9 y 10 de la unidad fisiográfica Puerto de Sagunto – Puerto de Valencia.

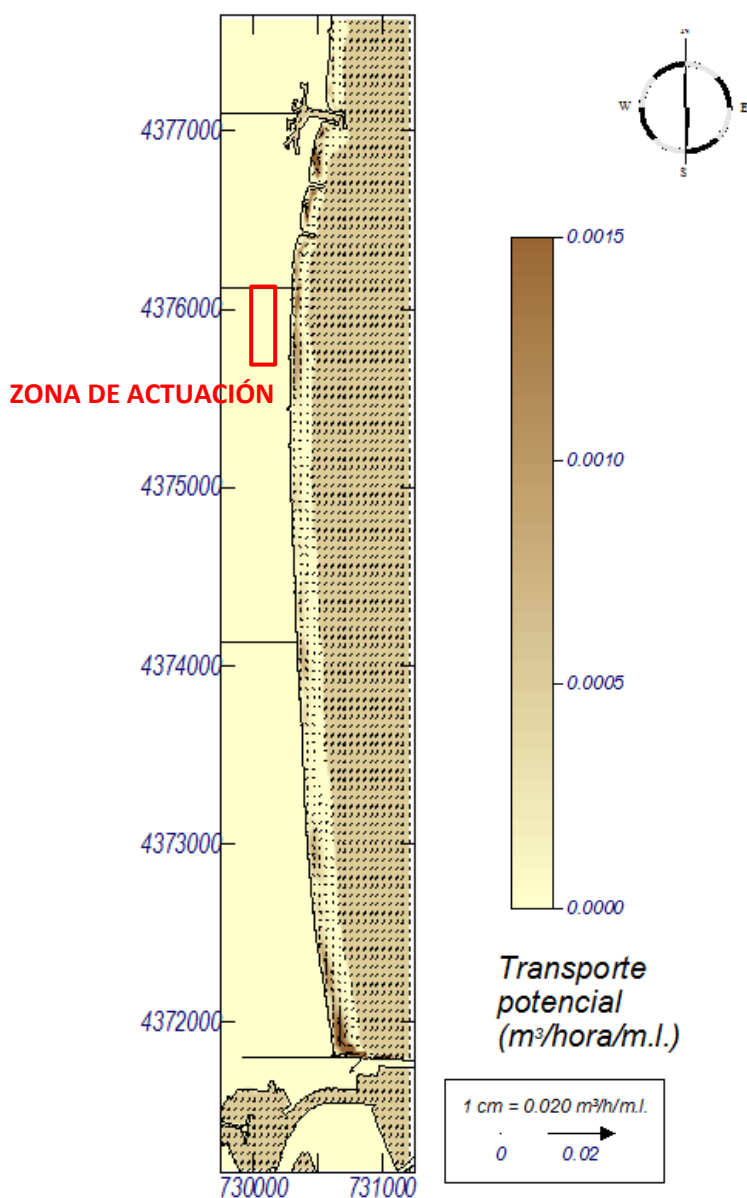


Figura 79 Transporte potencial de inicio de erosión oleaje para Tramos 9 y 10.

La orientación de la costa en el tramo 10 es prácticamente perpendicular a la dirección del flujo medio de oleaje equivalente, por lo que el valor del transporte en la dirección Norte-Sur se ven compensados con los de sentido Sur Norte y la tasa de transporte potencial resulta baja.

Por tanto, como resultado, el transporte potencial de inicio de erosión obtenido es de 13.804 m³/año para el tramo 10 y de 3.195 m³/año para el tramo 9, considerando una longitud del tramo 10 de 4.342 m y de 1000 m para el tramo 9.

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 ³ /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			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 35. *Potencial de transporte neto (m³/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 ³ /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			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
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 36. *Potencial de transporte neto (m³/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.

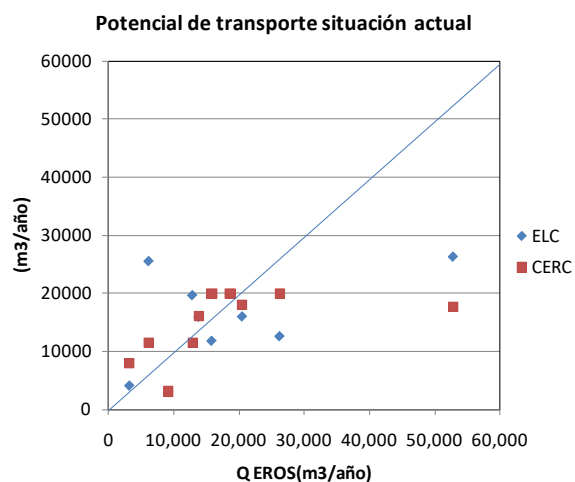


Figura 80 *Comparación de resultados de potencial de transporte neto respecto modelo numérico*

