



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

**ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LAS
PLAYAS ENTRE EL PUERTO DE BURRIANA Y EL PUERTO DE SAGUNTO**

Presentado por

Herrero Rodríguez, Bárbara

Para la obtención del

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2020/2021

Fecha: VALENCIA, SEPTIEMBRE 2021

Tutor: Josep Ramon Medina Folgado

Cotutor: M. Esther Gómez Martín



Resumen

El tramo costero comprendido entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto viene sufriendo desde hace décadas una fuerte regresión, a la cual se hizo frente mediante obras de protección y aportación de sedimentos, pero que con el paso de los años se han convertido en medidas insuficientes e incluso perjudiciales para ciertos aspectos naturales de las playas.

Los procesos erosivos que sufren muchas playas valencianas, desde el Delta del Ebro al Puerto de Denia, se deben sobretodo a la presencia de diversos puertos que suponen una barrera al transporte sólido litoral, así como a los embalses y la correspondiente disminución de material sedimentario procedente de los ríos y barrancos que desembocan en la costa, además de otras causas locales (ocupación de campos dunares, extracción de sedimentos de cauces fluviales y playas, incidencias meteorológicas, etc.). En el futuro, además de la continuación de las causas de los problemas erosivos señalados anteriormente, la costa se enfrentará a una erosión generalizada inducida por la subida del nivel medio del mar provocado por el cambio climático.

Todos estos hechos son de gran relevancia para conocer el estado futuro de la costa y en este estudio se aplica la estrategia fundamental de restituir el flujo sedimentario natural del litoral, aplicado al tramo entre los puertos de Burriana y Sagunto. Se utiliza la alimentación artificial marina desde el banco de Cullera como instrumento básico a corto y medio plazo para restituir el flujo sedimentario litoral, por lo que se precisa de estudio y análisis para la correcta regeneración y conservación de las playas que conforman dicho tramo.

Resum

El tram costaner comprés entre el Port de Borriana i el Port de Sagunt ve patint des de fa dècades una forta regressió, a la qual es va fer front mitjançant obres de protecció i aportació de sediments, però que amb el pas dels anys s'han convertit en mesures insuficients i fins i tot perjudicials per a uns certs aspectes naturals de les platges.

Els processos erosius que pateixen moltes platges valencianes, des del Delta de l'Ebre al Port de Dénia, es deuen sobretot a la presència de diversos ports que suposen una barrera al transport sòlid litoral, així com als embassaments i la corresponent disminució de material sedimentari procedent dels rius i barrancs que desemboquen en la costa, a més d'altres causes locals (ocupació de camps dunars, extracció de sediments de llits fluvials i platges, incidències metereològiques, etc.). En el futur, a més de la continuació de les causes dels problemes erosius assenyalats anteriorment, la costa s'enfrontarà a una erosió generalitzada induïda per la pujada del nivell mitjà de la mar provocada pel canvi climàtic.

Tots aquests fets són de gran rellevància per a conèixer l'estat futur de la costa i en aquest estudi s'aplica l'estratègia fonamental de restituir el flux sedimentari natural del litoral, aplicat al tram entre els port de Borriana i Sagunt. S'utilitza l'alimentació artificial marina des del banc de Cullera com a instrument bàsic a curt i mitjà termini per a restituir el flux sedimentari litoral, per la qual cosa es precisa d'estudi i anàlisi per a la correcta regeneració i conservació de les platges que conformen aquest tram.

Abstract

The coastal stretch between the Port of Burriana and the Port of Sagunto has been suffering for decades from a strong regression, which was dealt with by means of protection works and sediment contribution, but which over the years have become insufficient and even detrimental to certain natural aspects of the beaches.

The erosion processes suffered by many Valencian beaches, from the Ebro Delta to the Port of Denia, are due above all to the presence of various ports which are a barrier to solid coastal transport, as well as to reservoirs and the corresponding decrease in sedimentary material from the rivers and ravines which flow into the coast, in addition to other local causes (occupation of dune fields, extraction of sediment from riverbeds and beaches, meteorological incidents, etc.). In the future, in addition to the continuation of the causes of the erosion problems outlined above, the coast will face generalised erosion induced by the rise in average sea level caused by climate change.

All these facts are of great relevance to know the future state of the coast and this study applies the fundamental strategy of restoring the natural sedimentary flow of the coast, applied to the stretch between the ports of Burriana and Sagunto. Artificial marine nourishment from the Cullera shoal is used as a basic instrument in the short and medium term to restore the coastal sedimentary flow, which is why a study and analysis is required for the correct regeneration and conservation of the beaches that make up this section.



Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Objeto del trabajo	8
1.2 Localización.....	8
1.3 Área de estudio.....	9
1.4 Antecedentes y justificación de la necesidad de las actuaciones	10
1.4.1. El Puerto de Burriana como barrera total	11
1.4.2 Situación actual.....	13
2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	13
2.1 Dominio público marítimo-terrestre y área de servidumbre de protección	14
2.2 Clima marítimo	16
2.2.1 Climatología.....	17
2.2.2 Fuentes de datos	17
2.2.3 Nivel del mar	17
2.2.4 Régimen medio	18
2.2.5 Régimen extremal	22
2.3 Sedimentología del tramo	24
2.3.1 Caracterización sedimentológica de las playas.....	24
2.4 Obras y actuaciones en el tramo.....	25
2.5 Dinámica litoral.....	27
2.5.1 Conceptos previos al transporte de sedimentos	27
2.5.2 Profundidad de cierre	29
2.5.3 Transporte sólido litoral.....	30
2.6 Evolución de la línea de costa	35
2.7 Riesgo de inundación.....	40
2.8 Influencia del cambio climático.....	42
2.8.1 Elevación del nivel del mar.....	43
3. ZONIFICACIÓN PARA LA ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN	45
3.1 Descripción de los subtramos.....	46
Puerto de Burriana – Playa de Casablanca (Almenara)	46
Playa de Casablanca (Almenara) – Puerto de Siles (Canet de Berenguer)	47
Puerto de Siles (Canet de Berenguer) – Puerto de Sagunto.....	49
4. ESTUDIO DE SOLUCIONES	50
4.1 Diagnóstico de la problemática del tramo objeto de estudio.....	50

Subtramo 1: Puerto de Burriana – Playa de Casablanca (Almenara)	50	7.1.1 Zonas de playa seca	67
Subtramo 2: Playa de Casablanca (Almenara) – Puerto de Siles (Canet de Berenguer)	51	7.1.2 Perfil de playa desesable.....	67
Subtramo 3: Puerto de Siles – Puerto de Sagunto	52	7.1.3 Cálculo del Run-up	68
4.2 Soluciones generales de protección y regeneración de playas	53	7.1.4 Determinación ancho mínimo playa seca.....	70
4.3 Tipos de alternativas de actuación a considerar	53	7.1.5 Granulometría.....	70
4.4 Zonas sensibles entre los puertos de Burriana y Sagunto	54	7.1.6 Perfil teórico.....	70
4.5 Alternativas de actuación	55	7.1.7 Perfil de las playas.....	71
4.5.1 Criterios de diseño.....	55	7.1.8 Cálculo del volumen necesario	71
4.5.2 Alternativa 0: No actuación	55	7.1.9 Yacimiento de material sedimentario	73
4.5.3 Alternativa 1: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa, con reserva de arena estratégica y trasvase de arenas (AT-D-RA-T).....	55	7.1.10 Medios necesarios para la ejecución de la alimentación artificial	75
4.5.4 Alternativa 2: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa, con reserva de arena estratégica, trasvase de arenas y reutilización del material desmantelado (AT-D-RA-T-RMD)	59	7.2 Procedimiento de desmantelamiento de obras de defensa	77
4.5.5 Alternativa 3: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa, con reserva de arena estratégica y realimentación (AT-D-RA-T-R)	59	7.3 Traspase de sedimentos en los Puertos de Burriana y Sagunto.....	78
4.5.6 Alternativa 4: Alimentación artificial de todas las playas simultáneamente.....	61	8. PROGRAMA DE TRABAJOS	79
4.5.7 Resumen de alternativas	63	8.1 Consideraciones generales	79
5. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	63	8.2 Plazo de ejecución de cada actividad	79
5.1 Criterio de funcionalidad (C.F)	63	8.3 Diagrama de Gantt.....	80
5.2 Criterio medioambiental (C.Ma)	63	9. IMPACTO SOCIAL-ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA ACTUACIÓN PROPUESTA.....	80
5.3 Criterio económico (C.Eco).....	64	9.1 Valoración de impactos	81
5.4 Criterio estético (C.E).....	64	10. VALORACIÓN ECONÓMICA ESTIMATIVA DE LA SOLUCIÓN	81
6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA	64	10.1 Análisis económico de la draga de succión en marcha	82
6.1. Alternativa 0: No actuación	64	10.2 Estimación del coste económico de la extracción de arena.....	82
6.2 Alternativa 1: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa, con reserva de arena estratégica y trasvase de arenas (AT-D-RA-T)	64	10.3 Análisis económico del proceso de desmantelamiento de obras de defensa	83
6.3. Alternativa 2: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa, con reserva de arena estratégica, trasvase de arenas y reutilización del material desmantelado (AT-D-RA-T-RMD).....	65	10.4 Valoración económica total	84
6.4 Alternativa 3: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa con reserva de arena estratégica y realimentación (AT-D-RA-T-R).....	66	11. CONCLUSIONES	84
6.5. Alternativa 4: Alimentación artificial de todas las playas simultáneamente	66	Anejo 1. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)	87
6.6. Solución óptima	67	Anejo 2. PLANOS	88
7. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	67		
7.1 Alimentación artificial.....	67		

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del tramo objeto de estudio (Fuente: Google Earth Pro).....	8
Figura 2. permeabilidad del suelo en la zona de actuación (Fuente: Visor GVA)	9
Figura 3. Usos del suelo de la zona de actuación (Fuente: Visor GVA)	9
Figura 4. Zonas LIC y ZEPA, RED NATURA 2000 (Fuente: Visor GVA)	10
Figura 5. Situación actual del Puerto de Burriana año 2020 (Fuente: Google Earth Pro).....	12
Figura 6. Situación del Puerto de Sagunto años 1956 y 2020 respectivamente (Fuente: Visor GVA)	12
Figura 7. Línea de costa del Puerto de Burriana antes de su construcción y en los años 1956 y 2020. .	12
Figura 8. Estado del tramo costero objeto de estudio y detalle (Fuente: Visor GVA y elaboración propia)	13
Figura 9. Estado actual de la Playa Sur de Burriana (Fuente: Elaboración propia)	14
Figura 10. Estado actual de la Playa de Chilches (Fuente: Elaboración propia).....	14
Figura 11. Estado actual del sur del Puerto de Siles (Fuente: Google Maps, 2021).....	14
Figura 12. Deslindes del área 1 del tramo P.Burriana - P.Sagunto (Fuente: Visor GVA).....	15
Figura 13. Deslindes del área 2 del tramo P.Burriana - P.Sagunto (Fuente: Visor GVA).....	15
Figura 14. Deslindes de las áreas 3 y 4 del tramo P.Burriana - P.Sagunto (Fuente: Visor GVA)	16
Figura 15. Deslindes del área 5 del tramo P.Burriana - P.Sagunto (Fuente: Visor GVA).....	16
Figura 16. Ubicación del mareógrafo de Sagunto (Fuente: Puertos del Estado)	17
Figura 17. Niveles de referencia del mareógrafo de Sagunto (Fuente: Puertos del Estado).....	17
Figura 18. Histograma de la marea meteorológica de Sagunto (Fuente: Puertos del Estado).....	18
Figura 19. Localización de los puntos SIMAR (Fuente: Puertos del Estado)	19
Figura 20. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2083118 (Fuente: Puertos del Estado).....	19
Figura 21. . Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2083118 (Fuente: Puertos del Estado)	20
Figura 22. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2083118 (Fuente: Puertos del Estado)	20
Figura 23. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2083117 (Fuente: Puertos del Estado).....	20
Figura 24. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2083117 (Fuente: Puertos del Estado)	21
Figura 25. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2083117 (Fuente: Puertos del Estado)	21
Figura 26. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2082116 (Fuente: Puertos del Estado).....	21
Figura 27. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2082116 (Fuente: Puertos del Estado)	22
Figura 28. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2082116 (Fuente: Puertos del Estado)	22
Figura 29. Localización e información de la Boya de Valencia (Fuente: Puertos del Estado).....	23
Figura 30. Régimen extremal escalar del oleaje de la Boya de Valencia (Fuente: Puertos del Estado) .	23
Figura 31. Valores y parámetros del régimen extremal escalar del oleaje de la Boya de Valencia (Fuente: Puertos del Estado).....	23
Figura 32. Rosa de altura significativa de la Boya de Valencia (Fuente: Puertos del Estado)	24
Figura 33. Obras de defensa y protección costera entre el P.Burriana – P.Sagunto (Fuente: Google Earth Pro)	25
Figura 34. Zonificación de la costa entre los Puertos de Burriana y Sagunto (Fuente: CEDEX, 2015)....	28
Figura 35. Balance sedimentario de una playa (Fuente: De La Peña 2007).....	28

Figura 36. Tipos de transporte longitudinal de sedimentos en la costa (Fuente: De La Peña, 2007)	30
Figura 37. Relación de ángulos para el cálculo de transporte longitudinal.....	32
Figura 38. Cuadro B Área VII (Fuente: ROM 0.3-91)	32
Figura 39. Direcciones significativas Área VII (Fuente: ROM 0.3-91).....	33
Figura 40. Líneas de costa de la playa sur de Burriana años 1956, 2000 y 2020 respectivamente (Fuente: Visor GVA, 2021)	35
Figura 41. Evolución de la línea de costa en el sur del P.Burriana (Fuente: elaboración propia)	36
Figura 42. Evolución de la línea de costa en Grau de Nules (Fuente: elaboración propia)	36
Figura 43. Evolución de la línea de costa en el Grau de Moncófar (Fuente: elaboración propia)	37
Figura 44. Evolución de la línea de costa entre las playas de La Torre y Les Cases (Fuente: elaboración propia).....	37
Figura 45. Evolución de la línea de costa entre las playas del Cerezo y La Llosa (Fuente: elaboración propia).....	38
Figura 46. Evolución de la línea de costa de la playa de Casablanca (Fuente: elaboración propia).....	38
Figura 47. Evolución de la línea de costa de la playa de Corinto (Fuente: elaboración propia).....	39
Figura 48. Evolución de la línea de costa de la playa de Almardá al Puerto de Siles (Fuente: elaboración propia).....	39
Figura 49. Evolución de la línea de costa entre el Puerto de Siles y el Puerto de Sagunto (Fuente: elaboración propia)	40
Figura 50. Áreas en riesgo de inundación, zona 1 (Fuente: visor PATRICOVA)	40
Figura 51. Áreas en riesgo de inundación, zona 2 (Fuente: visor PATRICOVA)	40
Figura 52. Áreas en riesgo de inundación, zona 3 (Fuente: visor PATRICOVA)	41
Figura 53. Áreas con riesgo potencial significativo de inundación en el tramo costero (Fuente: PATRICOVA).....	41
Figura 54. Emisiones de dióxido de carbono (CO2) (Fuente: IPCC, 2014)	42
Figura 55. Variaciones del nivel medio global del mar (Fuente: Quinto informe de evaluación del IPCC)	43
Figura 56. Regla de Brunn, variables que intervienen (Fuente: Brunn, 1962).....	44
Figura 57. Perfil característico de la playa del grau de Burriana, de 1878 y 1992, para caracterizar la Pdc a gran escala, largo término (Fuente: CEDEX, 2011)	44
Figura 58. Distancias aproximadas de la Pdc (Fuente: CEDEX, 2015).....	44
Figura 59. Zonificación de la costa entre los puertos de Burriana y Sagunto (Fuente: CEDEX, 2015)	45
Figura 60. Escolleras de la playa La Torre (Fuente: Google Earth Pro)	46
Figura 61. Tómbolos y mirador sobre escollera semicircular de la playa Las Casas (Fuente: Google Earth Pro)	46
Figura 62. Batimetría entre el Puerto de Burriana a playa El Grau (Fuente: MITECO).....	47
Figura 63. Batimetría entre la playa El Grau y playa La Llosa (Fuente: MITECO)	47
Figura 64. Escollera en la playa de Casablanca (Fuente: Google Earth Pro).....	47
Figura 65. Escollera de protección viviendas en Corinto (Fuente: Google Earth Pro).....	48
Figura 66. Batimetría entre la Gola de Queralt y el Puerto de Siles (Fuente: MITECO)	48
Figura 67. Escollera y bolos junto a la carretera en el Delta del Palancia (Fuente: IH Cantabria, 2011).49	49
Figura 68. Batimetría entre el Puerto de Siles y el Puerto de Sagunto (Fuente: MITECO).....	49
Figura 69. Evolución línea de costa de la playa de Nules (Fuente: Visor GVA).....	51
Figura 70. Evolución línea de costa de la playa de La Llosa (Fuente: Visor GVA)	51
Figura 71. Evolución línea de costa de la playa de Casablanca (Fuente: Visor GVA).....	51

Figura 72. Evolución línea de costa de la playa de Canet de Berenguer (Fuente: Visor GVA).....	52
Figura 73. Evolución línea de costa del subtramo 3 (Fuente: Visor GVA).....	52
Figura 74. Esquemas visuales actuación A y B respectivamente	54
Figura 75. Comportamiento de cada zona según la evolución de la costa (Fuente: elaboración propia)	54
Figura 76. Ubicación de la reserva estratégica de arena.	56
Figura 77. Nivel de alerta para la acumulación de sedimentos al norte del Puerto de Siles.....	57
Figura 78. Actuaciones planteadas en Alternativa 1 (Fuente: elaboración propia).....	58
Figura 79. Esquema de la "terrazza lúdica" propuesta en Alternativa 2 (Fuente: elaboración propia) ...	59
Figura 80. Línea de costa tras el dragado del norte del Puerto de Siles	60
Figura 81. Localización del área de dragado secundario en la Playa del Puerto de Sagunto.	60
Figura 82. Actuaciones propuestas en la Alternativa 3 (Fuente: elaboración propia).....	61
Figura 83. Actuaciones propuestas en la Alternativa 4 (Fuente: elaboración propia).....	62
Figura 84. Cuadro E y D del Atlas de Clima marítimo zona de Valencia I. (Fuente: ROM 0.3-91)	68
Figura 85. Información relativa a la Boya de Valencia (Fuente: Puertos del Estado, 2021)	69
Figura 86. Régimen extremal escalar de oleaje (parámetro altura significativa) (Fuente: Puertos del Estado, 2021)	69
Figura 87. Variación del parámetro A con el tamaño de sedimento (Fuente: Dean, 1991)	71
Figura 88. Diseño del perfil de la playa (Fuente: elaboración propia)	71
Figura 89. Perfiles de cálculo del subtramo 1 (Fuente: elaboración propia)	72
Figura 90. Perfiles de cálculo del subtramo 2 (Fuente: elaboración propia)	72
Figura 91. Ubicación del yacimiento marino (Fuente: García y Moreno, 2010)	73
Figura 92. Polígonos de extracción (Fuente: García y Moreno, 2010).....	74
Figura 93. Ubicación de las zonas de dragado de interés (Fuente: García y Moreno, 2010)	75
Figura 94. Fases de ciclo de dragado (Fuente: Escalante, 2019).....	76
Figura 95. Ciclos de dragado (Fuente: Escalante, 2019).....	76
Figura 96. Obras de defensa entre los puertos de Burriana y Sagunto (Fuente: PNOA, 2020)	77
Figura 97. Esquema de una planta fija de by-pass (Fuente: Engineer Manual nº1110-2-1616, 1991) ..	78
Figura 98. Costes de una draga de succión en marcha (Fuente: García y Moreno, 2010)	81

Índice de tablas

Tabla 1. Características del Puerto de Burriana. (Fuente: PTGVA, 2020).....	11
Tabla 2. Constantes armónicas de la marea astronómica en Sagunto (Fuente: Puertos del Estado)	18
Tabla 3. Información relativa a los nodos SIMAR observados (Fuente: Puertos del Estado)	19
Tabla 4. Sedimentología de las playas del tramo objeto de estudio (Fuente: Plan de Ecocartografías del litoral español (2006))	24
Tabla 5. Comparación de las características de material granular (Fuente: Plan de Ecocartografías del litoral español (2006))	25
Tabla 6. Comparación de las características de material granular en playas formadas por arenas (Fuente: Plan de Ecocartografías del litoral español (2006)).....	25
Tabla 7. Aportaciones de material sedimentario en la provincia de Castellón (Fuente: IH Cantabria, 2011)	26
Tabla 8. Aportaciones de material sedimentario en la provincia de Valencia (Fuente: IH Cantabria, 2011)	26

Tabla 9. Obras existentes entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto (Fuente: IH Cantabria, 2011)	27
Tabla 10. Valores de profundidad de cierre en playas valencianas para T=20 años (Fuente: Aragonés et al. (2018))	29
Tabla 11. Profundidad de cierre en los puntos SIMAR del área de estudio (Fuente: Puertos del Estado y elaboración propia)	29
Tabla 12. Profundidad de cierre para T=50 años (Fuente: Puertos del Estado)	30
Tabla 13. Direcciones incidentes respecto a LNCA del punto SIMAR 2083118 (Norte) (Fuente: Elaboración propia)	33
Tabla 14. Direcciones incidentes respecto a LNCA del punto SIMAR 2083117 (Centro) (Fuente: Elaboración propia)	33
Tabla 15. Direcciones incidentes respecto a LNCA del punto SIMAR 2082116 (Sur) (Fuente: Elaboración propia)	33
Tabla 16. Factor de probabilidad de presentación para cada dirección (ko) (Fuente ROM 0.3-91)	33
Tabla 17. Factor de forma (Kg) punto SIMAR 2083118	33
Tabla 18. Factor de forma (Kg) punto SIMAR 2083117	33
Tabla 19. Factor de forma (Kg) punto SIMAR 2082116	33
Tabla 20. Altura de ola significativa (Hs)-Dirección de procedencia (%) SIMAR 2083118 (Fuente: Puertos del Estado).....	34
Tabla 21. Altura de ola significativa (Hs)-Dirección de procedencia (%) SIMAR 2083117 (Fuente: Puertos del Estado).....	34
Tabla 22. Altura de ola significativa (Hs)-Dirección de procedencia (%) SIMAR 2082116 (Fuente: Puertos del Estado).....	34
Tabla 23. Caudal sólido litoral tramo norte SIMAR 2083118 (Fuente: Elaboración propia)	34
Tabla 24. Caudal sólido litoral tramo central SIMAR 2083117 (Fuente: Elaboración propia)	35
Tabla 25. Caudal sólido litoral tramo sur SIMAR 2082116 (Fuente: Elaboración propia)	35
Tabla 26. Zonas inundables entre el P.Burriana-P.Sagunto (Fuente: elaboración propia).....	41
Tabla 27. Predicciones del nivel del mar para distintos escenarios RCP (Fuente: IPCC, 2014)	43
Tabla 28. Retroceso máximo de la línea de costa por subida del nivel de mar año 2050 (Fuente: elaboración propia)	45
Tabla 29. Retroceso máximo de la línea de costa por subida del nivel de mar año 2100 (Fuente: elaboración propia)	45
Tabla 30. Volumen inicial y final de sedimento contenido en la reserva estratégica de sedimentos de Burriana. Alternativa 1.	56
Tabla 31. Volumen de sedimentos acumulados al norte del Puerto de Siles desde P1 a P4.	57
Tabla 32. Nivel de alerta para la acumulación de sedimentos al norte del Puerto de Sagunto.....	57
Tabla 33. Volumen de dragado en la playa de Canet de Berenguer y Almardá	60
Tabla 34. Resumen de alternativas	63
Tabla 35. Criterios de valoración y pesos.....	63
Tabla 36. Clasificación según valoración final.....	63
Tabla 37. Escala de valor del criterio funcional.....	63
Tabla 38. Escala de impacto del criterio medioambiental.....	63
Tabla 39. Escala de valor del criterio económico.....	64
Tabla 40. Escala de valor del criterio estético.....	64
Tabla 41. Valoración final Alternativa 0.	64

Tabla 42. Valoración final Alternativa 1	65
Tabla 43. Valoración final Alternativa 2	66
Tabla 44. Valoración final Alternativa 3	66
Tabla 45. Valoración final Alternativa 4	67
Tabla 46. Valores de K_r (Fuente: ROM 03-91).....	69
Tabla 47. Valores de K_α (Fuente: ROM 03-91).....	69
Tabla 48. Hso asociado a una dirección y periodo de retorno (Fuente: elaboración propia)	69
Tabla 49. Cálculo del volumen de arena necesario. (Fuente: elaboración propia).....	73
Tabla 50. Área de extracción y volumen de arena de cada polígono (Fuente: García y Moreno, 2010)	74
Tabla 51. Volúmenes de material obtenidos en estudios anteriores (Fuente: García y Moreno, 2010)	74
Tabla 52. Volúmenes de material aptos para regeneración de cada polígono (Fuente: García y Moreno, 2010).....	74
Tabla 53. Dragas tipo Jumbo (Fuente: Escalante, 2019)	75
Tabla 54. Hipótesis de partida para determinar el ciclo de la draga (Fuente: García y Moreno, 2010).	77
Tabla 55. Características de una draga de succión en marcha tipo Jumbo - Cristóbal Colón (2008) (Fuente: Escalante, 2019).....	77
Tabla 56. Mantenimiento de rutina - Coste por día (Fuente: Bray et al., 1996).....	82
Tabla 57. Reparaciones mayores - Coste por día (Fuente: Bray et al., 1996)	82
Tabla 58. Listado de precios (Fuente: PRESTO, 2021)	83
Tabla 59. Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	87

1. INTRODUCCIÓN

Los efectos que producen la pérdida de transporte litoral en la costa, el cambio climático y la consecuente subida del nivel medio del mar son la causa del desarrollo de estrategias de actuación en la costa de todo el país.

La evolución constante de la costa española es un hecho muy significativo de las últimas décadas, además de significar un ámbito estratégico para la economía española (Losada et al. 2014). Como consecuencia de esta transformación las zonas costeras españolas han ido variando su estructura inicial, como es el caso de la costa valenciana, que obedece a las sucesivas transformaciones que se han llevado a cabo a lo largo del tiempo en una costa que inicialmente era continua.

En la actualidad, las actuaciones antrópicas que suceden en la costa del litoral valenciano siguen provocando intensos procesos erosivos artificiales en muchas playas (Alguacil, Á.,2020). Los puertos y obras de defensa son un tipo de barreras litorales que están provocando ondas erosivas graves en algunas playas, mientras producen y sustentan el crecimiento o la existencia de playas más extensas de lo natural. Además la ocupación de espacios dunares con edificaciones, la extracción de sedimentos de cauces fluviales y litorales, así como otras actuaciones no naturales tienden a agravar la situación actual y urgen de intervención global y eficaz que no se ha producido con el paso de los años.

Al panorama descrito en los párrafos anteriores hay que añadir los datos y conocimientos más recientes que se tienen sobre el efecto del cambio climático global en las costas de este país que señalan la urgencia de que se incorporen en las nuevas estrategias un aspecto tan importante como es el desafío al que se enfrenta la costa derivado del cambio climático y la correspondiente subida del nivel medio del mar, que en pocas décadas hará desaparecer o reducirá sustancialmente la anchura de la mayor parte de las playas, y acabará por causar daños importantes a casi todas las fachadas urbanas de la costa mediterránea (MMA, 2007).

En base al “Estudio de la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia” (Alguacil, Á.,2020) surge la necesidad de concretar la estrategia de restitución del flujo sedimentario en una serie de actuaciones y su correspondiente programación en espacio y tiempo para la gestión de los sedimentos tras haber realizado la correspondiente restitución del flujo sedimentario de la costa valenciana.

Por todo lo expuesto anteriormente, el objeto del presente trabajo es proponer una solución óptima para la gestión de los sedimentos en un tramo concreto de la costa valenciana estudiada, favoreciendo tanto la restitución natural del flujo sedimentario de la zona como la regeneración de las playas más erosionadas. Se realizará el dimensionamiento completo de la solución adoptada, proporcionando la priorización y fases de actuación, la metodología a seguir, así como el correspondiente estudio económico y ambiental de las actuaciones.

1.1 Objeto del trabajo

El objeto de este trabajo es realizar la recuperación de las playas erosionadas entre los puertos de Burriana y Sagunto restituyendo la dinámica litoral mediante alimentación artificial y otras actuaciones propuestas, estableciendo la priorización de cada una de ellas en función de las necesidades que se

planteen, para así favorecer la conservación y estabilidad del tramo costero que abarcan ambos puertos.

1.2 Localización

El tramo objeto de estudio de este trabajo se centra en las playas comprendidas entre el Puerto de Burriana (al sur de la provincia de Castellón) y el Puerto de Sagunto (norte de la provincia de Valencia). Estas playas son las siguientes: Playa Sur de Burriana, Playa de Nules, Playa de Moncofar (playas de Pedro Rojas, El Grao, Masbo, Tamarit, La Torre y L’Estanyol), Playa de Chilches (playas de Las Casas y El Cerezo/Xilxes), Playa de la Llosa, Playa de Casablanca y Playa de Almenara (provincia de Castellón); Playa de Corinto, Playa de Almardá, Playa de Canet de Berenguer y Playa de puerto de Sagunto (provincia de Valencia).

Cabe destacar la presencia de un pequeño puerto deportivo en la zona sur del tramo objeto de estudio, concretamente el puerto de Siles, que coincide prácticamente con la desembocadura del río Palancia. La línea de costa de dicho tramo, con orientación S60ºE, es bastante recta a lo largo de todo el tramo de estudio y carece de accidentes naturales. Sin embargo, muestra gran cantidad de obras de protección costera, entre las que se encuentran diversas tipologías de espigones, diques exentos, escolleras de protección,... Este tramo de costa ha sufrido durante muchas décadas un fuerte proceso erosivo debido al importante transporte litoral de Norte a Sur y a la ausencia de aportes de material sedimentario desde el Norte, principalmente como consecuencia de la presencia del Puerto de Burriana que obstaculiza la deriva litoral de sedimentos provenientes del río Mijares, situado al Norte de la zona de estudio (IH Cantabria, 2011).



Figura 1. Ubicación del tramo objeto de estudio (Fuente: Google Earth Pro)

La distancia total del tramo objeto de estudio es de unos 26 kilómetros de costa desde el puerto de Burriana hasta el Puerto de Sagunto.

Los términos municipales que afecta el área de estudio son: Burriana, Nules, Moncófar, Chilches, Almenara, Canet de Berenguer y Sagunto.

A continuación se procede a analizar el suelo del área de estudio.

1.3 Área de estudio

Es importante conocer las características del medio físico sobre el que se va a plantear una serie de actuaciones, para así poder establecer ciertas limitaciones, además de cumplir con la preservación de las zonas protegidas garantizando la mayor protección sobre todos los aspectos vulnerables en esta área.

Por ello destacar que se trata de un área crítica frente a efectos del cambio climático por la permeabilidad de su suelo, siendo esta muy alta o alta en todo el frente litoral analizado, excepto en los puertos de Burriana, Siles y Sagunto donde la permeabilidad del suelo es muy baja.



Figura 2. permeabilidad del suelo en la zona de actuación (Fuente: Visor GVA)

En cuanto al uso del suelo, se expone a continuación la situación actual de la zona de actuación, la cual se tiene en cuenta para plantear cualquier actuación con el fin de velar por el beneficio de todas las áreas afectadas.



Figura 3. Usos del suelo de la zona de actuación (Fuente: Visor GVA)

Como se puede observar el uso del suelo predominante es el residencial y el suelo rural protegido de afecciones o de dominio público (playas), aunque cabe tener en cuenta que abundan pequeñas zonas de dotaciones así como de suelo rural protegido y rural común.

Por último, para finalizar con el análisis previo del suelo perteneciente a la zona de actuación, se ubican las zonas protegidas a tener en cuenta en el momento del planteamiento de actuaciones, puesto que esta zona alberga espacios muy diversos con amplia variedad de estatus de protección que abarca prácticamente toda la zona del litoral desde el Puerto de Burriana hasta el Puerto de Sagunto, el cual es denominado "Zona protegida de interés pesquero puerto de Burriana-puerto de Sagunto". Además en la zona objeto de estudio se encuentran zonas de nidificación del chorlito patinegro, ave que se encuentra en la lista de especies de protección prioritaria de la Red Natura 2000, así como varias especies de flora protegidas que se encuentran clasificadas en el Catálogo Valenciano de Especies de Flora Amenazadas. Por preservar la integridad de estas especies y por más factores medioambientales, se llevará a cabo en este trabajo el planteamiento de un estudio ambiental.

A continuación se muestra los espacios protegidos por la Red Natura 2000 en la zona objeto de estudio, además de lo mencionado anteriormente:

Zonas LIC y ZEPA: Marjal de Nules, Playa de Moncófar, Marjal de Almenara y Marjal y estaños de Almenara:

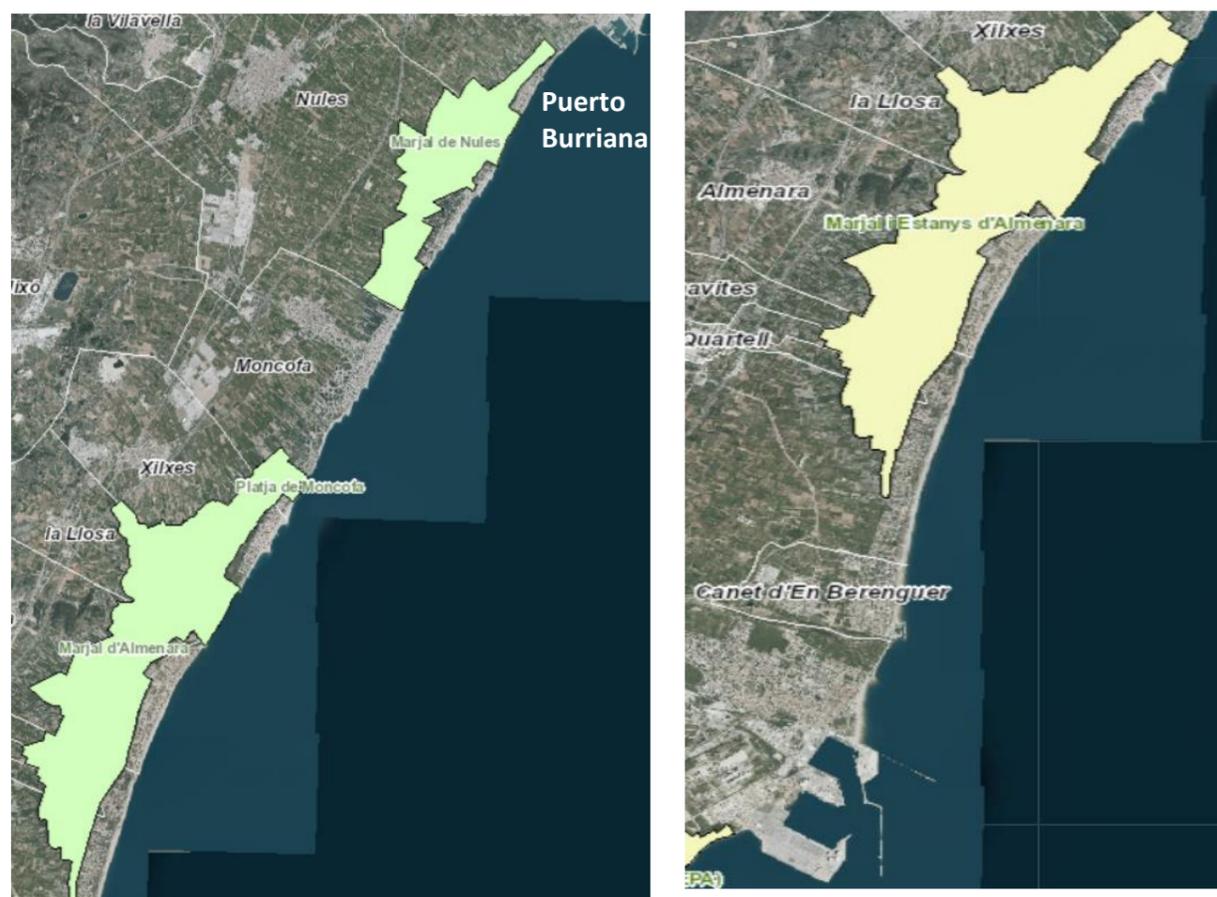


Figura 4. Zonas LIC y ZEPA, RED NATURA 2000 (Fuente: Visor GVA)

El estudio realizado (IH Cantabria, 2011) sobre las áreas de protección del patrimonio de la zona costera del Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto, determina lo siguiente:

- **Marjal de Nules-Burriana:** se trata de 644 Ha de zona húmeda litoral profundamente alterada, a pesar de lo cual conserva pequeñas áreas inundadas con vegetación típicamente palustre. Entre los hábitats, cabe destacar el de lagunas costeras, a sí como otros asociados al carácter de zona húmeda, como los prados de Molinio-Holoschoenion o aguas oligomesotróficas calcáreas con algas de agua dulce Chara sp. catalogada también como Zona Húmeda.
- **Playa de Moncófar:** declarada también microrreserva por la Consellería de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana.
- **Alguers de Borriana-Nules-Moncófar:** en el área marina comprendida aproximadamente entre el sur del Puerto de Burriana, al norte, y el frente litoral de Almenara al sur, existe un conjunto de hábitats caracterizados por la existencia de praderas de Cymodocea y Posidonia de extensión variable en la costa entre los 10 y 20 metros de profundidad. La relevancia de esta área que comprende 4082 Ha viene dada por los hábitats y especies vinculadas a la Posidonia oceánica.

- **Marjal de Almenara:** ocupando los municipios costeros de Moncófar y Almenara, se encuentra el segundo mayor marjal más extenso de la provincia de Castellón. Contiene más del 2% del hábitat de turberas de carrizos básicos, así como una gran diversidad de hábitats propios de humedales. Muy importante para aves acuáticas, especialmente la cigüeñuela y el fumarel cariblanco, contiene poblaciones de samaruc y galápago europeo y algunas especies de flora endémicas. Existe presencia invernal de especies amenazadas como porrón pardo y focha moruna. Catalogado también como Zona Humeda y ZEPA (IH Cantabria, 2011).

También existen varias microrreservas en el tramo costero de P.Burriana – P.Sagunto, declaradas mediante Orden de la Consellería de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana, a fin de favorecer la conservación de las especies botánicas raras, endémicas o amenazadas, o las unidades de vegetación que la contienen. Entre ellas destacan las siguientes, situadas dentro del DPM-T:

- **Playa de Moncófar, El Estanyol:** la zona microrreserva de flora situada al sur del Grau de Moncófar de 1.31 Ha de superficie. Se trata de una playa semiurbana con una longitud de 2 km y una anchura media de 15 m y un grado de ocupación bajo en la temporada estival.
- **La playa de Almenara, Casablanca:** las 5.39 Ha de área protegida como microrreserva de flora, se encuentran en la playa de 3 km de longitud situada a 4 km del núcleo urbano. Las unidades de vegetación prioritarias son la vegetación anual sobre desechos marinos acumulados y las arenas y gravas estabilizadas con Silene cambessedesii.

En cuanto a las áreas de protección del patrimonio cultural cabe destacar, por su localización junto a la línea de costa, el área de vigilancia arqueológica en la que se localizó el yacimiento romano de L'Alqueria de Moncófar y los restos de la Torre Forçada, que se encuentran integrados en una de las escolleras de protección costera en la playa de la Torre, al Sur de la desembocadura del río Belcaire. También frente al Puerto de Siles, a unos 1000-2500 metros de distancia de la costa, se encuentra el área Cabo Canet con hallazgos arqueológicos consistentes en materiales de cronología romana (s. I-III) y árabe medieval (s. XIII-XVI) pertenecientes a un área de fondeo y/o desembarco (IH Cantabria, 2011). Todo esto indica que esta costa sedimentaria ha estado avanzando durante siglos a un ritmo aproximado de metro/año, lo que contrasta con el retroceso de varios metros/años observado en las últimas décadas en algunas de estas playas.

1.4 Antecedentes y justificación de la necesidad de las actuaciones

La evolución de la costa valenciana en los últimos 70 años es un hecho muy significativo y sobre el que se han realizado cuantiosos análisis al respecto. En este caso el retroceso de la línea de costa así como la inestabilidad de la mayoría de las playas que conforman el litoral valenciano junto con la aportación artificial de sedimentos al tramo Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto, ha motivado la redacción de este trabajo.

Para el caso concreto del tramo costero Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto, los problemas de erosión y de inestabilidad de las playas que comprenden el mismo son diversos. A continuación se exponen los motivos por los que este tramo costero sufre erosión grave en su línea de costa que afectan tanto a zonas habitadas como a espacios naturales (IH Cantabria, 2011).

Así pues, las causas de los problemas mencionados anteriormente son múltiples, destacando los siguientes:

- La presencia del Puerto de Burriana (construido en 1933) que supone una barrera a la llegada del sedimento desde el Norte (playa de El Arenal ubicada al Norte de dicho puerto).
- En primer lugar, la reducción de los aportes sólidos fluviales al tramo de costa objeto de estudio como consecuencia de los diferentes embalses realizados en los principales ríos de la zona (el río Mijares y el Palancia). Se estima que los embalses Schar (1960) y Arenós (1980) en el río Mijares tuvieron como consecuencia una reducción en el aporte sólido fluvial medio anual de entre el 80- 90% con respecto a la situación previa a la construcción de los mismos.
- La gran capacidad de transporte de Norte a Sur debida al oleaje reinante de la zona.
- La configuración geométrica de la costa analizada, con grandes tramos rectilíneos, sin estructuras intermedias, cuya orientación y longitud impide en muchas zonas el poder adoptar una orientación sensiblemente parecida a la del flujo medio de energía.
- La elevada ocupación del frente litoral por urbanizaciones que da lugar a que más del 40% del tramo esté antropizado.
- Por último, también se debe tener en cuenta la disposición de diferentes elementos como diques exentos, espigones, escolleras, recrecimientos de golas existentes, etc, que han alterado localmente la dinámica litoral de la zona de estudio.

Por otra parte, debido a las características existentes en el tramo de costa objeto de estudio (elevada tasa de transporte, ausencia de sedimentos, gran número de zonas habitadas en el frente costero) hacen de la misma una de las más vulnerables frente a los efectos del cambio climático.

1.4.1. El Puerto de Burriana como barrera total

El Puerto de Burriana se encuentra en la comarca de La Plana Baixa, en la provincia de Castellón. Es el único puerto con usos deportivos entre Castellón de la Plana, situado a 19 kilómetros al norte y los puertos de Sagunto y Canet d'En Berenguer, a 49 km. al sur. Su localización exacta es longitud (Greenwich) 00° 04'E y latitud 38° 51'N.

Para conocer la situación actual de este puerto, se exponen las características generales y por zonas (PTGVA, 2020) del mismo a continuación:

Características generales	
Superficies	Tierra (m ²) 166.968 Agua abrigada (m ²) 290.650
Calado en la bocana (m)	7,0

Características por zonas	
Zona pesquera	
Muelles (ml)	435
Calado (m)	3,0 - 4,0
Zona comercial	
Muelles (ml)	184
Calado	5,0
Amarres deportivos en concesión (CN)	
Número (Ud)	200
Eslora máxima (m)	15
Calado (m)	1,5 - 3,0

Tabla 1. Características del Puerto de Burriana. (Fuente: PTGVA, 2020)

El Puerto de Burriana comenzó a construirse en 1927 y se finalizó el dique de Levante, con su dársena, en noviembre de 1932 (ADA, 1988). En sus orígenes este puerto surgió de la necesidad de exportar los cítricos que a principios de siglo XX era fuente de ingresos para muchos ciudadanos de la zona; actualmente se trata de un puerto exclusivamente deportivo y pesquero y un varadero de reparación de embarcaciones.

Cabe mencionar que ya en los primeros años de construcción del Puerto de Burriana, el problema principal que tuvo el primer proyecto fue que, al construir el dique de levante, los sedimentos de la cara interior hicieron avanzar extraordinariamente la playa (llegó a progresar 100 metros en tres años), de tal forma que si se continuaba con el proyecto se obtendría una dársena demasiado pequeña.

Frente a este continuo aterramiento por sedimentos, se decide en los años 70 construir un espigón transversal al dique de Levante y que sirve para retener la arena de la playa l'Arenal (apoyada al norte del dique de Levante). Este espigón tiene una longitud de 397 metros.

Con la construcción de este último espigón como remedio al soterramiento por sedimentos en la dársena del puerto, provocó la interrupción del flujo natural sedimentario del norte del Puerto de Burriana al sur del mismo, convirtiéndolo en una barrea total de sedimentos, con graves consecuencias erosivas en la playa inmediatamente al sur del puerto.

A continuación se muestra una figura en la que se puede apreciar, a simple vista, la situación de descompensación sedimentaria que provoca en la actualidad el puerto de Burriana, siendo uno de los ejemplos más claros de barrera total de sedimentos; se observa la gran acreción al norte del puerto y la fuerte recesión al sur del mismo.



Figura 5. Situación actual del Puerto de Burriana año 2020 (Fuente: Google Earth Pro)

Se han trazado las líneas de lo que sería la línea de costa previa a la construcción del Puerto en 1933 y la línea de costa en 1956 (primer vuelo fotográfico de la zona) cuando todavía no se había construido el espigón transversal al dique de Levate, y 2020 (actualidad).