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

11.1 PERFIL DE EQUILIBRIO DE PLAYA

11.1.1 Perfil de Dean

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

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:

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

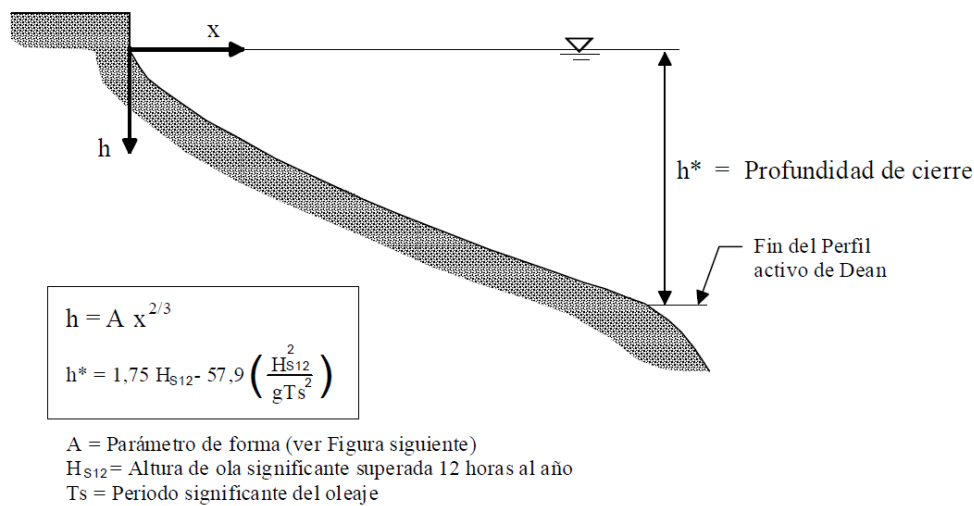


Figura 81 Modelo parabólico de perfil de equilibrio, Dean (1977).

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)
10	0.58	0.100	0.01822614	0.00016

Tabla 37. Parámetros de ajuste de los perfiles teóricos a la batimetría del terreno

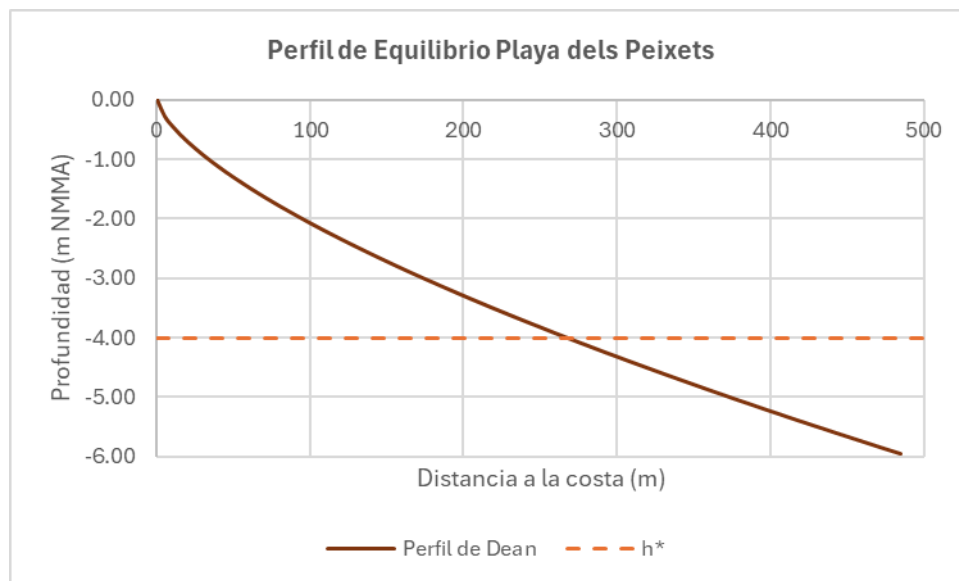


Figura 82 Perfil de equilibrio de la playa dels Peixets.