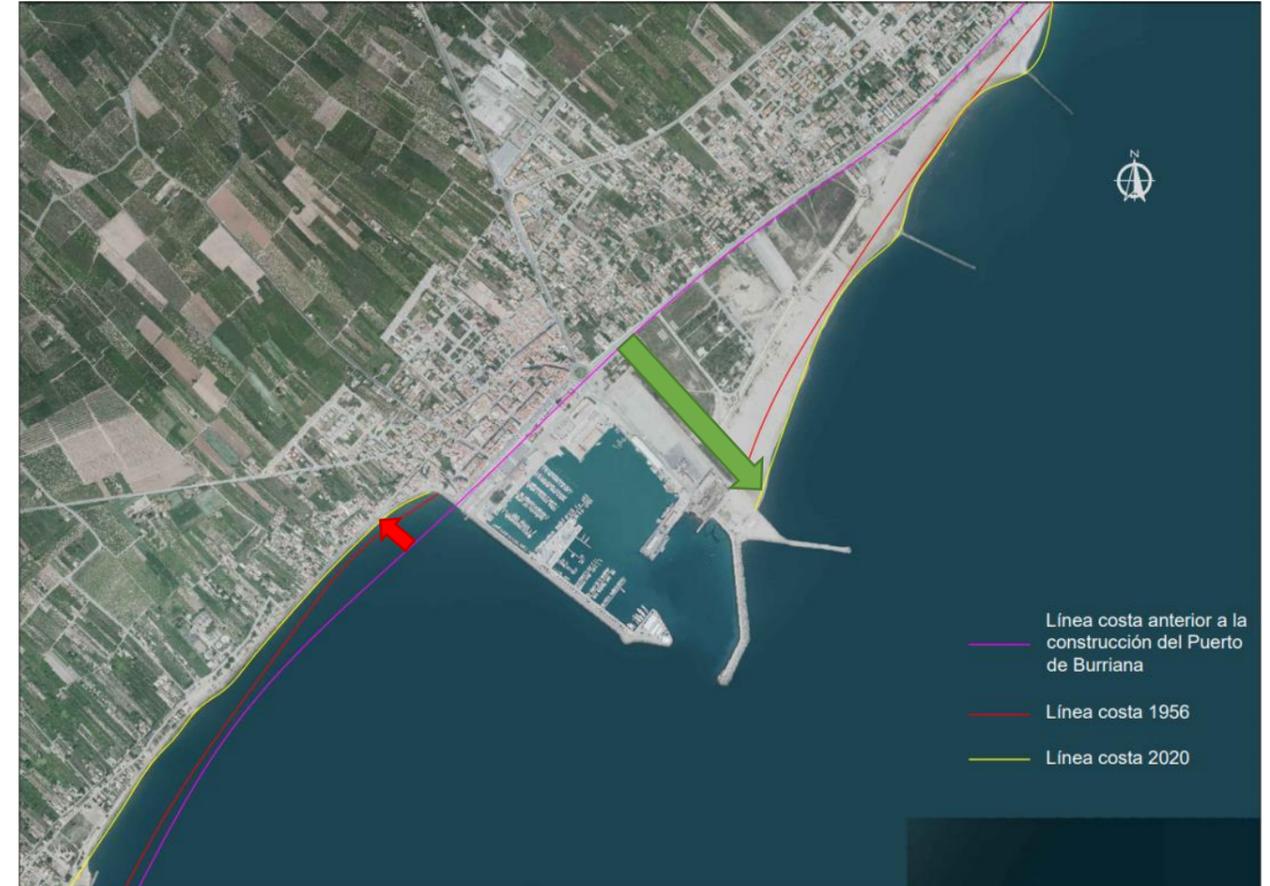


Figura 7. Línea de costa del Puerto de Burriana antes de su construcción y en los años 1956 y 2020.



Figura 6. Situación del Puerto de Sagunto años 1956 y 2020 respectivamente (Fuente: Visor GVA)

Todo el material procedente de la costa norte de Castellón, desde el año 1932, es retenido por el puerto de Burriana, que desde esa fecha ha acumulado en forma de triángulo apoyado en el dique del puerto, más de 3.000.000 m³ de sedimento. Este valor aporta una cifra de unos 35.000 m³/año.

Cabe mencionar, por lo tanto, que el presente trabajo centrará sus alternativas de actuación según la situación que se produzca con la gestión del sedimento al norte del Puerto de Burriana, puesto que el trasvase, o no, al sur del puerto de los sedimentos acumulados condicionará el planteamiento de las actuaciones a realizar en el tramo de costa comprendido entre los puertos de Burriana y Sagunto.

1.4.2 Situación actual

Para realizar la comparación de la línea de costa con las imágenes que se muestran a continuación, se analiza la situación de cada año mediante las ortofotos históricas georreferenciadas obtenidas del Visor cartográfico de la Generalitat Valenciana. Para realizar la comparación de la evolución de la costa desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto, se han utilizado las imágenes correspondientes a los años 1956, 2000 y 2020, seleccionando estas fechas en función de la disponibilidad de datos históricos y actuales fiables.

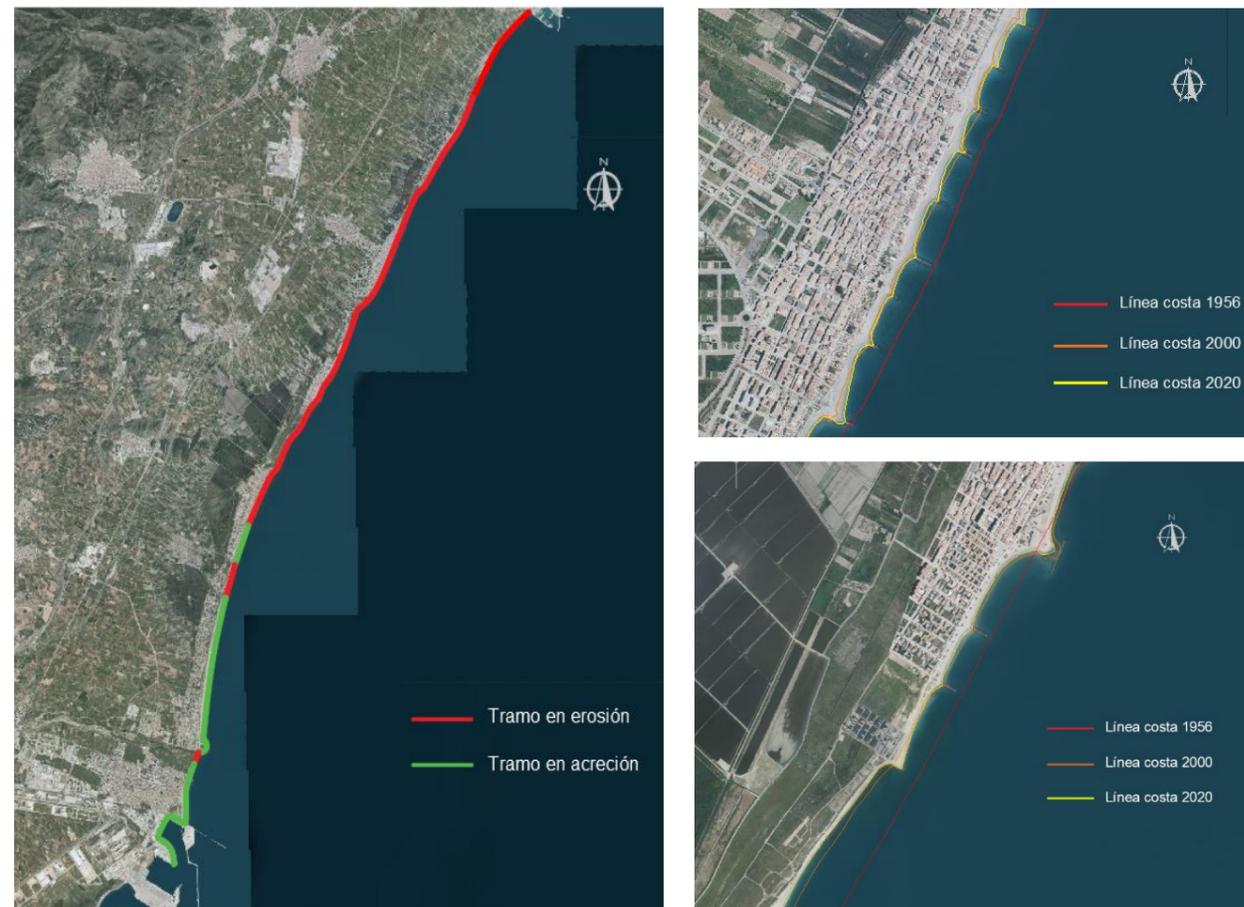


Figura 8. Estado del tramo costero objeto de estudio y detalle (Fuente: Visor GVA y elaboración propia)

Además de este hecho, las actuaciones a realizar que son objeto de estudio del presente trabajo, surgen de la necesidad de abordar la gestión de sedimentos en el proyecto “*Estudio de la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia*” (Alguacil Á., 2020). Del cual se ha escogido un tramo de costa para plantear una serie de actuaciones necesarias y así garantizar la correcta distribución del flujo sedimentario favoreciendo a la dinámica litoral mediante el trasvase de arenas y el desmantelamiento de obras marítimas, entre otras propuestas que se plantean en el proyecto de referencia pero que no son objeto de desarrollo del mismo.

2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Si se divide la zona de actuación en tres sectores, se puede realizar un análisis más detallado del área objeto de estudio en cuanto a su situación actual, y establecer así cuales son los sectores más afectados y los que necesitan una intervención prioritaria.

Los tres sectores en los que se ha dividido el área a analizar son Puerto de Burriana – Playa de Casablanca, Playa de Casablanca – Puerto Siles y Puerto Siles – Puerto de Sagunto y de esta forma se analiza lo siguiente:

- **Puerto de Burriana – Playa de Casablanca:** Comprende las playas Sur de Burriana, Nules, Moncófar, Chilches, La Llosa y Casablanca. La primera de ellas es la que más fuertemente ha sufrido la erosión costera (CEDEX, 2015), hallándose en grave estado ya que no existe playa seca y todo su frente está protegido por un dique longitudinal de escollera. Al tratarse de una playa abierta al este, los oleajes más energéticos inciden directamente sobre este tramo costero, al no encontrar ningún obstáculo durante su propagación. Este hecho junto con la presencia del puerto de Burriana, la cual supone una barrera al transporte longitudinal de sedimentos, ha originado un fuerte proceso erosivo a lo largo de todo el tramo de costa ubicado al sur del puerto (Proyecto de Mejora de la Accesibilidad y Protección de la Costa al Sur de Burriana (Castellón) TRAGSATEC 2010). A continuación, Nules es la transición de un tramo totalmente rigidizado por un dique de escollera longitudinal y playas entre espigones, de tal forma que el tramo más norte cuenta con ambas protecciones. No tiene graves problemas dada su rigidización pero su estado, especialmente frente a un entorno semiurbano, no es el adecuado. Al igual sucede con Moncófar, donde las soluciones que se han ido dando a los problemas erosivos de la playa son locales; rigidizando la costa frente a las zonas urbanas pero dejando que evolucione libremente fuera de ellas, lo que ha provocado una importante erosión de costa entre este municipio y Chilches, donde las soluciones dadas para regenerar su playa frente a la zona urbana son dos diques exentos, que no han funcionado lo suficientemente bien. Este hecho obligó a realizar posteriores actuaciones como realizar un saliente en el centro entre los diques exentos y una mota de gravas, entre otros. Las obras tras esos diques parece que han funcionado bien aunque, tras ellas, se vuelve a dar una erosión importante en la costa que afectan de forma grave a la playa de La Llosa. La playa de Casablanca, en Almenara, mantiene la alineación de la costa con el tramo norte, lo que ha obligado a rigidizar la protección de todo ese frente mediante un dique longitudinal como solución a su estado erosivo.
- **Playa de Casablanca - Puerto Siles:** La playa de Casablanca mantiene un buen estado (CEDEX, 2015), sin necesidad de obra alguna debido al giro que hace la costa al norte. Tiene una tendencia al crecimiento; especialmente junto al Puerto Siles, lo que induce al planteamiento de la gestión sedimentaria del material que anualmente retiene, no permitiendo un continuo crecimiento y equilibrando el reparto de sedimentos en las playas adyacentes. Cabe destacar que con la construcción del puerto de Siles, se cambiaron las condiciones de contorno de las playas del Canet y del norte de Sagunto. Este puerto ha provocado una acumulación de material en sus proximidades y basculamiento en las playas con acreción en el sur y erosión en las playas del norte. Se considera que el puerto de Siles se encuentra actualmente colmatado y ya no tiene capacidad de retención de sedimento, por lo que será necesario actuar sobre este hecho.

- **Puerto Siles - Puerto de Sagunto:** Este subtramo mantiene un buen estado que no requiere actuación alguna; si bien, el excedente de sedimento que pudiera aparecer anualmente, especialmente al norte del Puerto de Sagunto, debe realizarse una gestión de él para ayudar a mejorar el sector norte con detrimento de sedimento.

Tras haber realizado este análisis previo se realizará el análisis de la función de las obras de defensa existentes, del clima marítimo de la zona, de la previsible subida del nivel del mar debido al cambio climático y el impacto que puede tener en puntos críticos con graves erosiones actuales.

A modo representativo se muestra a continuación el estado actual de algunas zonas del tramo de costa objeto de estudio.



Figura 9. Estado actual de la Playa Sur de Burriana (Fuente: Elaboración propia)



Figura 10. Estado actual de la Playa de Chilches (Fuente: Elaboración propia)



Figura 11. Estado actual del sur del Puerto de Siles (Fuente: Google Maps, 2021)

Tras el análisis del estado actual de este tramo de costa, en el trabajo fin de máster “*Estudio de la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia*” (Alguacil Á., 2020) se plantea la restitución sedimentaria de todo el litoral valenciano, aportando una determinada cantidad de sedimentos en cada tramo, para que la misma dinámica litoral estabilice las playas con ese aporte adicional. El caso concreto del tramo Puerto de Burriana - Puerto de Sagunto se desarrollará en un punto de este mismo apartado, más adelante, para conocer con exactitud el estado en el que se encontrará este tramo de costa tras el aporte de sedimentos, y así tener un punto de partida sobre el que plantear una serie de actuaciones adecuadas a la situación.

Previamente se analiza la información existente del medio que pueda afectar al desarrollo de las actuaciones, así como los estudios que puedan haberse llevado a cabo sobre el tramo de costa que ha dado origen a este trabajo y las zonas adyacentes, con el objetivo de alcanzar un conocimiento lo más exhaustivo posible de la zona de actuación.

2.1 Dominio público marítimo-terrestre y área de servidumbre de protección

De acuerdo a la Ley 2/1988, de 28 de julio, de Costas. BOE n.º 181, de 29-06-88, el dominio público marítimo-terrestre (en adelante DPM-T) es el conjunto de bienes de dominio público formado por el mar territorial, las aguas interiores, los recursos naturales de la zona económica exclusiva y de la plataforma continental, así como las playas y costas hasta el alcance de los mayores temporales conocidos.

Por lo tanto en cualquier propuesta de actuación sobre el litoral es fundamental el conocimiento de la línea de deslinde del DPM-T.

En las figuras siguientes se muestra la línea continua en toda la zona de estudio de color verde que representa dicho deslinde. Sobre esta línea de deslinde del DPM-T destacan tramos en color amarillo que hacen referencia a fragmentos de dicho deslinde cuyos expedientes se encuentran en tramitación. El primero de estos tramos se sitúa en el área 2, inmediatamente al Sur de la Playa de Nules. El segundo se sitúa en el área 3, al Norte de la desembocadura del río Belcaire. Junto a la línea de deslinde del DPM-T se muestra también la línea (en color rosa) de deslinde del área de servidumbre de protección, que según el artículo 23 de la ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, recae en general sobre una zona de 100 metros medida tierra adentro desde el límite interior de la ribera del mar. Con la salvedad de los suelos urbanos en los que la anchura de la servidumbre de protección será de 20 metros, como indica

la disposición transitoria tercera. También se observa, en color naranja, la línea de servidumbre de protección en tramitación de algunas zonas; y la línea de color azul, hace referencia al límite Riberal del mar.

Se ha dividido el tramo de costa comprendido entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto en 5 áreas para la correcta visualización de las líneas de deslinde correspondientes.

Cabe mencionar que los acrónimos DPMT y SP significan Dominio público marítimo-terrestre y Servidumbre de protección respectivamente.



Figura 12. Deslindes del área 1 del tramo P.Burriana - P.Sagunto (Fuente: Visor GVA)



Figura 13. Deslindes del área 2 del tramo P.Burriana - P.Sagunto (Fuente: Visor GVA)

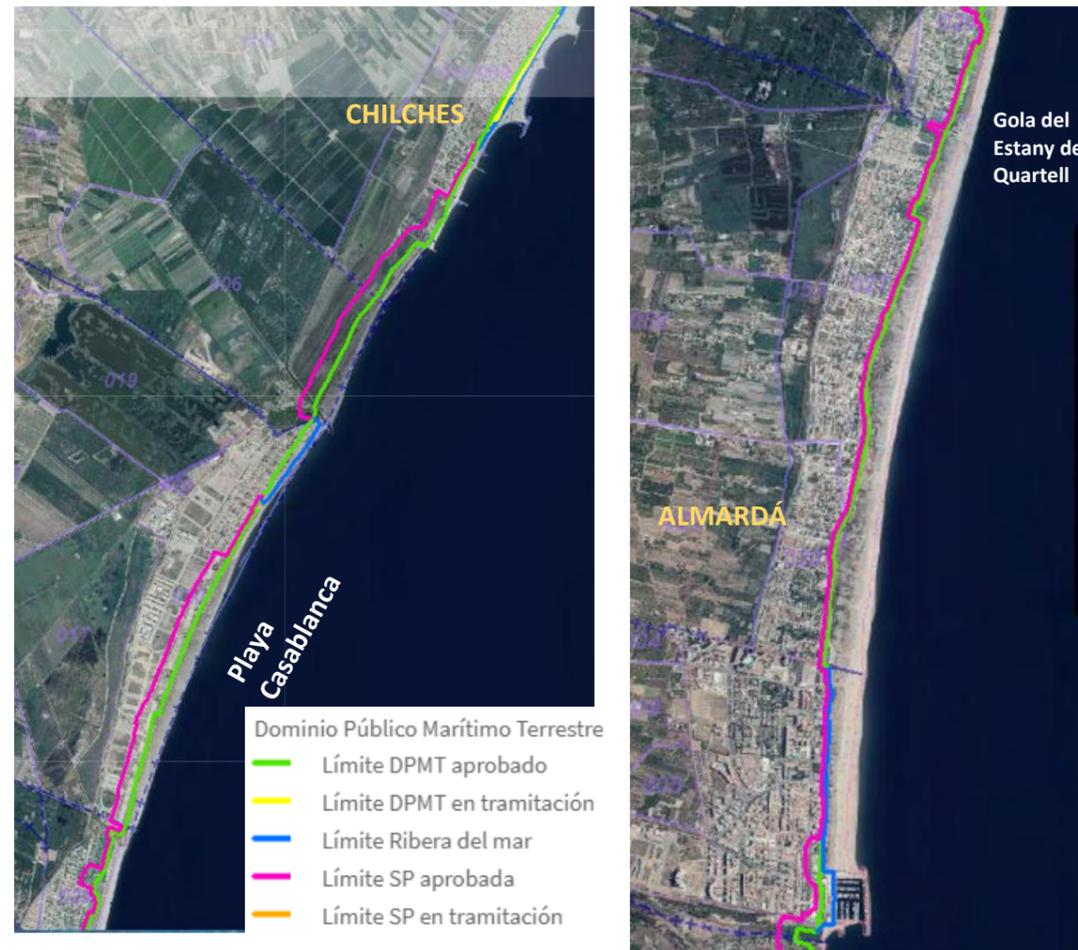


Figura 14. Deslindes de las áreas 3 y 4 del tramo P.Burriana - P.Sagunto (Fuente: Visor GVA)



Figura 15. Deslindes del área 5 del tramo P.Burriana - P.Sagunto (Fuente: Visor GVA)

2.2 Clima marítimo

Para llevar a cabo cualquier tipo de actuaciones en el litoral es necesario conocer los procesos y dinámicas que acontecen en la zona de estudio. Por ello a continuación se procede a analizar en profundidad las variaciones del nivel del mar, la acción del viento y la del oleaje. El agente más importante es el oleaje, por las consecuencias visibles y no visibles que origina tanto en la costa como en sus proximidades (erosiones, transporte de sedimentos, etc).

El conocer en una zona costera los parámetros de ola estadísticamente representativos de un oleaje irregular y aleatorio es, por lo tanto, de vital importancia para la ingeniería de puertos y costas (Bonanata et al., 2010).

En este apartado se describe brevemente la climatología y se caracterizan los regímenes medio y extremal en el tramo de costa objeto de estudio. Los datos del régimen medio se utilizan para el posterior cálculo del transporte de sedimentos y para la correcta programación de los trabajos; el régimen extremal permite obtener los datos más desfavorables a tener en cuenta para las actuaciones a largo plazo, como el cálculo del volumen de arena necesario para la regeneración de playas y el análisis de la subida del nivel del mar a lo largo del siglo.

2.2.1 Climatología

La costa valenciana pertenece a un ámbito climático denominado Clima Templado y subtipo Clima Mediterráneo típico con verano cálido (Csa), según la clasificación de Köppen-Geiger (Simulaciones y Proyectos, 2020). Esta zona se caracteriza por un invierno húmedo de temperaturas suaves y veranos secos y calurosos, siendo típica la sequía estival. El régimen de precipitaciones suele presentar sus máximos en las estaciones intermedias de primavera y otoño, destacando el fenómeno de la gota fría. El riesgo de perturbaciones atmosféricas de tipo tropical, como ciclones o tornados, es prácticamente nulo dada la latitud a la que se encuentra (Alguacil Á., 2020).

2.2.2 Fuentes de datos

La información necesaria para la definición de los procesos y dinámicas del mar en este tramo se ha obtenido utilizando la caracterización del clima marítimo en la costa valenciana que ofrece el banco de datos oceanográficos de la página web de Puertos del Estado (www.puertos.es), utilizando las siguientes fuentes de datos:

- **Nivel del mar:** Se ha empleado la información obtenida del mareógrafo REDMAR de Sagunto del Organismo Público Puertos del Estado (OPPE), cuyas series de datos horarios han sido suministradas por el Programa de Clima Marítimo y comprenden el período de tiempo desde 2007 a 2021.
- **Régimen medio:** Se empleará la red de datos SIMAR, que está formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de un modelado numérico, es decir, son datos simulados y no proceden de medidas directas de boyas. Las series SIMAR surgen de la concatenación de los dos grandes conjuntos de datos simulados de oleaje con los que tradicionalmente ha contado Puertos del Estado: SIMAR-44 y WANA, con el objetivo de ofrecer series temporales más extensas en el tiempo y actualizadas diariamente. Ofrece datos desde el año 1958 hasta la actualidad.
Cabe decir que los datos SIMAR no son datos de predicción, sino de diagnóstico o análisis. Esto supone que para cada instante el modelo proporciona campos de viento y presión consistentes con la evolución anterior de los parámetros modelados y con las observaciones realizadas. Los modelos de vientos y de oleaje se modifican periódicamente cada hora. Para generar los campos de oleaje se utiliza el modelo numérico WAM, que incluye los efectos de refracción y asomeramiento. Es necesario para su uso práctico que los datos de oleaje se interpreten siempre como datos en aguas abiertas a profundidades indefinidas, ya que dada la resolución del modelo se pueden considerar despreciables los efectos del fondo.
- **Régimen extremal:** Se empleará el conjunto de datos REDEXT que está formado por las medidas procedentes de la Red de Boyas de Aguas Profundas (Red Exterior). Esta red unifica, amplia y actualiza las antiguas redes RAYO y EMOD. Sus boyas se caracterizan por estar fondeadas lejos de la línea de costa a gran profundidad (más de 200 metros), por lo que las medidas de oleaje de estos sensores no están perturbadas por efectos locales. Cada boya proporciona observaciones representativas de grandes zonas litorales. La Red Exterior está compuesta por boyas de tipo Wavescan y SeaWatch: las de tipo Wavescan solo miden oleaje y variables atmosféricas; las boyas SeaWatch miden tanto oleaje como parámetros atmosféricos y

oceanográficos. Actualmente todas ellas miden el oleaje de forma direccional. Su cadencia temporal es de 1 hora y su tiempo de medida es de 30 y 10 minutos para el oleaje y el viento, respectivamente.