11.1.2 Retroceso del perfil de playa por cambio climático

De forma teórica, un aumento del nivel medio del mar, $\Delta\eta$, generará un incremento de la profundidad del agua en cualquier punto del perfil de playa. En estas condiciones el perfil de equilibrio sufrirá un ascenso ($\Delta\eta$) para acomodarse al nuevo nivel del mar que se producirá a partir de la arena existente en el perfil (hipótesis de playa bidimensional), generando un retroceso (RE) general del perfil para cubrir el déficit de arena y estableciéndose un nuevo perfil de equilibrio con forma idéntica al existente

antes del ascenso del nivel del mar.⁴

Las variables que intervienen están relacionadas según la siguiente expresión:

$$RE = \frac{\Delta\eta \cdot W^*}{h^* + B}$$

Donde:

- W^* es la extensión del perfil (m).
- H^* es la profundidad de cierre del perfil.
- B es la berma de la playa (m).
- $\Delta\eta$ es el ascenso producido (m).

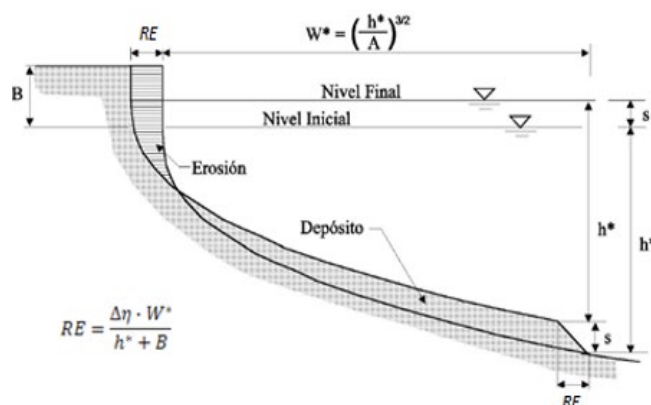


Figura 83 Diagrama de cálculo del retroceso en playas por efecto de un ascenso del NMM

Según visto en apartados anteriores, los parámetros que definen el perfil de la playa dels Peixets, son:

Parámetro	Valor
D_{50} (mm)	0,15
W_s	0,017
K	0,58
A	0,0965
h^* (m)	4
B (m)	1

Tabla 1. Parámetros del perfil de playa regenerada.

Considerando estos parámetros y el ascenso del nivel del mar previsto ($\Delta\eta = 0,38$ m) se obtiene un **retroceso de playa de 20,3 m** a año horizonte 2074.

Parámetro de cálculo	Valor
W^* (m)	266,83
$\Delta\eta$ o s (m)	0,38
RE (m)	20,3

Tabla 2. Cálculo del futuro retroceso de la playa a causa del ΔNMM por cambio climático.

⁴ Bruun, P. (1962). "Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion". American Society of Civil Engineers Journal of the Waterways and Harbours Division. 88: 117–130.

Con este retroceso, el resguardo de playa (o ancho de playa) en la sección crítica de ésta será de apenas 5 m.

11.2 FORMA EN PLANTA DE PLAYA

Como resultado del estudio de las condiciones de equilibrio de la costa limitada por el Puerto de Sagunto, al Norte, y el Puerto de Valencia, al Sur, se concluye que:

Existe un cierto gradiente entre la dirección del FME y la alineación de la costa que evidencia una capacidad de transporte potencial en dirección Norte-Sur en todos los tramos, exceptuando el tramo 10 donde se emplaza la zona en estudio en que ésta se halla muy próxima al equilibrio.

Por tanto, para el caso objeto de este estudio, la playa dels Peixets, se puede concluir que se trata de una playa abierta que se encuentra en equilibrio dinámico con una ligera tendencia al transporte N-S, que sufrió un proceso de regresión a raíz de la construcción del Puerto de Port-Saplaya al norte y que, a diferencia de la playa de la Patacona inmediatamente al sur, no se ve beneficiada por el efecto acumulativo causado por el efecto barrera del Puerto de Valencia en la retención de sedimentos. La siguiente imagen muestra la forma en planta de equilibrio del tramo y en concreto de la zona de actuación.