2.2.3 Nivel del mar

El nivel del mar característico de la zona de estudio se ha obtenido de la información aportada por el mareógrafo de Sagunto, que se encuentra situado según lo mostrado en la siguiente figura:

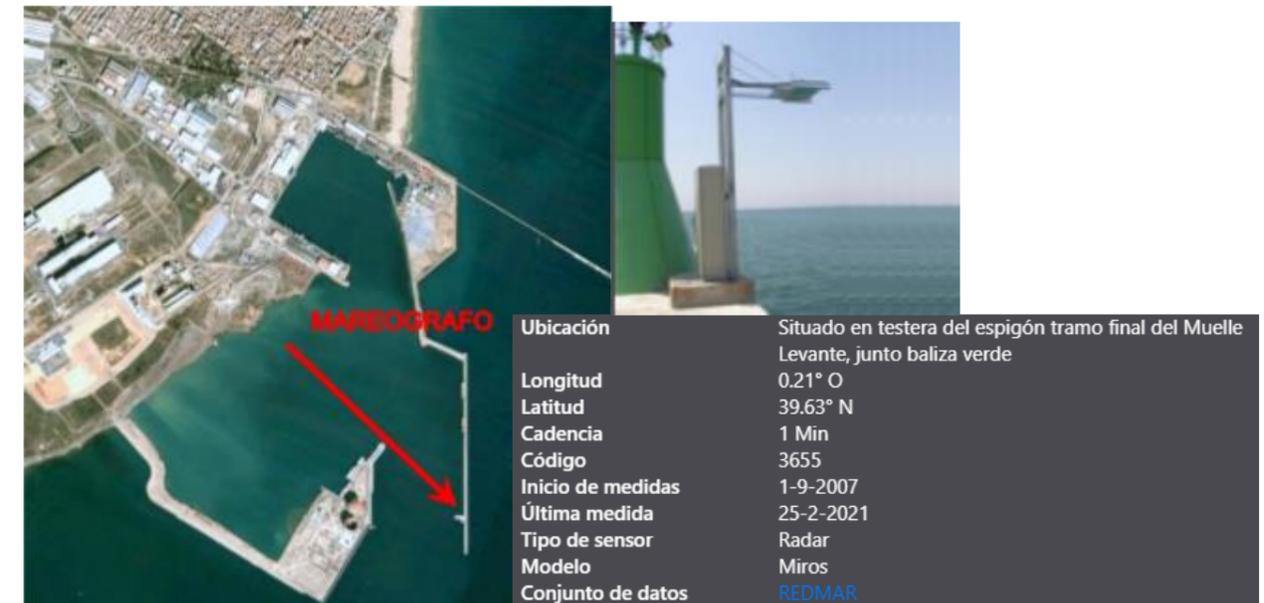


Figura 16. Ubicación del mareógrafo de Sagunto (Fuente: Puertos del Estado)

El clavo geodésico más cercano se conoce con el nombre de MAREO-SAGUNTO. El cero del mareógrafo está situado 3,769 m bajo dicho clavo, y el NMMA 3,959 m por debajo del mismo. La siguiente figura muestra el esquema de los niveles de referencias del mareógrafo del puerto de Sagunto:

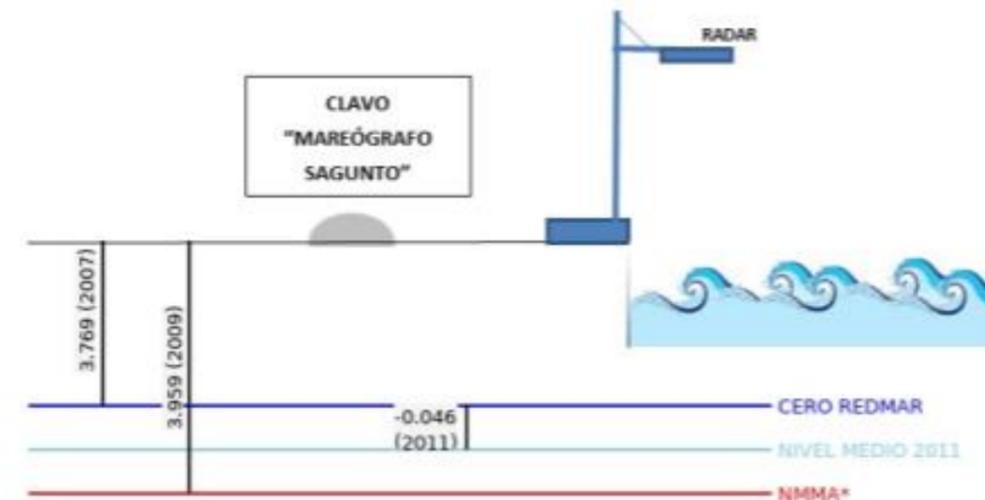


Figura 17. Niveles de referencia del mareógrafo de Sagunto (Fuente: Puertos del Estado)

2.2.3.1 Marea Astronómica

El nivel del mar total se separa en marea astronómica y marea meteorológica. La descripción y predicción de la marea astronómica en una localización dada puede hacerse mediante lo que se denomina análisis armónico de mareas. Dicho análisis se basa en que la marea astronómica está constituida por un número de componentes armónicas cuyos periodos están perfectamente establecidos, dado que coinciden con los períodos de algunos movimientos astronómicos relativos entre la Tierra, la Luna y el Sol (IH Cantabria, 2011).

A continuación se realiza un análisis de componentes armónicas del registro del mareógrafo de Sagunto, determinándose las diferentes constantes armónicas de dicha marea, las cuales se presentan en la siguiente tabla:

Armónicos de Marea para el periodo 2008 - 2019			
Armónico	Frecuencia (ciclos/hora)	Amplitud (cm)	Fase (°)
SA	0.000114	6.87	252.53
K1	0.041781	3.76	162.35
O1	0.038731	2.51	106.02
M2	0.080511	1.85	196.33
P1	0.041553	1.25	157.88
S1	0.041667	1.06	268.56
S2	0.083333	0.46	207.69
N2	0.078999	0.45	187.25
M4	0.161023	0.26	3.4
K2	0.083561	0.18	207.22
M3	0.120767	0.17	163.04
MS4	0.163845	0.15	70.21
MN4	0.159511	0.11	319.2
SK3	0.125114	0.09	116.74
2N2	0.077487	0.08	177.28
NU2	0.079202	0.08	193.65
MU2	0.077689	0.07	161.5
2MS6	0.244356	0.05	314.32
MK4	0.164073	0.04	73.49
M6	0.241534	0.03	241.81
2MN6	0.240022	0.02	226.59

Tabla 2. Constantes armónicas de la marea astronómica en Sagunto (Fuente: Puertos del Estado)

En la tabla 2 se pueden consultar los valores de las componentes diurnas K1, O1, S1, con el máximo en la componente K1, así como de las semidiurnas M2, S2, N2. Tal como se puede observar en la tabla 1, la marea astronómica en Sagunto es mixta con predominio de componente diurna, y de pequeña amplitud, con valores máximos inferiores a 0,25 m.

2.2.3.2 Marea Meteorológica

La marea meteorológica, asociada a las perturbaciones atmosféricas, tiene un carácter aleatorio. La obtención de la marea meteorológica se ha efectuado teniendo en consideración los residuos REDMAR del mareógrafo de Sagunto.

En la siguiente figura se presenta la función de densidad de la marea meteorológica para el periodo de 2008-2021. Tal y como puede ser observado en la Figura 15, el nivel de marea meteorológica más probable tiene un valor entre -5 – 0 m.

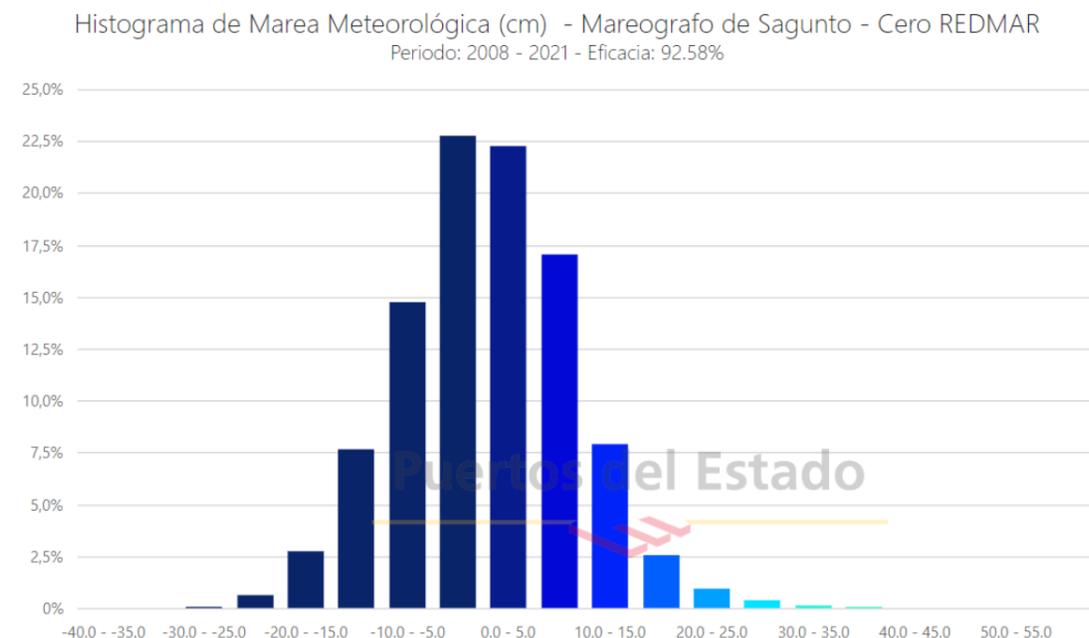


Figura 18. Histograma de la marea meteorológica de Sagunto (Fuente: Puertos del Estado)

Una vez evaluada la marea astronómica, así como la marea meteorológica, se determina el nivel del mar total como suma de ambos niveles.

Tras este análisis, se observa que el mareógrafo de Sagunto muestran claramente como los niveles del mar en raras ocasiones descienden de los -30 cm o superan los +30 cm. Por otro lado cabe indicar que el máximo histórico se sitúa en los +55 cm y el mínimo en los -47 cm. Una vez expuestos todos los datos referentes al nivel del mar, a efectos de cálculo se consideran las recomendaciones de la ROM 0.2-90, en condiciones normales de operación y en mar sin marea astronómica significativa, se recomienda utilizar como máximo y mínimo valor el nivel medio ± 30 cm respectivamente.

2.2.4 Régimen medio

Como ya se ha comentado anteriormente, se empleará la red de datos SIMAR para la caracterización del régimen medio. Para ello se han escogido 3 nodos repartidos a lo largo del tramo de costa a analizar, representando el norte, centro y sur del mismo. La Figura 16 muestra la localización de cada uno de los puntos.



Figura 19. Localización de los puntos SIMAR (Fuente: Puertos del Estado)

La información detallada relativa a los 3 nodos SIMAR, se muestra a continuación:

SIMAR 2083118	
Código B.D.	2083118
Longitud	-0.083 E
Latitud	39.833 N
Profundidad indefinida	

SIMAR 2083117	
Código B.D.	2083117
Longitud	-0.083 E
Latitud	39.750 N
Profundidad indefinida	

SIMAR 2082116	
Código B.D.	2082116
Longitud	-0.167 E
Latitud	39.667 N
Profundidad indefinida	

Tabla 3. Información relativa a los nodos SIMAR observados (Fuente: Puertos del Estado)

La serie de datos analizada comprende desde enero de 1958 hasta mayo de 2017. Los resultados que se muestran son los siguientes:

- Distribución conjunta del periodo pico (T_s) y altura significativa (H_s).
- Altura de ola significativa dividida por estaciones con el fin de comprobar si existen diferencias importante entre ellas y, en caso afirmativo, establecer qué periodo es el más desfavorable.
- Rosa del oleaje anual discretizada por direcciones que permite determinar cuáles de ellas se dan con mayor frecuencia.

A continuación, se detallan estos valores para cada una de las zonas consideradas.

- **Zona Norte del tramo costero (Burriana):**

Las frecuencias de cada altura de ola y su periodo pico asociado se muestran en la siguiente figura:

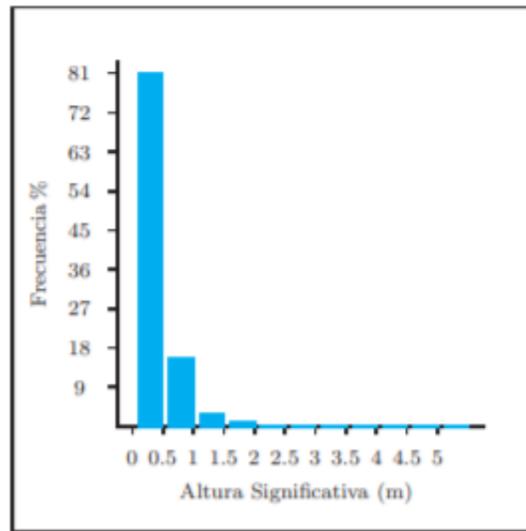
Hs (m)	Tp (s)											Total
	≤ 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	> 10.0	
≤ 0.5	-	1.068	11.655	17.025	15.007	15.843	11.267	6.266	3.591	1.638	0.366	83.727
1.0	-	-	0.140	1.197	1.888	2.187	2.965	2.404	1.743	1.019	0.434	13.976
1.5	-	-	-	0.024	0.048	0.078	0.253	0.444	0.383	0.354	0.206	1.788
2.0	-	-	-	-	0.007	0.004	0.016	0.083	0.136	0.111	0.058	0.415
2.5	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.024	0.025	0.022	0.074
3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.003	0.008	0.014
3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.002
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	0.003
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	0.001
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	1.068	11.795	18.245	16.949	18.112	14.500	9.199	5.879	3.151	1.101	100 %

Figura 20. Relación anual del periodo pico (T_p) y la altura significativa (H_s) en % en el punto SIMAR 2083118 (Fuente: Puertos del Estado)

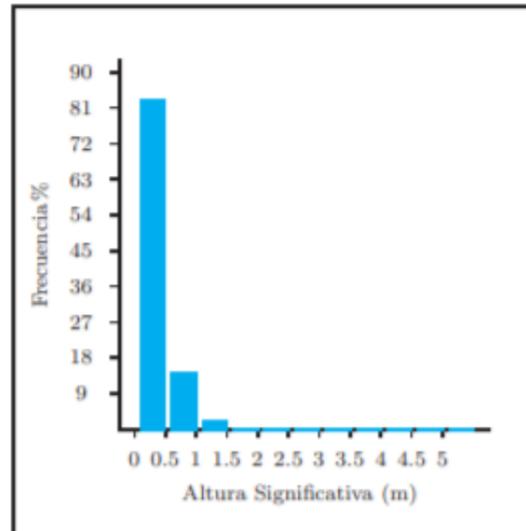
Observando los datos de la tabla se deduce que la altura de ola de mayor ocurrencia es menor a 0,5 metros y de periodo 4 segundos. En general, no se trata de una zona que presente grandes alturas de ola de manera habitual.

En las siguientes figuras se observa que en invierno se dan alturas de ola mayores con mayor frecuencia, aunque la diferencia es insignificativa.

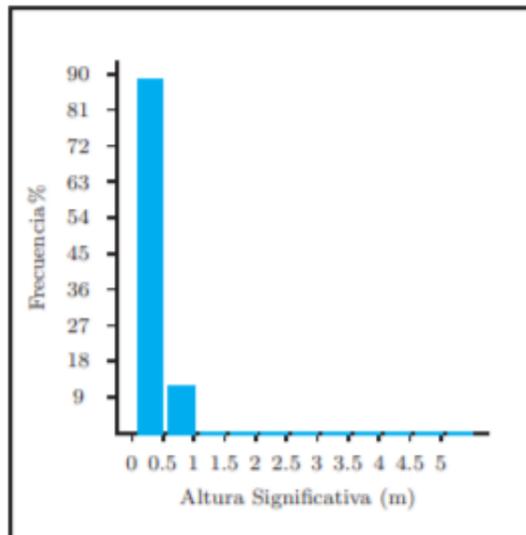
DICIEMBRE – FEBRERO



MARZO – MAYO



JUNIO – AGOSTO



SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE

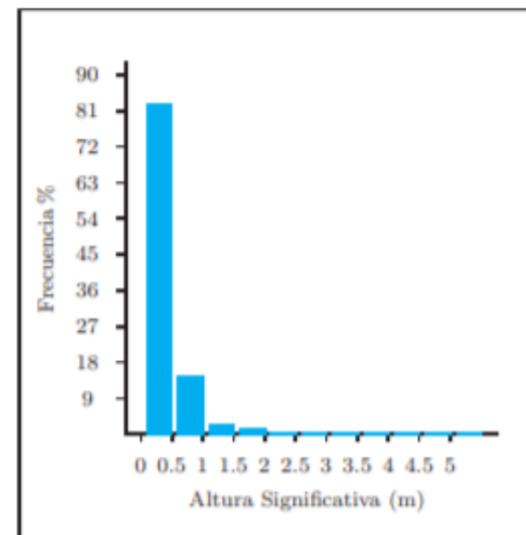


Figura 21. . Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2083118 (Fuente: Puertos del Estado)

A continuación se analiza las direcciones predominantes del oleaje para la zona Norte del tramo costero. La rosa de oleaje muestra que las direcciones de oleaje predominantes son la ESE (22,5%), y SE (15,2%). El porcentaje de calmas es del 29,05%, el mayor de los nodos SIMAR analizados. La probabilidad de exceder alturas de ola superiores a 2,5 metros es inapreciable.

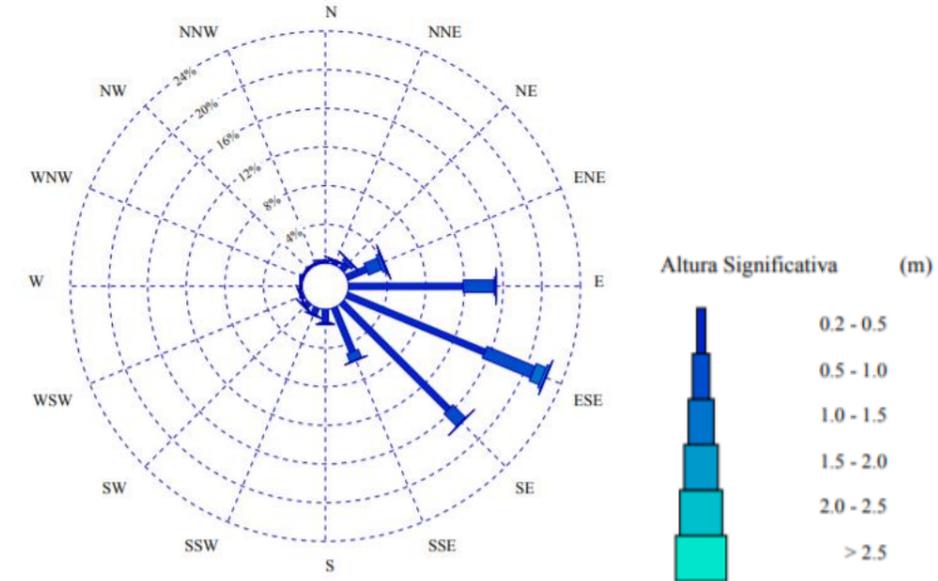


Figura 22. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2083118 (Fuente: Puertos del Estado)

○ Zona Centro del tramo costero (Almenara – Chilches)

Las frecuencias de cada altura de ola y su periodo pico asociado se muestran en la siguiente figura:

Hs (m)	Tp (s)											Total
	≤ 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	> 10.0	
≤ 0.5	-	0.371	7.460	13.638	14.409	13.845	7.666	4.036	2.262	0.906	0.144	64.737
1.0	-	-	0.254	3.036	5.133	6.669	6.589	3.516	1.907	0.874	0.282	28.260
1.5	-	-	-	0.035	0.266	0.714	1.295	1.037	0.815	0.499	0.229	4.889
2.0	-	-	-	-	0.005	0.063	0.297	0.383	0.304	0.226	0.145	1.423
2.5	-	-	-	-	-	0.001	0.021	0.139	0.148	0.119	0.048	0.476
3.0	-	-	-	-	-	-	0.001	0.030	0.059	0.037	0.030	0.157
3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.017	0.014	0.009	0.041
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	0.003	0.008	0.012
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	0.003	0.005
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	0.371	7.714	16.709	19.812	21.293	15.868	9.142	5.512	2.680	0.900	100%

Figura 23. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2083117 (Fuente: Puertos del Estado)

Observando los datos de la tabla se deduce que la altura de ola de mayor ocurrencia es menor a 0,5 metros y de periodo 5 segundos.

De la siguiente figura se deduce que en los meses entre diciembre y febrero se dan alturas de ola de hasta 2,5 metros, sin embargo, en los meses de verano es muy poco probable que se den alturas superiores a 1,5 metros.

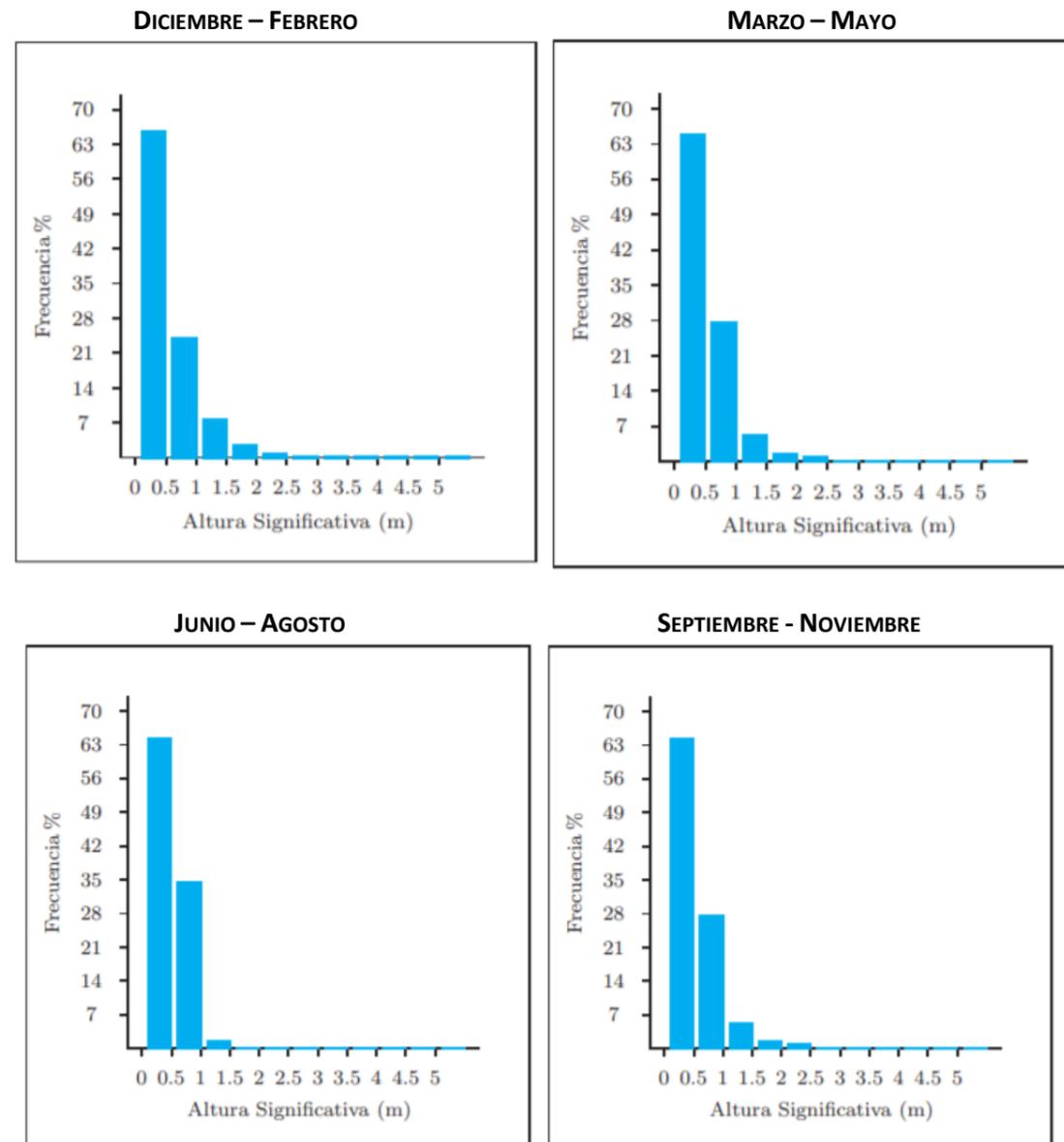


Figura 24. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2083117 (Fuente: Puertos del Estado)

A continuación se analiza las direcciones predominantes del oleaje para la zona Centro del tramo costero objeto de estudio. La rosa de oleaje muestra que las direcciones de oleaje predominantes para el tramo central de la costa son E (23%), y ENE (22,5%). El porcentaje de calmas es del 16,36% y la probabilidad de exceder alturas de ola superiores a 2,5 metros es muy baja.