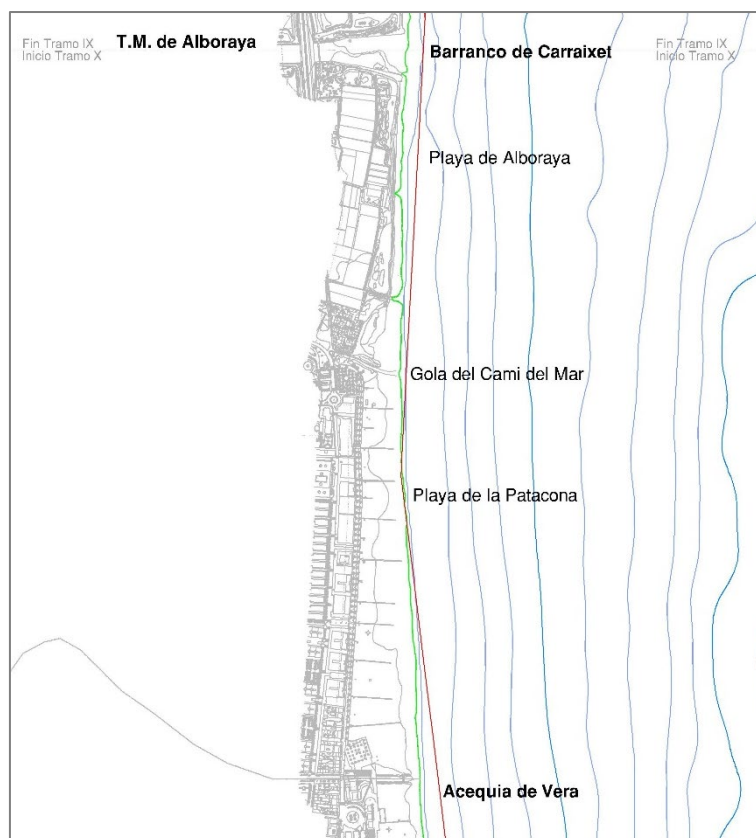


Figura 84 Forma en planta del sector norte del tramo 10, Playa dels Peixets y Playa de la Patacona.

Finalmente, atendiendo a la información proporcionada por el Visor C3E del IH Cantabria anteriormente mencionado (ver Figura 85), se espera que como consecuencia del futuro ascenso del nivel del mar por cambio climático, se produzca un giro de -1.67° en la orientación del flujo medio de energía del oleaje, lo que conllevaría un basculamiento de la línea de costa de playa hacia el interior,

generando su regresión en el sector norte donde se emplaza la zona objeto de actuación.

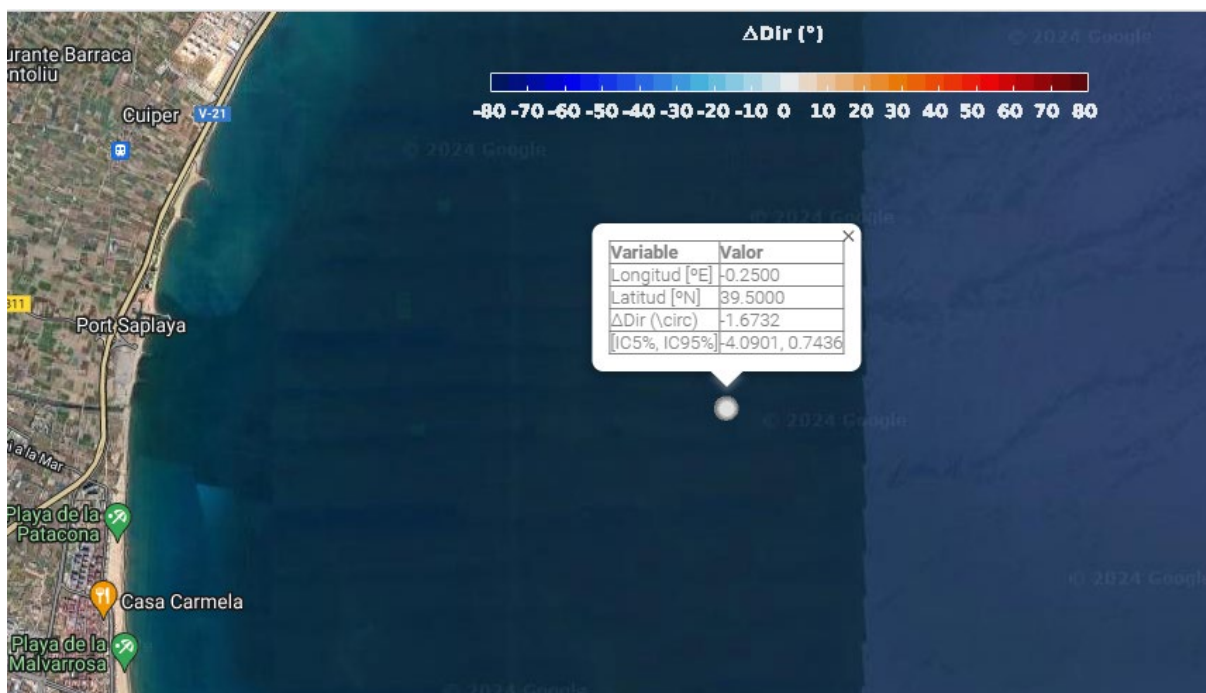


Figura 85 Giro en la dirección del flujo medio de energía del oleaje previsto para el periodo 2081-2100 bajo el escenario RCP8.5 de emisiones. Fuente: visor C3E, IH Cantabria.

12 COTA DE INUNDACIÓN

La inundación sufrida por una playa queda determinada por la acción conjunta de las mareas astronómica y meteorológica, cuya suma constituye el nivel del mar ($MA+MM=NM$), la batimetría en la zona, y el oleaje, el cual al propagarse hacia costa y romper produce un movimiento de ascenso de la masa de agua a lo largo del perfil de playa denominado *run-up* o remonte (RU). Así, el nivel alcanzado en la playa por la suma de estos fenómenos anteriormente descritos recibe el nombre de cota de inundación ($CI=NM+RU$), cuyo cálculo resulta fundamental en el diseño de una playa como condicionante para establecer la cota de la berma y la cota de coronación de los cordones dunares (caso del presente estudio).

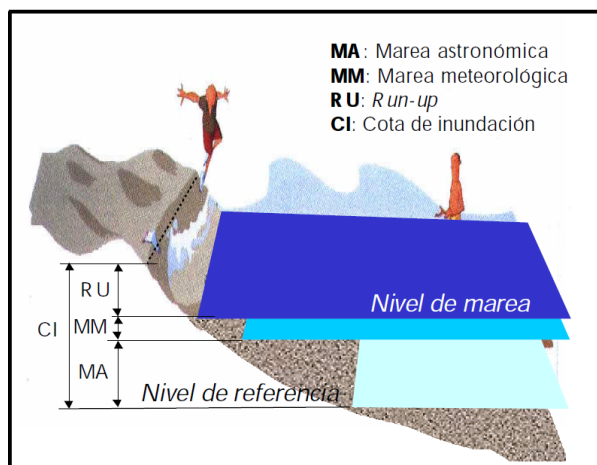


Figura 86 Componentes para el cálculo de la Cota de Inundación.

Para ello, el cálculo del *run-up* del oleaje en la playa dels Peixets, cuyo cordón dunar se busca restaurar, se acomete mediante la aplicación de la expresión derivada del trabajo de Stockdon et al. (2006). Se escoge ésta por ser considerado el análisis más exhaustivo del *run-up* del oleaje en playas hasta el día de hoy, habiendo considerado una extensa base de datos de medidas de éste en playas de distinta naturaleza, desde disipativas hasta reflejantes.

$$R_{2\%} = 1.10(H_0 L_0)^{0.5} \left(0.35\beta_f + \frac{(0.563\beta_f^2 + 0.004)^{0.5}}{2} \right)$$

Expresión que puede ser simplificada del siguiente modo para playas altamente disipativas:

$$R_{2\%} = 0.043(H_0 L_0)^{0.5}$$

Y así para playas reflejantes:

$$R_{2\%} = 0.73\beta_f(H_0 L_0)^{0.5}$$

Donde:

$R_{2\%}$ es el run-up o remonte que sólo es excedido por el 2% de los run-ups

H_0 es la altura de ola en aguas profundas

L_0 es la longitud de onda en aguas profundas, tal que $L_0 = gT_{p0}^2/2\pi$

β_f es la pendiente de playa

Para la definición de la cota de coronación de los cordones dunares, cuyo fin último es proteger la costa de la inundación ante eventos de temporal, se considera el oleaje del temporal de diseño de $T_R=68$ años como agente predominante, y un nivel del mar asociado de $T_R = 5$ años. El oleaje empleado en el cálculo ha sido el obtenido del análisis escalar de los datos (Tabla 15), por presentar éste un mejor ajuste a la función de distribución empleada.