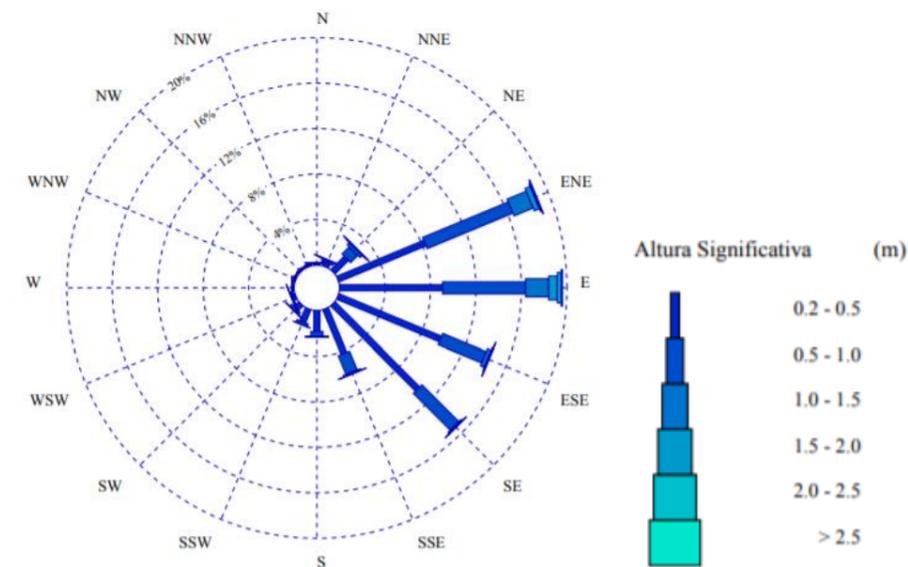


Figura 25. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2083117 (Fuente: Puertos del Estado)

○ **Zona Sur del tramo costero (Sagunto)**

La distribución anual del periodo pico (T_p) y la altura significativa (H_s) en el área próxima al Puerto de Sagunto se muestran a continuación.

Hs (m)	Tp (s)											Total
	≤ 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	> 10.0	
≤ 0.5	-	0.615	8.057	13.479	15.691	14.621	7.998	4.480	2.678	1.112	0.214	68.945
1.0	-	-	0.244	2.795	4.597	5.752	5.729	3.395	1.881	0.867	0.333	25.594
1.5	-	-	-	0.028	0.146	0.501	0.999	0.867	0.716	0.444	0.215	3.919
2.0	-	-	-	-	0.009	0.024	0.171	0.298	0.270	0.219	0.109	1.100
2.5	-	-	-	-	-	0.001	0.009	0.087	0.108	0.084	0.037	0.326
3.0	-	-	-	-	-	-	-	0.008	0.038	0.030	0.016	0.091
3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	0.004	0.009	0.017
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.005	0.006
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	0.001
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	0.615	8.302	16.302	20.444	20.899	14.906	9.136	5.695	2.762	0.939	100%

Figura 26. Relación anual del periodo pico (T_p) y la altura significativa (H_s) en % en el punto SIMAR 2082116 (Fuente: Puertos del Estado)

De nuevo las alturas de ola más frecuentes son las inferiores a 0,5 metros y periodo pico 5 segundos. En el periodo invernal pueden darse alturas de ola mayores, aunque su frecuencia sigue siendo bastante baja, como se puede observar a continuación.

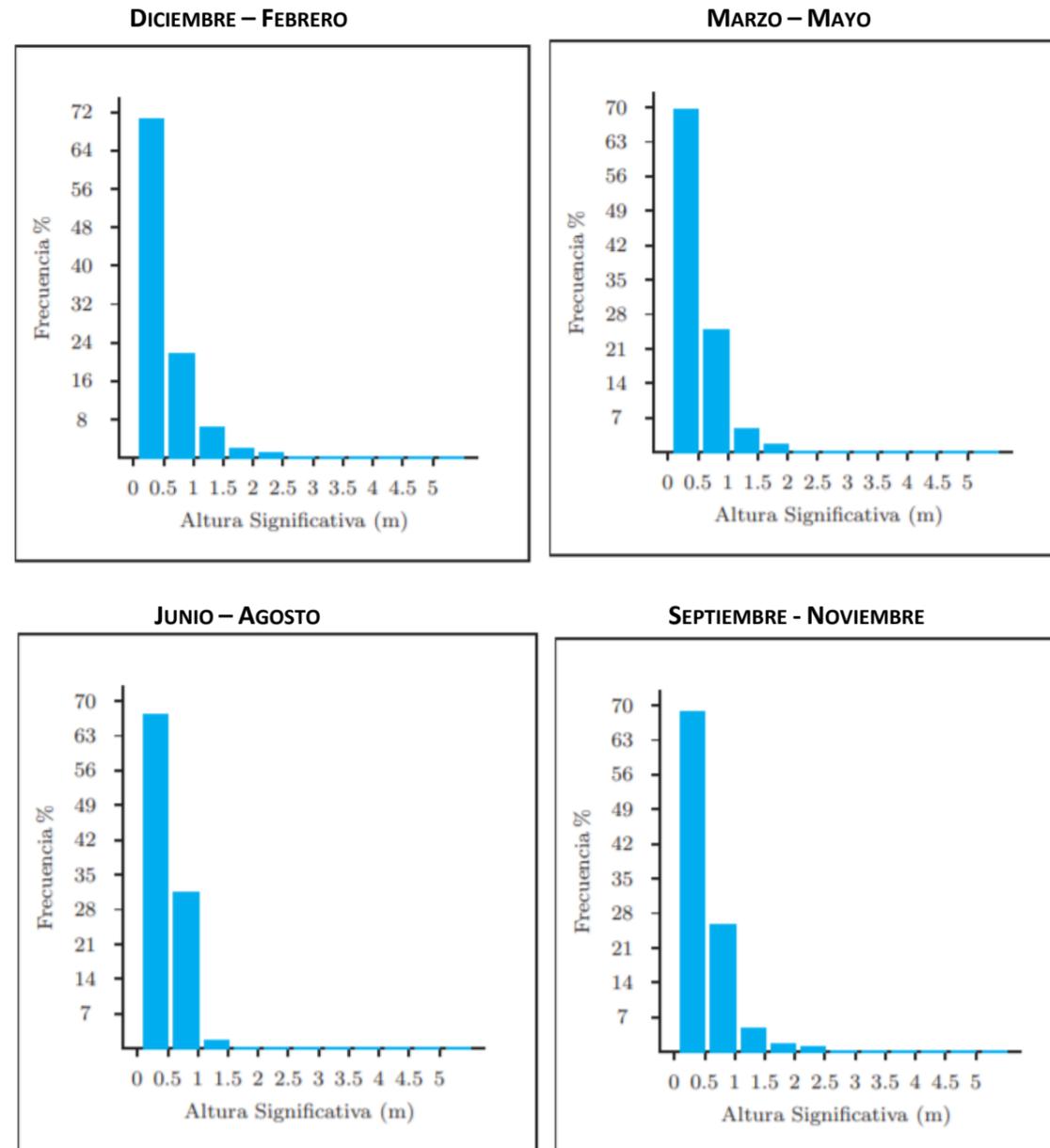


Figura 27. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2082116 (Fuente: Puertos del Estado)

En este caso, el porcentaje de calmas es del 19,64%. En la siguiente figura puede observarse que el oleaje predominante tiene una dirección E (23,85 %), y como secundarias se observan las direcciones ESE y SE prácticamente a la par de incidencia.

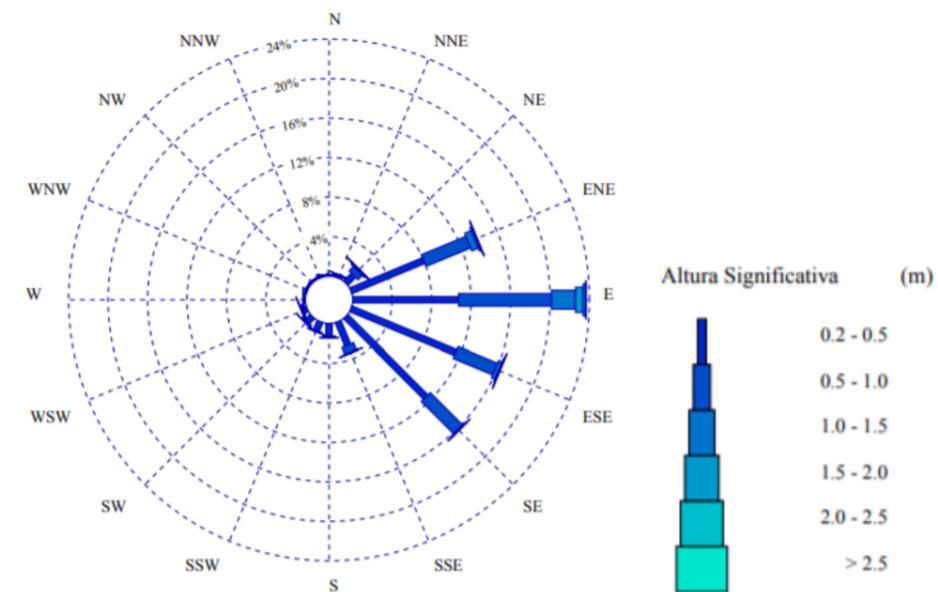


Figura 28. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2082116 (Fuente: Puertos del Estado)

2.2.5 Régimen extremal

La caracterización del régimen extremal se llevará a cabo a través de los datos reales que ofrece Puertos del Estado mediante la observación de las boyas. Por ello, se ha utilizado la Boya de Valencia la cual recoge datos desde 2005 hasta 2017, perteneciente a la red REDEXT y cuya información se muestra a continuación.



Figura 29. Localización e información de la Boya de Valencia (Fuente: Puertos del Estado)

En la siguiente figura se muestra la probabilidad de excedencia anual de una altura de ola para un periodo de retorno dado. Teniendo en cuenta el tipo de actuaciones que se pretenden proyectar, se considera un periodo de retorno mínimo de 50 años.

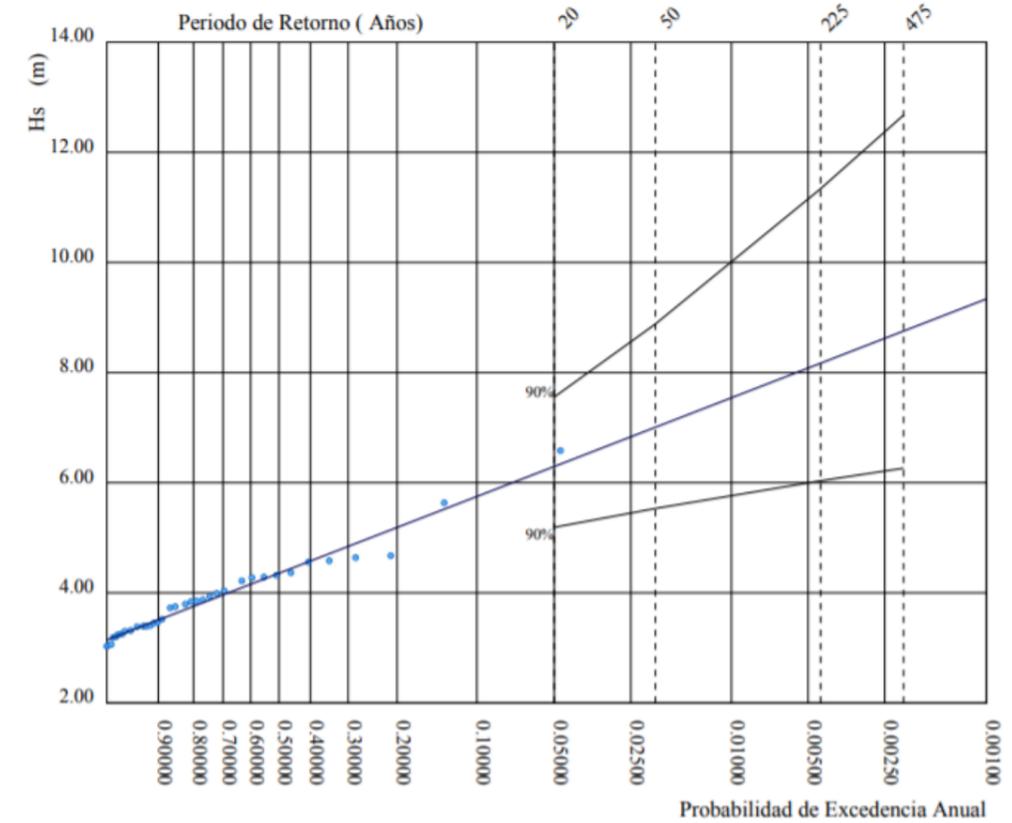


Figura 30. Régimen extremal escalar del oleaje de la Boya de Valencia (Fuente: Puertos del Estado)

P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	225.00	475.00
Estima Central de Hs (m)	6.30	7.01	8.17	8.76
Banda Sup. 90% Hs	7.55	8.88	11.34	12.68
Valor Esperado de Tp (s)	11.20	11.98	13.22	13.81
Prob. de Exc. en 20 Años	0.64	0.33	0.09	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.64	0.20	0.10

Parametros del Ajuste POT de Altura Significante

Umbral de Excedencia	3.00 (m)	Parametros de la Distribucion Weibull de Excedencias	Alfa = 3.13 Beta = 0.67 Gamma = 0.95
Num. Min. de Dias Entre Picos	5.00		
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	4.13		

Relacion entre Altura Significante (m) y Periodo de Pico (s)

$$T_p = 3.48 H_s^{0.63}$$

Figura 31. Valores y parámetros del régimen extremal escalar del oleaje de la Boya de Valencia (Fuente: Puertos del Estado)

Observando los datos anteriores se deduce que para el periodo de retorno considerado T = 50 años, la altura de ola es de 7,01 metros y su periodo de pico asociado 11,98 segundos.

A continuación se muestra y analiza la rosa de altura significativa de la Boya de Valencia, de la que se deduce que las direcciones predominantes del oleaje son NE, E y SE, destacando alturas de ola de hasta 2 metros y siendo el porcentaje de calmas es del 0,67%.

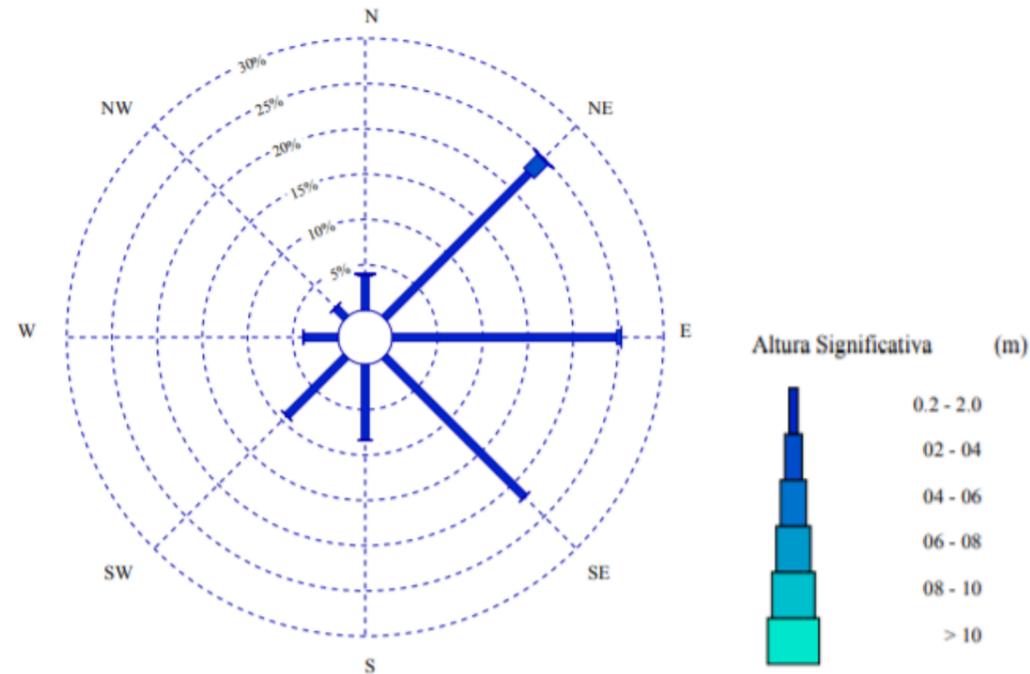


Figura 32. Rosa de altura significativa de la Boya de Valencia (Fuente: Puertos del Estado)

2.3 Sedimentología del tramo

La caracterización de sedimentos de las playas que conforman el área de estudio resulta necesaria ya que para su regeneración se debe disponer de un material con unas características granulométricas adecuadas que garanticen su estabilidad en la playa y su compatibilidad para el uso de la misma (CEDEX, 2013).

De acuerdo a la granulometría las arenas se clasifican como:

- Arenas gruesas: 2 – 0,6 mm
- Arenas medias: 0,6 – 0,2 mm
- Arenas finas: 0,2 – 0,06 mm

También es importante determinar la forma de las partículas (redondeadas, irregulares, angulares) y su textura (rugosa, suave, pulida).

La selección del material para la regeneración de playas tiene como principal factor limitante el porcentaje de material fino presente en el sedimento a aportar. Se considera que un material es de buena calidad cuando el porcentaje de finos (limos y arcillas) presente no supera el 5% del total en la distribución granulométrica, minimizando así los efectos derivados del aumento de turbidez y sedimentación del material fino (CEDEX, 2013).

En relación con ello, a partir de valores superiores al 10%, la aceptación del material puede ser considerada como dudosa debido principalmente a los efectos ambientales que podría ocasionar sobre la turbidez de las aguas de los alrededores de la zona de vertido (Dean, 1992).

2.3.1 Caracterización sedimentológica de las playas

La caracterización de las playas que integran la costa objeto de actuación se ha realizado a partir del Plan de Ecocartografías del litoral español; concretamente se han obtenido los datos de la Ecocartografía del litoral de las provincias de Alicante y Valencia (2006) y Ecocartografía del litoral de la provincia de Castellón (2009).

A continuación se muestran la tabla con la información sedimentológica de cada playa que conforma el tramo costero objeto de estudio, ordenadas de Norte a Sur desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto.

Nombre	Tipo de playa	Sedimento	D ₅₀ (mm)
Playa de Nules	Urbana	Bolos / Grava / Arena	2,3869
Playa Pedra Roja	Urbana	Grava / Arena	3,6557
Playa El Grau	Urbana	Bolos / Arena	2,514
Playa del Masbo	Urbana	Bolos / Arena	0,6413
Playa de Tamarit	Aislada	Bolos	0
Playa La Torre	Aislada	Bolos / Arena	0
Playa El Estanyol	Semiurbana	Bolos / Grava / Arena	1,0267
Playa Las Casas	Urbana	Bolos / Grava / Arena	0,4428
Playa El Cerezo	Semiurbana	Bolos / Grava / Arena	0,797
Playa La Llosa	Aislada	Bolos / Grava / Arena	1,614
Playa Casablanca	Urbana	Roca / Grava / Arena	0,8179
Playa de Corinto	Abierta	Arenas gruesas	0,26
Playa de Almardá	Abierta	Arenas medias	0,28
Playa de Canet de Berenguer	Apoyada	Arenas finas	0,2
Playa del Delta de Palancia	Frente deltaico	Arenas medias	0,28
Playa del Puerto de Sagunto	Apoyada	Arenas finas	0,19

Tabla 4. Sedimentología de las playas del tramo objeto de estudio (Fuente: Plan de Ecocartografías del litoral español (2006))

A modo de resumen comparativo, se muestra en la siguiente tabla los diámetros medios de material granular presente en las playas analizadas.

Diámetro medio de material granular (mm)	
D₅₀ mínimo	0,19
D₅₀ máximo	3,66
D₅₀ promedio	0,94

Tabla 5. Comparación de las características de material granular (Fuente: Plan de Ecocartografías del litoral español (2006))

No se ha escogido los valores de 0 para el diámetro medio mínimo puesto que hace referencia a playas formadas por bolos y que carecen de arenas. Por otro lado se observa la gran diferencia de diámetros que existe entre el mínimo y el máximo; esto se debe a que muchas de las playas analizadas no están formadas únicamente por arenas, sino que combinan gravas o bolos.

Para un mejor análisis de la sedimentología de las playas objeto de estudio, se han discretizado aquellas que solo disponen de arenas y cuyos resultados se exponen en la siguiente tabla.

Diámetro medio de arenas (mm)	
D₅₀ mínimo	0,19
D₅₀ máximo	0,28
D₅₀ promedio	0,242

Tabla 6. Comparación de las características de material granular en playas formadas por arenas (Fuente: Plan de Ecocartografías del litoral español (2006))

Se observa como los valores son mucho más pequeños en este caso, destacando la diferencia de valor del diámetro máximo.

A modo de conclusión, se observa que para la correcta regeneración de este tramo de costa, el material granular óptimo sería aquel que posea una granulometría igual o superior al natural constitutivo de las playas, es decir, que sea igual o mayor al D₅₀ promedio de las arenas analizadas (0,242 mm).

2.4 Obras y actuaciones en el tramo

A continuación se identifican las obras de defensa existentes en todo el tramo costero desde el Puerto de Burriana hasta el dique norte del puerto de Sagunto.

Entre el puerto de Burriana y el puerto de Sagunto hay un total de 34 obras de defensa costera siendo estas espigones y diques exentos a lo largo de las siguientes playas: playa de Nules, Pedra Roja, El Grau, playa del Masbó, playa de Tamarit, playa La Torre, playa el Estanyol, playa Las Casas y playa El Cerezo; a partir de la playa de Casablanca (Almenara) no se observa ninguna obra de defensa, a excepción de una escollera de protección al norte de la playa de Sagunto que sirve de defensa para la acción erosiva que produce el puerto de Siles al sur del mismo.

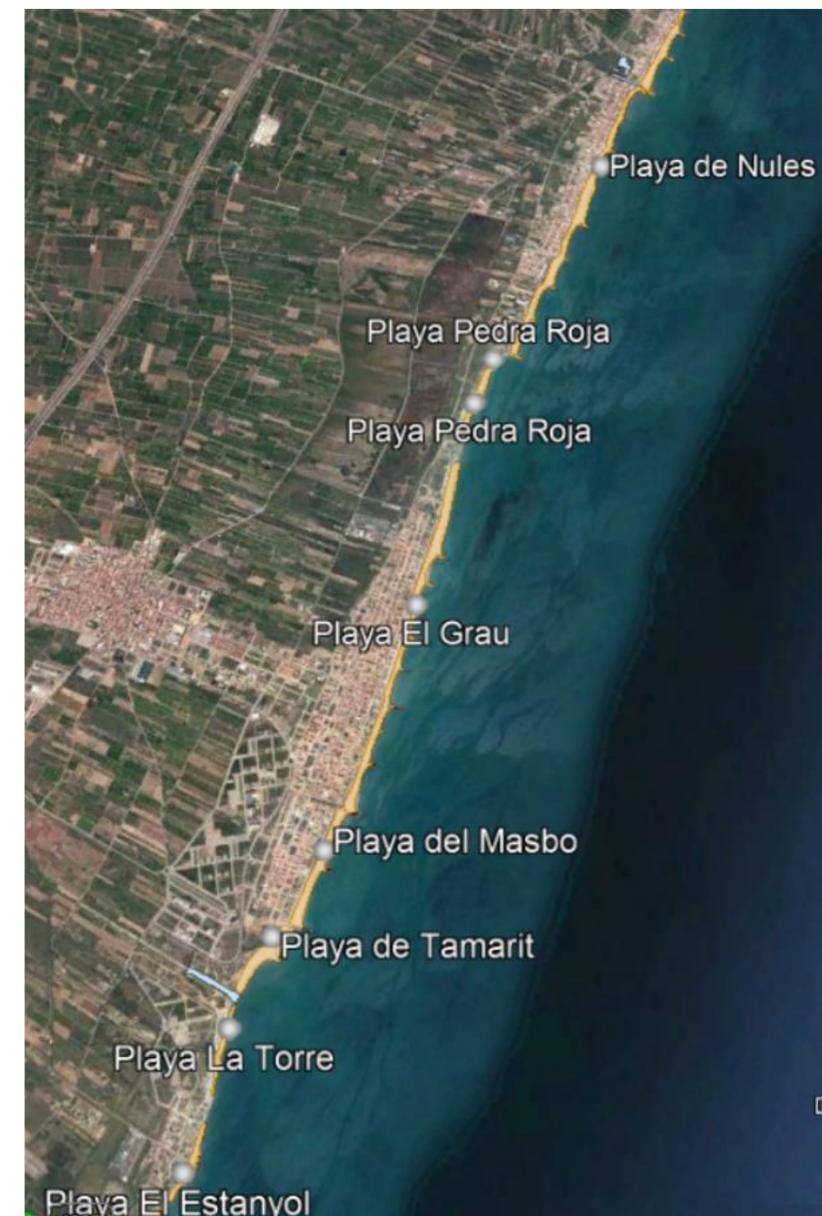


Figura 33. Obras de defensa y protección costera entre el P.Burriana – P.Sagunto (Fuente: Google Earth Pro)

En cuanto a las actuaciones que se han realizado en el tramo objeto de estudio, se ha tomado la información de IH Cantabria (2011) donde se identifican cronológicamente las regeneraciones ejecutadas en este tramo así como las obras de protección costera realizadas.

Dicha información es de gran relevancia a la hora de analizar el avance o retroceso de la costa en relación al transporte litoral.

En las siguientes tablas se muestra un resumen de las actuaciones llevadas a cabo en la zona de estudio y que conllevan un aporte de sedimentos a la misma.

Municipio	Playa	AÑO	m3 (o tm)	Tipo de material
Burriana	sur puerto	1 994	65 243	arena puerto
Burriana	playa sur	2 007	-	-
Burriana	entorno gola de la Ratlla	2 010	4 900	arena puerto
Nules	Nules norte	2 002	32 347	material granular
Nules	Nules sur	1 986	45 390	arena
Nules	Nules sur	1 995	243 671	material granular
Nules	Nules sur	1 999	246 860	material granular
Nules	Nules sur	2008-2009	9200 tm	material granular
Nules	Pedra Rotja	1 997	30600 tm	material granular
Moncofar	El Grau	1 990	118835 tm	material granular
Moncofar	El Grau	1 995	55023 tm	material granular
Moncofar	El Grau	1 998	159181 tm	material granular
Moncofar	El Grau	1 999	4 000	material granular
Moncofar	El Grau	2 000	1 000	material granular
Moncofar	El Grau	2001 / 12	40 646	material granular
Moncofar	El Grau	2 005	18 728	arena puerto
Moncofar	El Grau	2007 / 09	2 500	material granular
Moncofar	El Grau	2 008	8000 tm	material granular
Moncofar	El Estanyol	2 001	27 577	material granular
Chilches	Las Casas-El Cerezo	1 986	175 695	material granular
Chilches	El Cerezo	1 987	38 274	material granular
Chilches	El Cerezo	1 989	246 991	material de río
Chilches	El Cerezo	1 989	27 857	material de río
Chilches	El Cerezo	1 996	100069 tm	material granular
Chilches	El Cerezo	1 996	53568 tm	arena
Chilches	-	2 000	-	arena
Chilches	El Cerezo	2 010	6 000	arena puerto
Chilches	El Cerezo Sur	1 998	29389 tm	gravas

Tabla 7. Aportaciones de material sedimentario en la provincia de Castellón (Fuente: IH Cantabria, 2011)

Cabe destacar que, de las anteriores actuaciones, la realizada en el Grau de Moncofar en los años 2005/2007 y la realizada en el Cerezo de Chilches en 1987 no son aportaciones sino trasvases de material granular (IH Cantabria, 2011).

Municipio	Playa	AÑO	m3 (o tm)	Tipo de material
Almenara	Casablanca	1 998	37 392	material granular
Almenara	Casablanca	2 000	-	-
Almenara	Casablanca	2 001	89 219	material granular
Almenara	Casablanca	2 002	824	material granular
Almenara	Casablanca	2 002	89 219	material granular
Almenara	Casablanca	2 006	53 823	material granular
Almenara	Casablanca	2007-2009	49499 tm	material granular
Sagunto	Almardá	1 992	30 000	arena
Sagunto	Almardá	1 994	25 000	arena
Sagunto	Almardá	1 995	100 000	arena
Sagunto	Almardá	1 996	100 000	arena
Sagunto	Almardá	1 997	100 000	arena

Tabla 8. Aportaciones de material sedimentario en la provincia de Valencia (Fuente: IH Cantabria, 2011)

De las aportaciones realizadas en la Playa de Almardá es necesario señalar que se tratan en realidad de trasvases de arena extraída de la Playa de Canet de Berenguer. En las actuaciones de los años 1992 y 1994 la arena utilizada es 100% procedente de la mencionada playa, mientras que en las realizadas en los años 1995, 1996 y 1997 se mezcla al 50% con arena de cantera.

En cuanto al histórico de obras, aunque ya han sido identificadas las existentes en la actualidad; a continuación se presenta una tabla resumen con la localización y características de las obras, además de una estimación de la fecha de su construcción.

Localización	Año construcción	Tipo de obra	Nº	Long. media	Prof. media
Puerto de Burriana	1933	Diques			
El Serradal	1965-1973 2 006	Escollera Dique exento	1 1	2700 m 80 m	-2 m
Nules	1965-1973 1973-1977	Escollera Espigones	1 2	980 m 25 m	-1.5 m
Playa de Nules	1973-1977	Espigones	3	50 m	-2m
Canal de la Marjalería de Nules	1 998 2 002	Espigones encauzamiento Recrecimiento	2 1	40 m 30 m	-1 m -2 m
Playa de Nules	1995	Espigón sumergido	1	60 m	-2 m
	1965-1973	Espigón	1	30 m	-1 m
	1973-1977	Espigones	4	40 m	-1 m
	1977-1981	Espigones	2	40 m	-1 m
	1995-2001	Recrecimiento espigones	7	30 m	-2 m
Playa de Pedra Rotja	1981-1986	Escollera	2	140 m	
Playa de Pedra Rotja	1992-1995	Escollera	1	140 m	
Playa El Grau	1990	Espigones	3	80 m	-2 m
	1990-1994	Espigones	5	40 m	-2 m
	2001-2005	Recrecimiento espigones	2	40 m	-2.5 m
Gola de Moncofar	1994-2002	Espigones encauzamiento	1	20 m	-1 m
	2001-2005	Recrecimiento	2	60 m	-2 m
Playa del Masbó	1 995	Espigón	1	60 m	-2 m
	1973-1977	Espigón	1	120 m	-2.5 m
Playa de Tamarit	1973-1977	Espigón	1	60 m	-1 m
Playa de La Torre	1989-2001 2 001	Escollera Dique exento	1 1	260 m 190 m	-2 m
Playa del Estanyol	2001-2005	Espigón	1	25 m	-1 m
Gola del Estanyol	1973-1977	Espigón	1	25 m	-2 m
Playa Las Casas	1986-1989	Dique exento	1	140 m	-2 m
	1995-2001	Escollera	1	110 m	
Playa El Cerezo	1989	Dique exento	1	150 m	-2 m
	1996	Espigones	2	70 m	-2 m
	2001	Espigón	1	55 m	-2 m
Gola de la Llosa	1995-2001	Espigones encauzamiento	2	70 m	-2 m
Playa de Casablanca	1998	Escollera	1	500 m	
Gola de Queralt	1981-89	Espigón	1	25 m	-1 m
Playa de Corinto	1977-1981	Escollera	1	80 m	
Gola del Estany de Quartell	1965-1972	Espigón	1	25 m	-0.5 m

Puerto de Siles	1981-1986	Diques			
Playa del Delta del Palancia	1981-1986	Escollera	1	220 m	
Desembocadura sur del Palancia	1995-2005	Espigón	1	30 m	-0.5 m
Playa de Sagunto	1995-2003	Espigón	1	150 m	-2 m
Puerto de Sagunto	1908-1947	Diques			

Tabla 9. Obras existentes entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto (Fuente: IH Cantabria, 2011)

Dado el año de publicación de este documento (IH Cantabria, 2011), se ha investigado si se han ejecutado alguna obra costera más hasta la actualidad, siendo poco fructífera la recaudación de esta información debido a la poca disponibilidad de recursos informativos al respecto.

Por lo tanto se asumirá en el presente trabajo que estas son las obras y actuaciones realizadas en el tramo objeto de estudio en los últimos 20 años.

2.5 Dinámica litoral

La costa está sometida al impacto constante del oleaje, este flujo de energía genera campos de corrientes que predominantemente son longitudinales a la costa, es decir, paralelas. Dichas corrientes son susceptibles de poner en movimiento el sedimento existente en la costa una vez alcanza el umbral de movimiento. Sin embargo, a esta acción de las corrientes hay que sumarle la puesta en suspensión del material como consecuencia de la rotura del oleaje. Además en la zona litoral, interactúan también el viento junto con las corrientes, mareas, sedimentos y otros fenómenos (SPM, 1984), pudiendo dar lugar a la modificación de la costa con el paso del tiempo.

La causa principal del transporte de sedimentos es el oleaje, ya que la dirección del mismo, las diferentes alturas de ola y sus respectivos periodos influyen en el movimiento de material. Por otro lado, también será importante el ángulo de incidencia del oleaje con respecto a la costa, puesto que permitirá determinar la dirección que seguirá el transporte longitudinal.

A este aporte de sedimentos también intervienen los cauces, debido a la importante remoción del suelo que registran en sus cuencas y a la gran cantidad de sedimentos que transportan, constituyen uno de los factores más importantes en la regulación del litoral (Ibarra et al., 2016).

2.5.1 Conceptos previos al transporte de sedimentos

De forma previa al estudio del transporte sedimentario, es necesario definir el concepto de unidad morfodinámica. Para ello, se ha de saber que el movimiento de sedimentos puede ser discontinuo a lo largo de la costa y que, además del clima marítimo, también influyen los accidentes geográficos o la construcción de barreras artificiales, obras marítimas que pueden obstaculizar el transporte. Existirán, por tanto, zonas donde se pierda material y zonas donde este quede retenido.

Para facilitar la identificación de las unidades morfodinámicas con las que plantear una estrategia de análisis en la costa entre los puertos de Burriana y Sagunto, se divide el tramo de costa en subtramos, de tal forma que cada uno de ellos tenga una homogeneidad de usos y estructura de la costa y una dinámica litoral dependiente.

La división en subtramos ha sido la siguiente:

Unidad Fisiográfica Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto (CEDEX, 2015)

- Puerto de Burriana - playa de Casablanca (Almenara)
- Playa de Casablanca (Almenara) - puerto de Siles
- Puerto de Siles - puerto de Sagunto



Figura 34. Zonificación de la costa entre los Puertos de Burriana y Sagunto (Fuente: CEDEX, 2015)

Esta elección de subtramos se debe a que la playa de Casablanca tiene la particularidad que es un elemento de transición entre dos alineaciones de la costa, variando repentinamente la dinámica litoral. El puerto de Canet de Berenguer, Puerto Siles, es una barrera parcial al paso de sedimentos encontrándose en la actualidad prácticamente colmatado el apoyo que hace el dique del puerto que sostiene un triángulo acumulativo importante (CEDEX, 2015).

Una vez restituído el flujo sedimentario natural, la unidad morfodinámica será única: del Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto, ya que los sedimentos fluirán sin distorsiones artificiales. Con lo cual, a pesar de dividir en tres subunidades para el estudio del tramo, el resultado final buscado es la unificación dinámica del mismo.

Cabe conocer los dos tipos de transporte de sedimentos existentes en el medio marino: el movimiento de la arena a lo largo de la costa es debido a la acción de las olas, de las corrientes y de la disponibilidad de sedimentos (Ibarra et al. 2017). El **transporte litoral longitudinal** depende de la dirección y la intensidad del oleaje. Para que una playa sea estable la cantidad de material entrante debe ser igual al que sale de ella. Si no existe equilibrio, la diferencia se acumula en la playa, o bien se erosiona. Además

existe un desplazamiento perpendicular a la orilla, el **transporte litoral transversal**, el cual adquiere importancia en aguas más profundas (SPM, 1984). Los sedimentos pueden emigrar desde el límite superior de la playa seca hasta el límite inferior de la playa sumergida, conociéndose a este con el nombre de profundidad de cierre (Hallermeier, 1981), afectando a zonas más profundas y elevadas del perfil cuanto mayor sea la intensidad del oleaje incidente. Kraus et al. (1998) define la profundidad de cierre como la mayor profundidad en la que no hay un cambio significativo en la elevación del fondo ni un transporte neto de sedimentos significativo entre la costa y el mar.

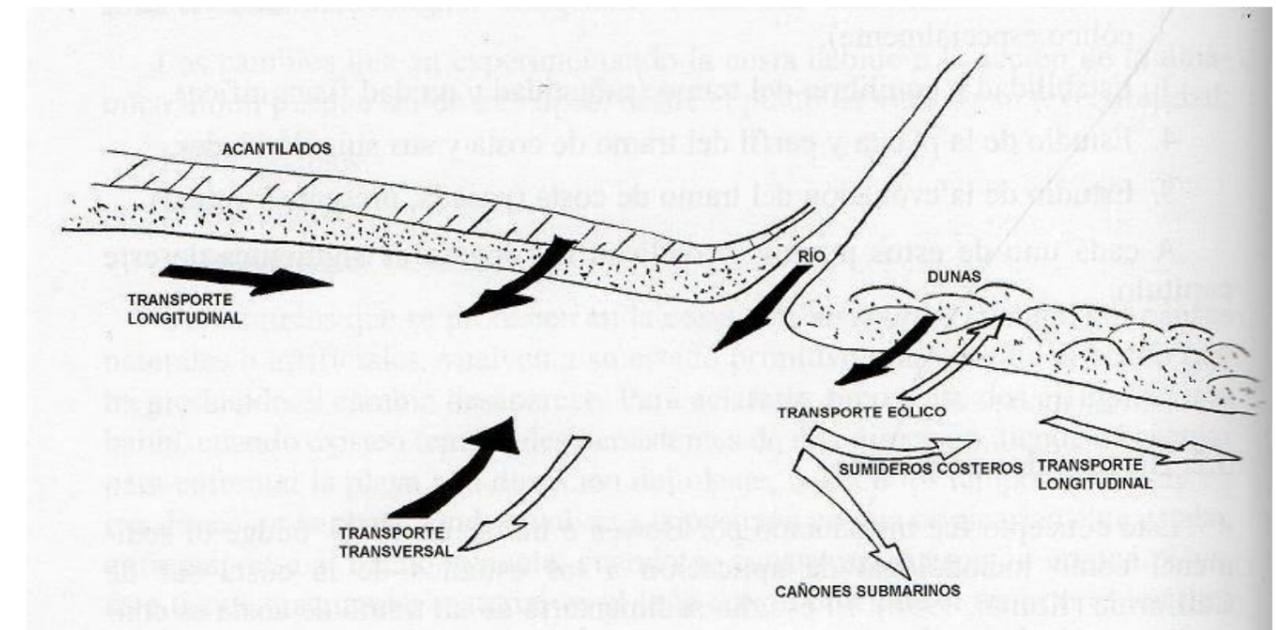


Figura 35. Balance sedimentario de una playa (Fuente: De La Peña 2007)

Para el cálculo de todos los parámetros necesarios para analizar la dinámica litoral de la zona a analizar, se ha empleado los datos de oleaje de régimen medio y extremal ofrecidos por los puntos SIMAR representativos, escogidos a lo largo del tramo en cuestión y de la Boya de Valencia.

La información detallada de los nodos SIMAR escogidos coincide con la empleada para el análisis del clima marítimo de la zona, y son los siguientes puntos y su ubicación:



SIMAR 2083117	
Código B.D.	2083117
Longitud	-0.083 E
Latitud	39.750 N
Profundidad indefinida	

SIMAR 2083118	
Código B.D.	2083118
Longitud	-0.083 E
Latitud	39.833 N
Profundidad indefinida	

SIMAR 2082116	
Código B.D.	2082116
Longitud	-0.167 E
Latitud	39.667 N
Profundidad indefinida	

2.5.2 Profundidad de cierre

Como ya se ha comentado anteriormente la profundidad de cierres es la profundidad máxima en la que no hay un cambio significativo en la elevación del fondo ni un transporte neto de sedimentos significativo entre la costa y el mar; por ello resulta necesario conocer este valor como criterio de evaluación para el diseño de proyectos de regeneración costera.

La realidad es que existen varias formas de calcular la profundidad de cierre (PdC) o hacer una estimación de la misma; pero en este trabajo se va a hacer referencia a dos de las formulaciones más reconocidas por los expertos y las cuales son empleadas en los análisis sobre la profundidad de cierre recientes que se mencionarán a continuación.

- **Hallermeier:** $d = 2.28H_{12} - 68.90(H_{12}^2/gT^2)$
- **Birkemeier:** $d = 1.75H_{12} - 57.90(H_{12}^2/gT^2)$

Siendo:

d : Profundidad de cierre (m)

H_{12} : Altura de ola significante excedida doce horas en régimen medio (m)

g : Aceleración gravitacional (m/s^2)

T : Periodo del oleaje (s)

Debido a la extensión del tramo costero comprendido entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto, para la estimación de la profundidad de cierre de las playas que conforman el mismo se ha recurrido a un método desarrollado en los últimos años, el cual permite conocer esta profundidad con mayor fiabilidad en la costa valenciana. En primer lugar el método Aragonés et al. (2019) analizó los diferentes perfiles de playa de la costa valenciana con el fin de dar un valor preciso de este parámetro en la zona. De sus resultados se determina que cuanto mayor es el periodo de tiempo estudiado, la profundidad de cierre aumenta.

El otro método de análisis realizado en las playas de la Comunidad Valenciana estudia periodos de hasta 20 años, Aragonés et al. (2018) comparó los resultados obtenidos mediante el análisis de datos sedimentológicos y los obtenidos mediante las fórmulas descritas previamente. Los valores se muestran en la siguiente tabla.

	Sedimentología	Hallermeier	Birkemeier
Profundidad de cierre (m)	4 - 6	7.7 - 8.7	5.8 - 6.6

Tabla 10. Valores de profundidad de cierre en playas valencianas para $T=20$ años (Fuente: Aragonés et al. (2018))

Cabe destacar que este estudio está realizado para un periodo de retorno de 20 años, pero si extrapolamos su información al periodo de retorno característico de actuaciones a largo plazo y el cual se ha escogido para este trabajo ($T=50$ años), se tiene que, la diferencia entre considerar periodos inferiores a un año y veinte años es de aproximadamente 2 metros; con lo cual para periodo de retorno 50 años se puede interpretar que la profundidad de cierre será 5 metros mayor a la establecida en el estudio Aragonés (2018), quedando entre 9 y 11 metros para el año 2070.

De manera más concisa, para el cálculo de la profundidad de cierre de las playas que conforman el área objeto de estudio, basándose en la ecuación de Birkemeier que se ajusta bastante a la realidad, se ha acudido a los parámetros necesarios para el cálculo (H_{12} , T) obtenidos de los datos ofrecidos por el régimen medio de los puntos SIMAR descritos previamente (2.2 *Clima marítimo*).

A continuación se muestra una tabla resumen de los puntos SIMAR escogidos como representativos del tramo costero, con los parámetros característicos correspondientes y los resultados obtenidos de la profundidad de cierre.

	H_{12} (m)	T (s)	Profundidad de cierre d (m)
SIMAR 2083118 (Norte del tramo)	3.8	11	5.88
SIMAR 2083117 (Centro del tramo)	4	10	5.77
SIMAR 2082116 (Sur del tramo)	3.8	10.3	5.8

Tabla 11. Profundidad de cierre en los puntos SIMAR del área de estudio (Fuente: Puertos del Estado y elaboración propia)

Estos valores corresponden a temporales habituales de corto plazo y se establecen como recurso para obtener el aporte mínimo imprescindible para la regeneración de playas. Sin embargo, para la actuación a largo plazo que se propone en este trabajo, con un periodo de retorno de 50 años, se vuelve a emplear la ecuación de Birkemeier utilizando los datos obtenidos del régimen extremal de la Boya de Valencia expresados en el apartado anterior.

	Hs (m)	T (s)	Profundidad de cierre d (m)
Boya de Valencia	7.01	11.9	10.2

Tabla 12. Profundidad de cierre para T=50 años (Fuente: Puertos del Estado)

Comparando este valor con la extrapolación realizada anteriormente (9-11 metros), se considera que una profundidad de cierre de **10.2 metros** es acertada y representativa para toda el área de estudio.