Además, se considera el futuro ascenso del nivel del mar por cambio climático establecido por el art. 92 del RGC, para el escenario RCP 8.5 más desfavorable y por ende del lado de la seguridad, tal que:

$$CI = RU + NM + \Delta NMM_{CC}$$

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Oleaje cálculo AP				Pendiente de playa	RU	Nivel del mar (m NMMA)		Ascenso del NM por CC	CI (m NMMA)	
Condición	H_{s0} (m)	T_{p0} (s)	L_0 (m)	β_f	$R_{2\%}$	Condición	NM (m)	ΔNMM_{CC}	sin CC	con CC
RE $T_R = 68$ a	7,32	13,15	270,0	0,015	1,83	RE $T_R = 5$ a	0,57	0,38	2,40	2,8

Tabla 3. Cota de inundación para el diseño de cordones dunares.

13 DINÁMICAS RESULTANTES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En cumplimiento del artículo 92 del Reglamento General de Costas, el efecto del cambio climático en la costa estudiada ha sido considerado en:

- Análisis del ascenso del nivel del mar observado en el registro de niveles del mareógrafo del Puerto de Valencia entre 1992 y 2022 → apartado 7.2.5 del presente documento.
- Proyecciones de ascenso del nivel del mar a año horizonte 2074, 50 años desde la actualidad, para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5, según el Visor C3E del IH Cantabria (basado en el Informe AR5 del IPCC) y según el "Atlas Interactivo del Grupo de Trabajo I del IPCC" basado en el 6º periodo de evaluación (AR6) → apartado 7.2.5 del presente documento.
- Retroceso esperable del perfil de la playa dels Peixets ante el futuro ascenso del nivel medio del mar como consecuencia del cambio climático. → apartado 11.1.2 del estudio.
- Modificación prevista en la dirección del flujo medio de energía del oleaje en la zona a causa del CC y su efecto en la forma en planta de playa → apartado 11.2 del documento.
- Cálculo de la Cota de Inundación de la costa considerando el ascenso del nivel del mar previsto por el IPCC a año horizonte 2074 para el diseño de la coronación de los futuros cordones dunares. → apartado 12 de este estudio.

14 RESUMEN Y CONCLUSIONES

La playa dels Peixets en el T.M. de Alboraya forma parte de la gran unidad fisiográfica del Óvalo Valenciano, dentro de la subunidad conformada por los Puertos de Sagunto y Valencia que actúan de barreras totales al transporte longitudinal de sedimentos. En concreto, se trata de una playa abierta de arenas, de orientación N-S, desarrollada entre el Barranco del Carraixet (al norte) y la Gola del Camí del Mar (al sur), que actúa de cabecero de la unidad morfodinámica entre este barranco y el Puerto de Valencia al sur. Su evolución ha estado fundamentalmente marcada por la construcción del Puerto de Port-Saplaya en los años 70 que produjo el basculamiento de la costa al sur y su consecuente retroceso, junto con el uso agrícola de los terrenos en su trasdós y su posición aislada del resto de la fachada litoral. Su forma en planta se halla en posición próxima al equilibrio, con cierta tendencia al transporte N→S, y su perfil de playa de arenas finas es de tipo disipativo. Sus dunas, objeto de actuación, son vestigios del antiguo sistema dunar que se desarrollaba entre el Barranco del Carraixet y la desembocadura del Río Turia, hoy en día sustituidas en la mayor parte del tramo por paseos marítimos.

De cara al futuro, el ascenso del nivel medio del mar previsto como consecuencia del cambio climático ($\Delta\text{NMM}_{\text{CC}, 2074}=0,38 \text{ m}$) supondrá un incremento de la cota de inundación de la costa, y un retroceso de esta playa superior a los 20 m por la adaptación del perfil a esta subida y al giro que se producirá en la dirección de los oleajes.

Por todo esto, se considera que la actuación proyectada de regeneración del sistema dunar de esta playa, supondrá una mejora en la protección natural de la playa. Por un lado, su elevada cota de coronación les permite ejercer de barrera contra la acción del mar durante episodios de oleajes

extremos, protegiendo los terrenos y el resto de ecosistemas situados en su trasdós. Hecho que cada vez es más acusado como consecuencia de la intensificación de los temporales producidos por el cambio climático. Y por otro, actúan de reservorios de arena de las playas, que toman de éstos el material necesario para contrarrestar fenómenos erosivos. Además de ser biotopo de multitud de especies de fauna y flora psamófila, cuya singularidad ha llevado a la catalogación de estas biocenosis características de ambientes dunares como “hábitats de interés comunitario” para la Unión Europea a través de la Directiva Hábitats⁵.

Valencia, 22 de marzo de 2024.

Autoras:

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

Gloria Argente Garrido
Dra. Ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos

⁵ Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

**ANEXO 1:
PLANOS DE EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA
LÍNEA DE COSTA**