2.5.3 Transporte sólido litoral

El cálculo del transporte sólido longitudinal en la costa, puede ser obtenido a partir de diversos medios (IH Cantabria, 2011): midiendo el transporte de sedimento en el campo; evidencias morfológicas de la costa; evolución de la línea de costa; y cálculo teórico. Respecto a la medición in situ del transporte sólido litoral, cabe señalar que se trata de un tema bastante complejo debido a la variabilidad espacial y temporal del mismo; el transporte longitudinal de sedimentos es fluctuante a lo largo del tiempo y su sentido, también variable, es función de la dirección del oleaje.

Esta variación de transporte puede ser medida y cuantificada por el transporte bruto y el transporte neto longitudinal que se produce en la zona. El transporte bruto expresa la cantidad total de material movilizado a lo largo de la costa independientemente del sentido. Por otro lado el transporte neto corresponde a la diferencia de volumen de material transportado en un sentido y en otro, es decir, al balance del mismo, indicando su dirección final en el periodo estudiado.

El criterio de signos adoptado en el presente trabajo asocia un transporte neto positivo al movimiento que se produce de norte a sur y negativo cuando es de sur a norte.

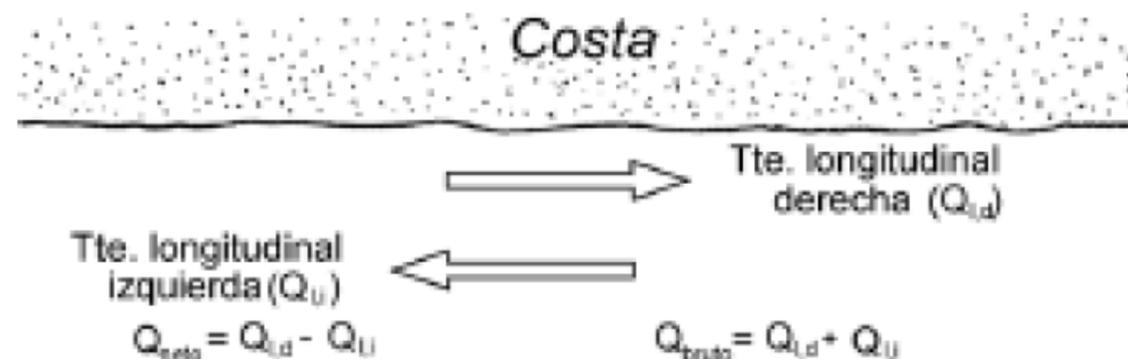


Figura 36. Tipos de transporte longitudinal de sedimentos en la costa (Fuente: De La Peña, 2007)

Según lo expuesto al comienzo del punto, para el presente trabajo el transporte de sedimento se obtendrá mediante el análisis de la evolución de la línea de costa y la realización del cálculo teórico escogiendo la formulación correspondiente.

A continuación se procede a exponer la formulación para el cálculo teórico del transporte sólido litoral, y en el siguiente apartado se evaluará la evolución de la línea de costa para completar el proceso de análisis de la dinámica litoral de la zona de estudio.

2.5.3.1 Formulación para el cálculo teórico del transporte sólido litoral

Uno de los métodos más utilizados para el cálculo teórico del transporte longitudinal es el «Método del flujo de energía» del CERC (Coastal Engineering Research Center), desarrollado en el Shore Protection Manual (1984). Las principales hipótesis del método son la consideración de una batimetría recta y paralela y una pendiente de playa uniforme, así como el estudio de un tramo de costa suficientemente largo. Parte del supuesto de que la tasa de transporte de sedimentos es proporcional a la componente paralela a la costa del flujo de energía de la ola en la zona de rompientes.

El flujo de energía por unidad de cresta de la ola se define como:

$$P_l = (E \cdot c_g)_b = \frac{\rho g H_b^2}{8} \cdot c_{g_b}$$

Siendo:

$(E \cdot c_g)_b$: Flujo de la energía del oleaje evaluado en la zona de rotura

E_b : Energía evaluada en la línea de rotura

c_{g_b} : Celeridad de grupo en la línea de rotura

H_b : Altura de ola en rotura

Al formar el oleaje un ángulo, α , con la línea de costa, la componente longitudinal del flujo de energía por unidad longitudinal de playa (P_l) es:

$$P_l = P \cdot \cos \alpha_b \cdot \sin \alpha_b = \frac{\rho g H_b^2}{8} \cdot c_{g_b} \cdot \cos \alpha_b \cdot \sin \alpha_b$$

En Teoría Lineal puede asumirse que para pequeñas profundidades $C_g \approx C$. Además, puesto que $\cos \alpha \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot \sin 2\alpha$, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$P_l = \frac{\rho g H_b^2}{8} \cdot c_b \cdot \sin 2\alpha_b$$

Donde:

α_b : Ángulo de rotura del oleaje respecto a la línea de costa

En general, la caracterización del oleaje emplea alturas de ola significativa. Para realizar una transformación de la fórmula que permita utilizar los datos disponibles en aguas profundas, se tienen en cuenta las siguientes suposiciones:

1. La velocidad de grupo equivale a la velocidad de la ola al romperse y puede aproximarse como (Galvin, 1967):

$$C_g \cong C = \sqrt{2gH_b}$$

2. La altura de ola en rotura (H_b) se relaciona con la altura de ola en aguas profundas (H_0) mediante coeficientes de refracción y asomeramiento evaluados en el punto de rotura:

$$H_b = k_s \cdot k_r \cdot H_0$$

Siendo:

k_s : Coeficiente de asomeramiento. Se considera cte: $k_s^{\frac{1}{2}} = 1.14$

k_r : Coeficiente de refracción. Viene dado por la teoría de pequeñas amplitudes, siendo:

$$k_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_b}}$$

Y se considera que $(\cos \alpha_b)^{\frac{1}{4}} = 1$, entonces la ecuación de la altura de ola en rotura puede reescribirse como:

$$H_b^{1/2} = 1.14 \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot H_0^{1/2}$$

Así pues, la fórmula de la componente longitudinal del flujo de energía en aguas profundas es:

$$P_l = 0.05 \cdot \rho \cdot g^{\frac{3}{2}} \cdot H_{S0}^{\frac{5}{2}} \cdot (\cos \alpha_0)^{\frac{1}{4}} \cdot \sin 2\alpha_0$$

El cálculo del volumen de sedimentos transportado se basa en la tasa potencial de transporte de peso sumergido (I_l) y la tasa potencial de transporte volumétrica (Q_l) siendo esta última la utilizada en el campo de la ingeniería.

La expresión de la tasa de transporte potencial de sedimento sumergido se expone a continuación:

$$I_l = (\rho_s - \rho)g(1 - n)Q_l$$

Donde:

ρ_s : Densidad del sedimento

ρ : Densidad del agua del mar

g : Aceleración gravitacional

n : Porosidad del sedimento

$(1 - n)Q_l$: Volumen sólido de transporte

Se vincula la tasa de transporte sedimentario sumergido (I_l) con el flujo de energía por unidad longitudinal de playa (P_l) a través de la expresión:

$$I_l = K \cdot P_l$$

Siendo K un coeficiente de proporcionalidad adimensional.

Para la determinación del parámetro K, el Shore Protection Manual (1984) supone un oleaje regular en rotura y propone el siguiente coeficiente para la altura de ola media cuadrática ($H_{b,rms}$).

$$K_{SPM,rms} = 0.92$$

Y convirtiéndola a altura de ola significativa, se tiene:

$$K_{SPM,s} = 0.92 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^{\frac{5}{2}} = 0.39$$

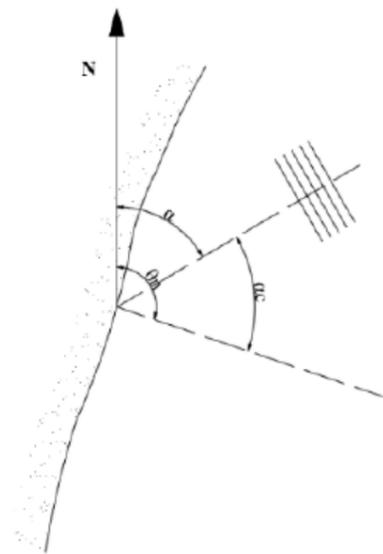
Teniendo en cuenta la relación inicial entre I_l y Q_l , puede determinarse el transporte longitudinal de la siguiente manera:

$$Q_l = \frac{K}{(\rho_s - \rho)g(1 - n)} \cdot P_l = \frac{K \cdot 0.05 \cdot \rho \cdot g^{\frac{3}{2}} \cdot H_{S0}^{\frac{5}{2}} \cdot (\cos \alpha_0)^{\frac{1}{4}} \cdot \sin 2\alpha_0}{(\rho_s - \rho)g(1 - n)}$$

Los valores supuestos son los siguientes:

K	g (m/s ²)	ρ (kg/m ³)	ρ (kg/m ³)	n
0.39	9.81	1025	2650	0.4

Cabe mencionar que el ángulo α_0 hace referencia al que forma el frente de ola con la normal a la costa. Generalmente, en los datos de oleaje que se proporcionan, el ángulo considerado se refiere a una dirección fija que suele ser el norte. Por esta razón, se debe transformar el ángulo según la siguiente figura:



θ_n : Ángulo que forman la normal a la costa y el norte

α : Ángulo que forma la ortogonal del frente de ola con el norte

α_c : Ángulo de cálculo del transporte longitudinal

Figura 37. Relación de ángulos para el cálculo de transporte longitudinal.

El transporte longitudinal de sedimentos se realiza calculando Q_l para cada altura de ola H_s y para cada dirección representativa del tramo de estudio, teniendo en cuenta su probabilidad de presentación.

Entonces, la ecuación del transporte longitudinal de sedimentos queda:

$$Q_l = \sum \left(2.027 \cdot 10^6 \cdot H_0^{\frac{5}{2}} \cdot (\cos \alpha_0)^{\frac{1}{4}} \cdot \sin 2\alpha_0 \cdot K_p \cdot K_g \right)$$

Siendo:

H_0 : Altura de ola significativa en profundidades indefinidas

α_0 : Dirección del oleaje en profundidades indefinidas respecto a la normal de la costa

K_p : Probabilidad, en tanto por uno, de presentación de una altura de ola en una determinada dirección

K_g : Coeficiente geométrico

Es importante tener en cuenta que la metodología empleada no proporciona un valor exacto del caudal sólido que se está transportando, sino que proporciona la capacidad de transporte del oleaje de la zona.

2.5.3.2 Transporte sólido litoral en la zona de actuación

Aplicando la formulación expuesta anteriormente se obtiene para cada punto SIMAR escogido en el tramo de costa la capacidad de transporte en las distintas direcciones.

Para poder utilizar esta fórmula del SPM se acude a las Recomendaciones para Obras Marítimas del Ministerio de Fomento del Gobierno de España (ROM 0.3-91), concretamente a los datos proporcionados por el Oleaje del Clima Marítimo español. El presente proyecto corresponde a la cuadrícula del Área VII expuesta a continuación, de donde se consultan los datos necesarios para conocer la probabilidad media direccional, correspondientes al cuadro B.

Al mismo tiempo también se emplearán los datos visuales que corresponden al cuadro B, de donde se extraerán los valores de K_0 para cada uno de los sectores direccionales que se definirán a continuación.

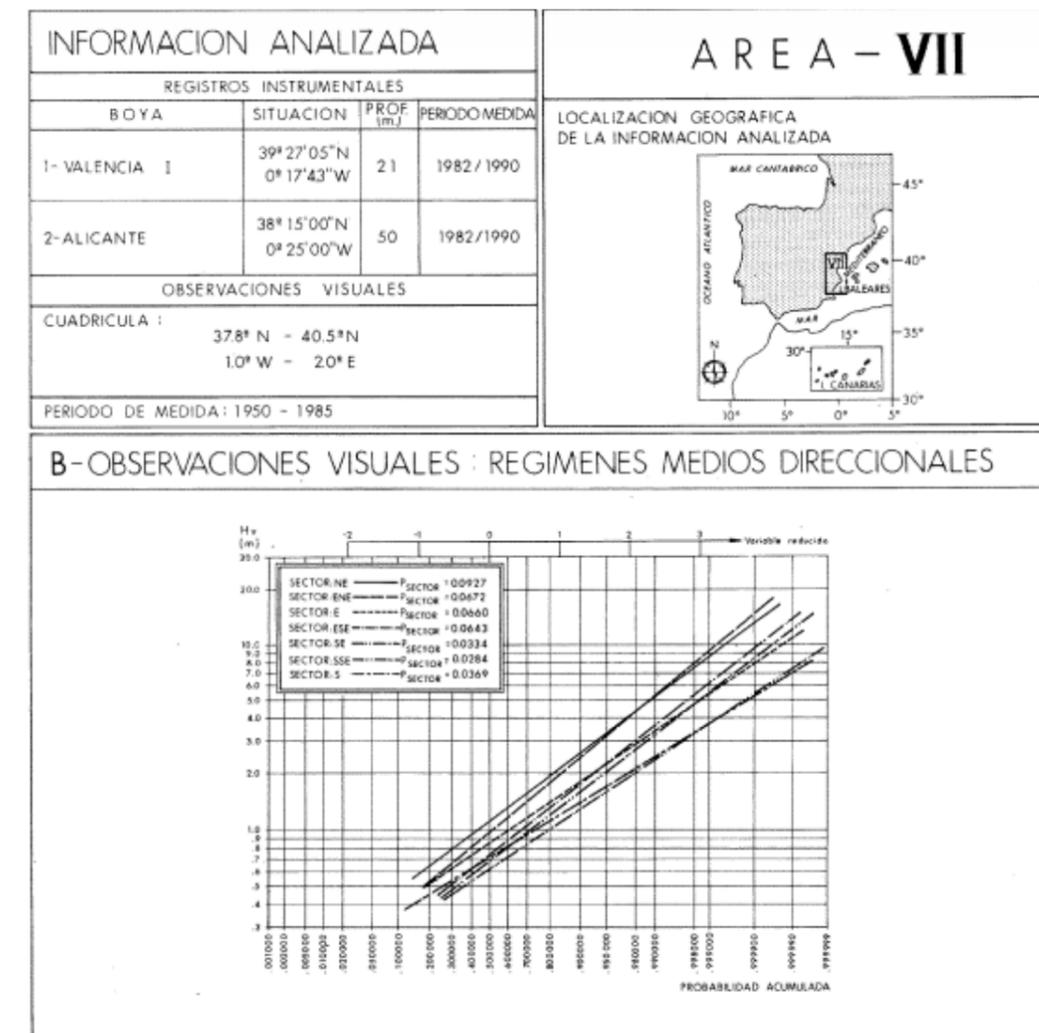


Figura 38. Cuadro B Área VII (Fuente: ROM 0.3-91)

En la siguiente figura se refleja las direcciones significativas con mayor incidencia en el área de estudio, que coinciden con las ya definidas en el capítulo de *Clima marítimo* expuesto anteriormente y extraído de la página oficial de Puertos del Estado.

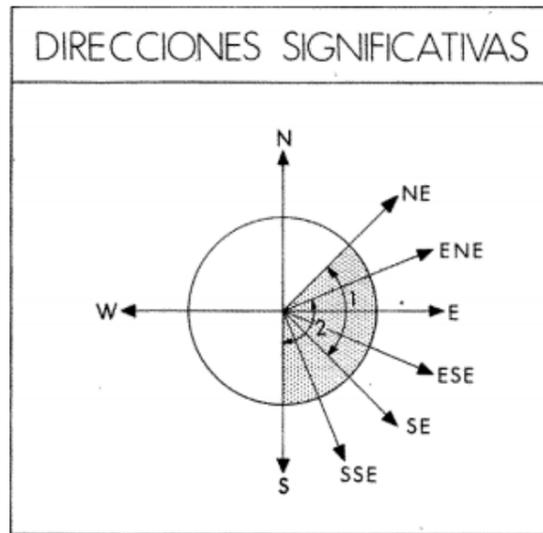


Figura 39. Direcciones significativas Área VII (Fuente: ROM 0.3-91)

Siguiendo la dinámica de dividir el tramo de costa entre el puerto de Burriana y el puerto de Sagunto en tres subtramos, para analizar la dinámica litoral también se ha dividido la costa en tres direcciones distintas que además corresponderán con los puntos SIMAR escogidos como representativos del tramo costero.

A continuación se exponen, para cada uno de los tres subtramos en los que se ha dividido la costa, los sectores considerados que pueden generar mayor oleaje y sus respectivos ángulos de incidencia respecto a la perpendicular a la línea de costa en cada caso.

DIRECCIÓN	ÁNGULO CON LNCA (α) SEX ($^{\circ}$)	ÁNGULO CON LNCA (α) rad
NE	75,5	1,317724
ENE	53	0,925025
E	30,5	0,532325
ESE	8	0,139626
SE	15	0,261799
SSE	37,5	0,654498
S	60	1,047198

Tabla 13. Direcciones incidentes respecto a LNCA del punto SIMAR 2083118 (Norte) (Fuente: Elaboración propia)

DIRECCIÓN	ÁNGULO CON LNCA (α) SEX ($^{\circ}$)	ÁNGULO CON LNCA (α) rad
NE	68	1,186824
ENE	45,5	0,794125
E	23	0,401426
ESE	0,5	0,008727
SE	22	0,383972
SSE	44,5	0,776672
S	67	1,169371

Tabla 14. Direcciones incidentes respecto a LNCA del punto SIMAR 2083117 (Centro) (Fuente: Elaboración propia)

DIRECCIÓN	ÁNGULO CON LNCA (α) SEX ($^{\circ}$)	ÁNGULO CON LNCA (α) rad
NE	53	0,925025
ENE	30,5	0,532325
E	8	0,139626
ESE	14	0,244346
SE	36,5	0,637045
SSE	59	1,029744
S	81,5	1,422443

Tabla 15. Direcciones incidentes respecto a LNCA del punto SIMAR 2082116 (Sur) (Fuente: Elaboración propia)

Se ha obtenido también el factor de probabilidad de presentación una determinada dirección (k_o) directamente del cuadro B del Área VII, donde viene representado por el Psector del atlas del clima marítimo de la ROM 0.3-91 para cada una de las direcciones separadas entre ellas 22,5 $^{\circ}$.

DIRECCIÓN	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
k_o	0,0927	0,0672	0,066	0,0643	0,0334	0,0284	0,0369

Tabla 16. Factor de probabilidad de presentación para cada dirección (k_o) (Fuente ROM 0.3-91)

Seguidamente se calcula el factor de forma (K_g) para determinar la relación que existe entre el sector real en el que se produce el transporte en un sentido y el sector teórico de partida, siendo la expresión que lo define la siguiente: $K_g = \frac{\theta_o}{22,5^{\circ}}$; entonces para cada subtramo de la costa objeto de estudio el factor de forma variará, y queda representado en las siguientes tablas:

DIRECCIÓN	NE	ENE	E	ESE (N-S)	ESE (S-N)	SE	SSE	S
θ_o	22,5	22,5	22,5	3,25	19,25	22,5	22,5	22,5
K_g	1	1	1	0,144	0,856	1	1	1

Tabla 17. Factor de forma (K_g) punto SIMAR 2083118

La dirección ESE se ha dividido en dos tramos ya que es el sector en el que se encuentra la Línea Normal a la Línea de Costa, de tal manera que en la dirección N-S se inclinará 3,25 $^{\circ}$ y en la S-N se inclinará 19,25 $^{\circ}$.

DIRECCIÓN	NE	ENE	E (N-S)	E (S-N)	ESE	SE	SSE	S
θ_o	22,5	22,5	22	11,75	22,5	22,5	22,5	22,5
K_g	1	1	0,978	0,522	1	1	1	1

Tabla 18. Factor de forma (K_g) punto SIMAR 2083117

DIRECCIÓN	NE	ENE	E (N-S)	E (S-N)	ESE	SE	SSE	S
θ_o	22,5	22,5	3,25	19,25	22,5	22,5	22,5	22,5
K_g	1	1	0,144	0,856	1	1	1	1

Tabla 19. Factor de forma (K_g) punto SIMAR 2082116

Para el tramo más al sur de la costa, el sector que se ha dividido en dos partes es el Este, donde se encuentra la LNLC, de tal manera que en la dirección N-S se inclinará 3,25 $^{\circ}$ y en la S-N se inclinará 19,25 $^{\circ}$.

A continuación, se calcula el coeficiente de probabilidad de presentación de altura de ola (f) para las direcciones del oleaje más incidentes y que provocan transporte sólido litoral en la zona de actuación y para las alturas de ola significativa a las que está sometida la misma.

Para poder extraer los datos sobre las direcciones de ola y alturas significativas medidas por los puntos SIMAR escogidos como representativos de la costa se acude a la información ofrecida por Puertos del Estado; se empezará adjuntando la tabla de altura de ola significativa y dirección de procedencia para cada punto SIMAR.

Tramo norte: SIMAR 2083118

DIRECCIÓN	ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE (Hs)-DIRECCIÓN DE PROCEDENCIA (%)										TOTAL
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
NE	0,880	0,297	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	1,20
ENE	8,289	6,494	3,064	0,606	0,103	0,011	0,046	0,046	0,023	0,057	18,74
E	8,471	6,928	1,852	0,583	0,446	0,046	0,057	0	0	0	18,71
ESE	12,221	4,493	0,149	0,103	0,000	0	0	0	0	0	16,97
SE	12,038	5,019	0,274	0,000	0	0	0	0	0	0	17,33
SSE	7,191	4,219	0,286	0,057	0	0	0	0	0	0	11,75
S	3,338	1,075	0,194	0,011	0	0	0	0	0	0	4,62
TOTAL	52,428	28,525	5,842	1,360	0,549	0,057	0,103	0,149	0,137	0,171	89,32

Tabla 20. Altura de ola significativa (Hs)-Dirección de procedencia (%) SIMAR 2083118 (Fuente: Puertos del Estado)

Tramo central: SIMAR 2083117

DIRECCIÓN	ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE (Hs)-DIRECCIÓN DE PROCEDENCIA (%)										TOTAL
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
NE	1,623	1,246	0,56	0,034	0	0,011	0,011	0,011	0	0	3,50
ENE	8,586	9,398	4,482	2,092	0,537	0,217	0,023	0,046	0,16	0,057	25,60
E	8,094	6,082	1,223	0,412	0,194	0,057	0,034	0,057	0,023	0	16,18
ESE	10,769	4,607	0,149	0,046	0	0	0	0	0	0	15,57
SE	9,489	5,545	0,252	0,011	0	0	0	0	0	0	15,30
SSE	4,379	3,944	0,423	0,046	0	0	0	0	0	0	8,79
S	1,875	0,72	0,114	0	0	0	0	0	0	0	2,71
TOTAL	44,815	31,542	7,203	2,641	0,731	0,285	0,068	0,114	0,183	0,057	87,64

Tabla 21. Altura de ola significativa (Hs)-Dirección de procedencia (%) SIMAR 2083117 (Fuente: Puertos del Estado)

Tramo sur: SIMAR 2082116

DIRECCIÓN	ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE (Hs)-DIRECCIÓN DE PROCEDENCIA (%)										TOTAL
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
NE	1,829	1,109	0,469	0,011	0,011	0,011	0,000	0,023	0,000	0	3,46
ENE	8,986	9,775	4,619	2,069	0,446	0,240	0,057	0,034	0,171	0,057	26,45
E	8,700	6,151	1,075	0,457	0,171	0,057	0,046	0	0	0	16,71
ESE	10,449	4,962	0,149	0,011	0,000	0	0	0	0	0	15,57
SE	10,015	7,237	0,297	0,023	0	0	0	0	0	0	17,57
SSE	2,755	2,161	0,389	0,000	0	0	0	0	0	0	5,31
S	1,772	0,343	0,034	0,000	0	0	0	0	0	0	2,15
TOTAL	44,506	31,738	7,032	2,571	0,628	0,308	0,103	0,114	0,171	0,057	87,23

Tabla 22. Altura de ola significativa (Hs)-Dirección de procedencia (%) SIMAR 2082116 (Fuente: Puertos del Estado)

A partir de estas tablas, se calculará la probabilidad en tanto por uno para que se origine un oleaje de una altura determinada para cada una de las direcciones predominantes en cada uno de los subtramos en los que se ha dividido el tramo costero objeto de estudio.

Tras la obtención de toda la información necesaria, se procede al cálculo del caudal sólido transportado en el tramo de costa desde el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto. Aplicando la fórmula del SPM anteriormente desarrollada se obtienen los siguientes caudales para cada sub tramo definido:

Hs(m)	CAUDAL (m³/año) SIMAR 2083118							
	NE	ENE	E	ESE (N-S)	ESE (S-N)	SE	SSE	S
0,5	8427,	9098	9101	665	8192	4157	5727	7022
1	16090	40321	42104	1383	749	9805	19006	12792
1,5	3434	52425	31016	126	1062	1475	3550	6362
2	0,00	21285	20043	179	0,00	0,00	1453	741
2,5	0,00	6320	26786	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	4358	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,5	0,00	6546	7939	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	9140	20031	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,5	0,00	6135	29762	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	19784	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	27952	171054	191140	2354	10003	15437	29735	26916
DIRECCIÓN	N-S				S-N			
Q total	392500 m³				82091 m³			

Caudal Neto	310.409	m³/año
Caudal Bruto	474.591	m³/año

Tabla 23. Caudal sólido litoral tramo norte SIMAR 2083118 (Fuente: Elaboración propia)

Hs(m)	CAUDAL (m³/año) SIMAR 2083117							
	NE	ENE	E (N-S)	E (S-N)	ESE	SE	SSE	S
0,5	8455	7455	8225	4393	281	5106	4699	5251
1	36719	46157	34962	18673	679	16877	23939	11406
1,5	45476	60661	19373	10347	61	2114	7075	4977
2	5668	58122	13397	7155	38	189	1579	0,00
2,5	0,00	26063	11020	5886	0,00	0,00	0,00	0,00
3	5053	16614	5108	2728	0,00	0,00	0,00	0,00
3,5	7429	2589	4479	2392	0,00	0,00	0,00	0,00
4	10373	7230	10485	5600	0,00	0,00	0,00	0,00
4,5	0,00	9705	5680	3033	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	15650	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	119173	250245	112729	60208	1058	24286	37292	21634
DIRECCIÓN	N-S			S-N				
Q total	482147 m³			144478 m³				

Caudal Neto	337.669	m³/año
Caudal Bruto	626.625	m³/año

Tabla 24. Caudal sólido litoral tramo central SIMAR 2083117 (Fuente: Elaboración propia)

Hs(m)	CAUDAL (m³/año) SIMAR 2082116							
	NE	ENE	E (N-S)	E (S-N)	ESE	SE	SSE	S
0,5	14985	6954	493	2922	7268	6231	3988	1994
1	51340	42790	1973	11685	19525	25472	17696	2183
1,5	59900	55718	950	5628	1616	2881	8778	596
2	2884	51234	829	4911	245	458	0,00	0,00
2,5	5038	19293	542	3210	0,00	0,00	0,00	0,00
3	7947	16377	285	1688	0,00	0,00	0,00	0,00
3,5	0,00	5718	338	2003	0,00	0,00	0,00	0,00
4	34112	4763	585	3465	0,00	0,00	0,00	0,00
4,5	0,00	32155	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	13948	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	176267	248950	5995	35511	28653	35042	30462	4774
DIRECCIÓN	N-S			S-N				
Q total	431211 m³			134442 m³				

Caudal Neto	296.769	m³/año
Caudal Bruto	565.654	m³/año

Tabla 25. Caudal sólido litoral tramo sur SIMAR 2082116 (Fuente: Elaboración propia)

Dado que el error de la Q del SPM es del 50% se concluye que el transporte medio de los tres tramos del tipo neto es de 315.000 m³/año y bruto será 556.000 m³/año.

A modo de conclusión, de las anteriores tablas se extrae que existe un transporte de sedimentos mayor en la zona norte y centro del tramo de costa objeto de estudio y este transporte se produce de norte a sur.

2.6 Evolución de la línea de costa

La evolución de la línea de costa se analiza mediante el uso de ortofotos históricas obtenidas de Visor cartográfico desarrollado por el Instituto Cartográfico Valenciano. Para realizar la comparación se han utilizado las imágenes correspondientes a los años 1956, 2000 y 2020, seleccionando estas fechas por la disponibilidad de datos históricos y actuales fiables.

Al poder disponer de ortofotos del año 1956 se observa como ha evolucionado la costa tras la construcción de diversos espigones, incluso la ejecución del puerto de Siles. A continuación se muestran las comparativas realizadas y se comentará la acreción o retroceso que ha sufrido todo el tramo de costa objeto de estudio.



Figura 40. Líneas de costa de la playa sur de Burriana años 1956, 2000 y 2020 respectivamente (Fuente: Visor GVA, 2021)

Puerto de Burriana – sur puerto de Burriana

Desde el inicio de la construcción del Puerto de Burriana en 1927 hasta el primer levantamiento de precisión en 1956, el sur del Puerto de Burriana sufrió una fuerte erosión (ver Figura 6). Desde 1956 hasta la actualidad (año 2020) se ha producido un retroceso de la línea de costa en su apoyo sobre el contradique del Puerto de Burriana de aproximadamente 125 metros. Debido a esto desde principios de los años 70 se ha puesto freno a dicho retroceso mediante la disposición de una escollera al pie de la carretera (camino de la Serratella) que se prolonga desde el Puerto de Burriana hasta el municipio de Nules.



Figura 41. Evolución de la línea de costa en el sur del P.Burriana (Fuente: elaboración propia)

Grau de Nules

Debido al crecimiento demográfico de la zona, y el retroceso de la línea de orilla se ha provocado la necesidad de proteger edificaciones o paseos y carreteras costeras frente a la erosión de la costa. Por ello en el Grau de Nules se aprecia desde el año 2000 la construcción de una serie de espigones y actuaciones costeras a lo largo de las últimas décadas a modo de protección de la costa y lo que ha variado sensiblemente la linealidad de la misma.

En todos estos espigones se apoya una playa artificial objeto de numerosos rellenos a lo largo de los años.

En la zona Sur de este tramo costero se aprecia un recrecimiento de la costa, debido a la construcción de los espigones que suaviza la erosión producida por el Puerto de Burriana.



Figura 42. Evolución de la línea de costa en Grau de Nules (Fuente: elaboración propia)

Grau de Moncófar

Lo más significativo de este tramo de costa es el retroceso de la línea de costa de unos 120 metros justo al sur del límite con el Grau de Nules y que se va suavizando hacia el sur hasta los 80 metros, donde vuelven a aparecer la batería de espigones en la Playa de Masbó.

En el Grau de Moncófar se reproduce el mismo esquema de ordenación urbanística y gestión costera que ya se mencionó en el Grau de Nules, consistente en la construcción de numerosas obras para la defensa de playas en el frente costero.



Figura 43. Evolución de la línea de costa en el Grau de Moncófar (Fuente: elaboración propia)

Playa de la Torre – Playa de Les Cases

Al sur del río Belcaire, la Playa de la Torre, carece del desarrollo urbano de los municipios costeros colindantes, por ello, en este tramo las actuaciones costeras son mucho menos numerosas. Por ello se puede apreciar como en esa zona la costa ha sufrido un retroceso de unos 100 metros en la zona más significativa, produciéndose el efecto inverso (acreción) justo en el comienzo de la playa de Les Cases de Chilches, donde se reproduce una vez más el modelo de gestión costera ligado a la expansión urbanística del Grau de Nules o el Grau de Moncofar, consistente en la regeneración de playas en el frente costero mediante diversas obras de protección.

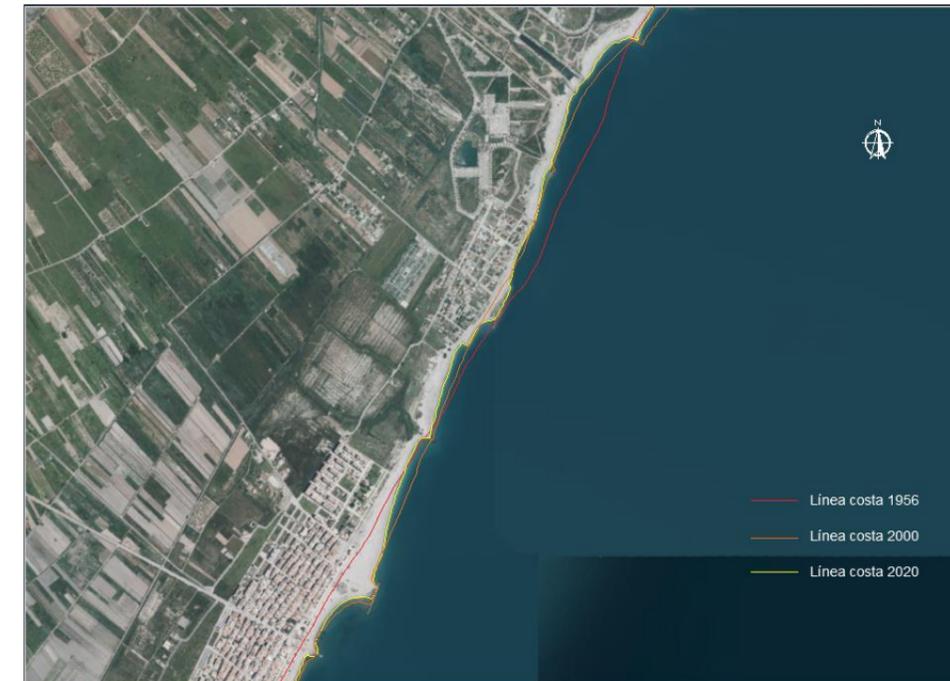


Figura 44. Evolución de la línea de costa entre las playas de La Torre y Les Cases (Fuente: elaboración propia)

Playa del Cerezo – Playa La Llosa

Como se muestra en la figura 42, desde los años 50 se observa un progresivo retroceso de la línea de costa en la Playa de La Llosa, que se frenó durante las décadas siguientes, pero que en los últimos 40 años ha repuntado, siendo del orden de los 100 metros desde 1989 hasta la actualidad (año 2020). En la Playa de La Llosa no se han construido obras de protección costera a excepción de los espigones de encauzamiento de la Gola de La Llosa en el límite sur de la playa, que se han ido recreciendo a lo largo de los últimos.



Figura 45. Evolución de la línea de costa entre las playas del Cerezo y La Llosa (Fuente: elaboración propia)

Playa de Casablanca

En este tramo de costa analizado no se aprecian actuaciones costeras, pero si cabe mencionar un recrecimiento de la costa respecto el año 1956, donde la línea de costa era prácticamente inexistente al sur de la playa de Casablanca (Almenara).

Desde el año 2000 hasta la actualidad (2020) la línea de costa ha sufrido una erosión significativa en la zona norte de la playa de Casablanca debido al recrecimiento de los espigones de encauzamiento de la Gola de la Llosa, pero este hecho ha sido subsanado en los últimos años mediante diversas actuaciones de regeneración que ha experimentado esta zona. De hecho, dicha playa no muestra la tendencia erosiva de los otros tramos de la zona de estudio, por el contrario, en los últimos 50 años la línea de costa ha experimentado un avance hacia el mar de hasta 50 metros.

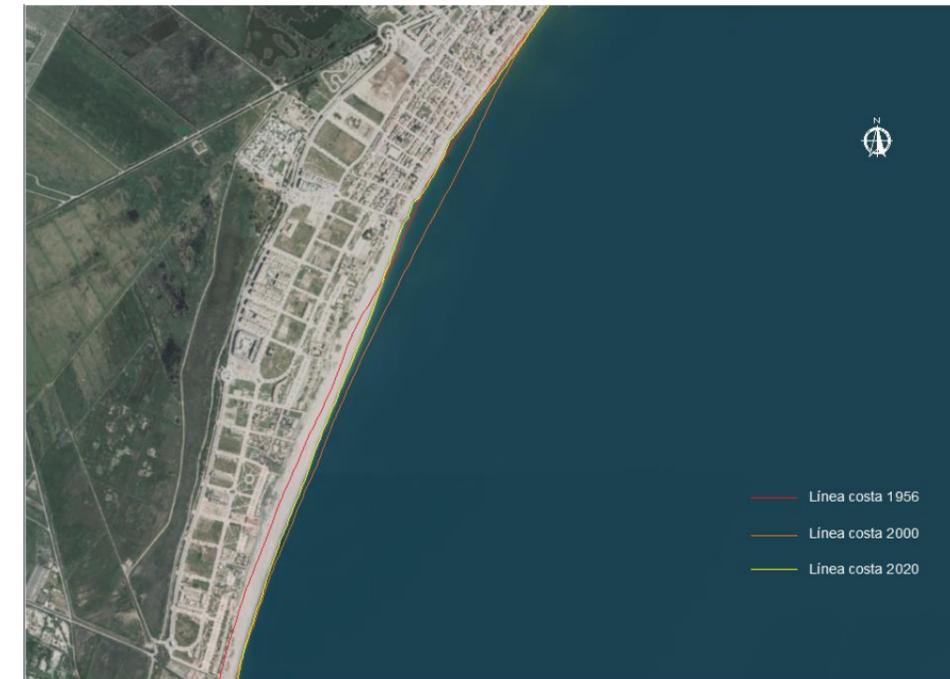


Figura 46. Evolución de la línea de costa de la playa de Casablanca (Fuente: elaboración propia)

Playa de Corinto

En el tramo norte de la playa de Corinto puede observarse la recesión de la costa en 40 metros entre los años 1956 y 2000 fruto de la ejecución de multitud de espigones al norte y la construcción del encauzamiento de la Gola de Queralt, que suponen una barrera al paso de sedimentos. Por otro lado, entre los años 2000 y 2020 la línea de costa ha avanzado unos 20 metros debido a trasvases de arenas realizados a modo de regeneración.

El final de la playa de Corinto y el inicio de la de Almardá, tiene características similares, pero se observa como la regresión de la costa entre los años 1956 y 2000 empieza a perder fuerza hacia el sur hasta estabilizarse el perfil de la playa en su límite con la playa de Almardá.

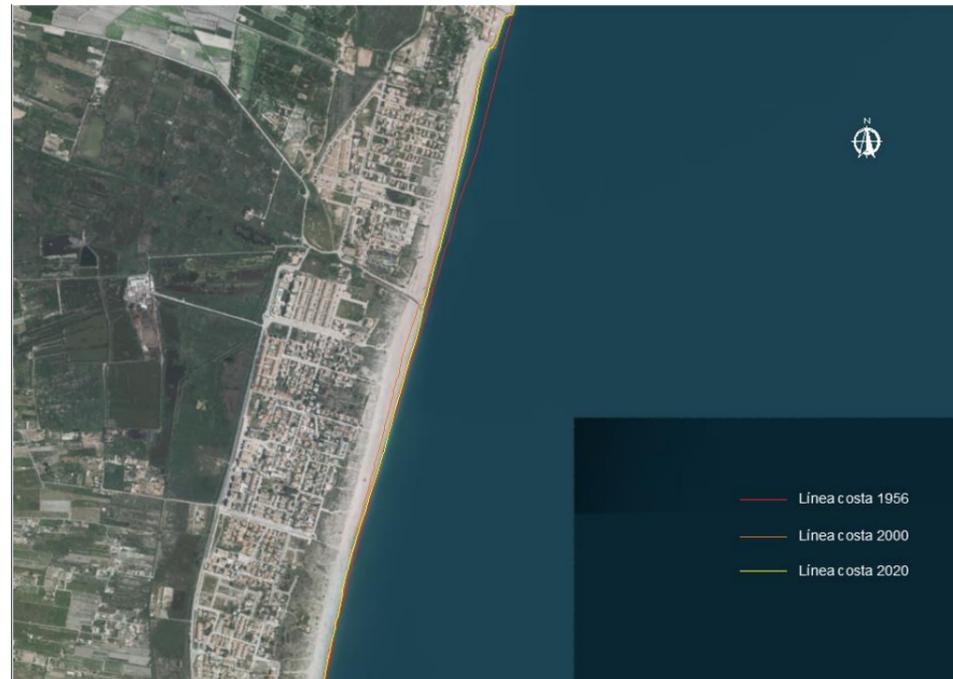


Figura 47. Evolución de la línea de costa de la playa de Corinto (Fuente: elaboración propia)

Playa de Almadá – Puerto de Siles

El tramo central de la playa de Almadá destaca por su estabilidad durante los últimos 50 años, con avances y retrocesos de la costa puntuales; viendo las líneas de los años 1956 y 2000 se puede decir que no se han producido grandes variaciones salvo un ligero avance generalizado del litoral. Sin embargo en el límite con la playa de Canet (norte del puerto de Siles) se observa en primer lugar la misma estabilidad que en el intervalo anterior, con un avance total de casi 20 metros pero también, en la parte más meridional, existe un considerable avance de la línea de costa de unos 70 metros.

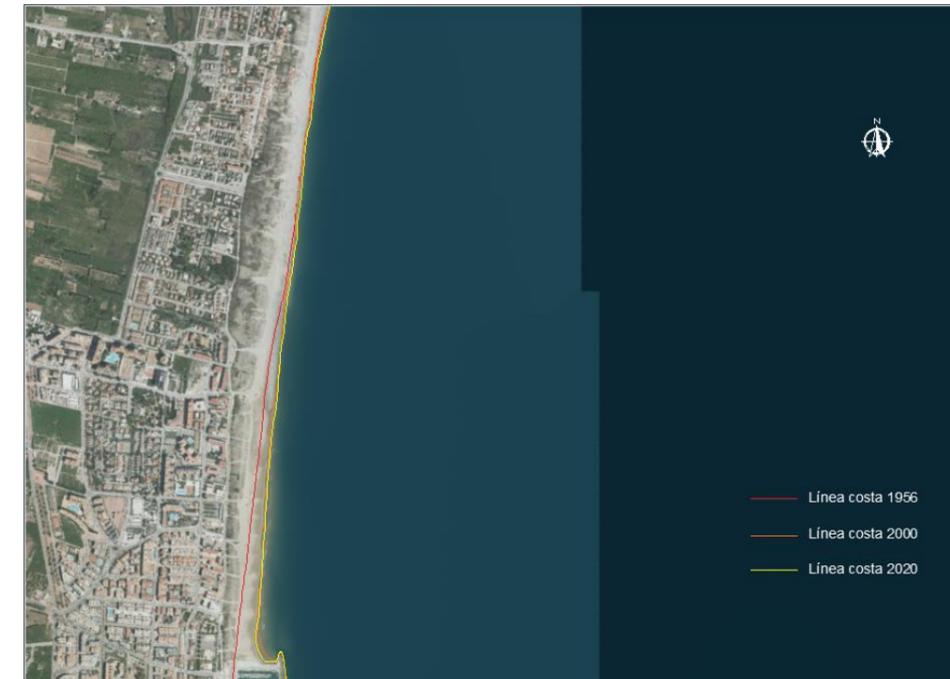


Figura 48. Evolución de la línea de costa de la playa de Almadá al Puerto de Siles (Fuente: elaboración propia)

Puerto de Siles – Puerto de Sagunto

En este tramo costero destaca la evolución de la costa tras la construcción del puerto de Siles por lo cual la costa en la parte norte del delta comenzó a retroceder hasta alcanzar a la carretera existente de tal modo que fue necesaria la disposición de una escollera de protección en gran parte del frente costero del delta del río Palancia.

Como se puede apreciar en la figura 46, en la parte sur de la playa del delta, la tendencia es la contraria, aumentándose progresivamente el ancho de playa seca. Esto es debido en primer lugar a la acumulación de sedimentos al norte del dique del Puerto de Sagunto y posteriormente a la construcción de los espigones de encauzamiento de la desembocadura sur del río Palancia.

En general, en la playa del Puerto de Sagunto se tiende a acumular sedimentos debido a la presencia del dique del Puerto de Sagunto. Desde 1956 hasta la actualidad (año 2020) la línea de costa ha experimentado un avance de 180 metros en su apoyo con el dique del puerto.

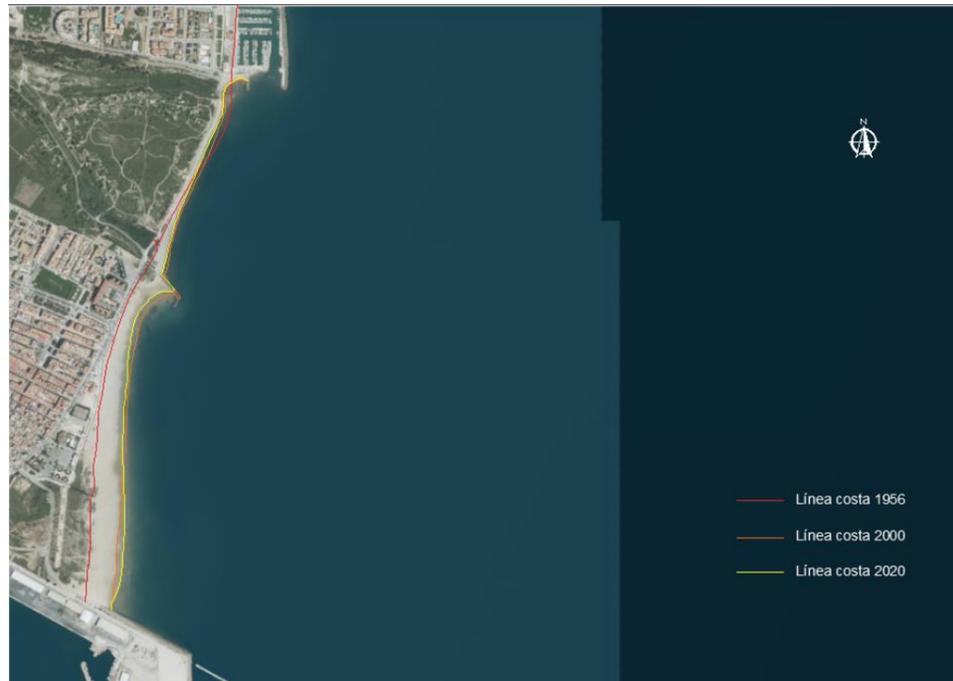


Figura 49. Evolución de la línea de costa entre el Puerto de Siles y el Puerto de Sagunto (Fuente: elaboración propia)

2.7 Riesgo de inundación

La Comunidad Valenciana es una de las regiones españolas más afectada por el riesgo de inundación (PATLCV, 2005). La singularidad del clima mediterráneo, la morfología de su territorio o el no haber considerado variables relacionadas con la prevención del riesgo, son alguno de los factores que influyen en los daños producidos por las inundaciones.

Atendiendo el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, en su artículo 3 define la peligrosidad por inundación como la probabilidad de ocurrencia de una inundación, dentro de un período de tiempo determinado y en un área dada. Por ello se estudia las áreas de peligrosidad de riesgo de inundación del área objeto de estudio, detectadas mediante PATRICOVA, mostradas a continuación.

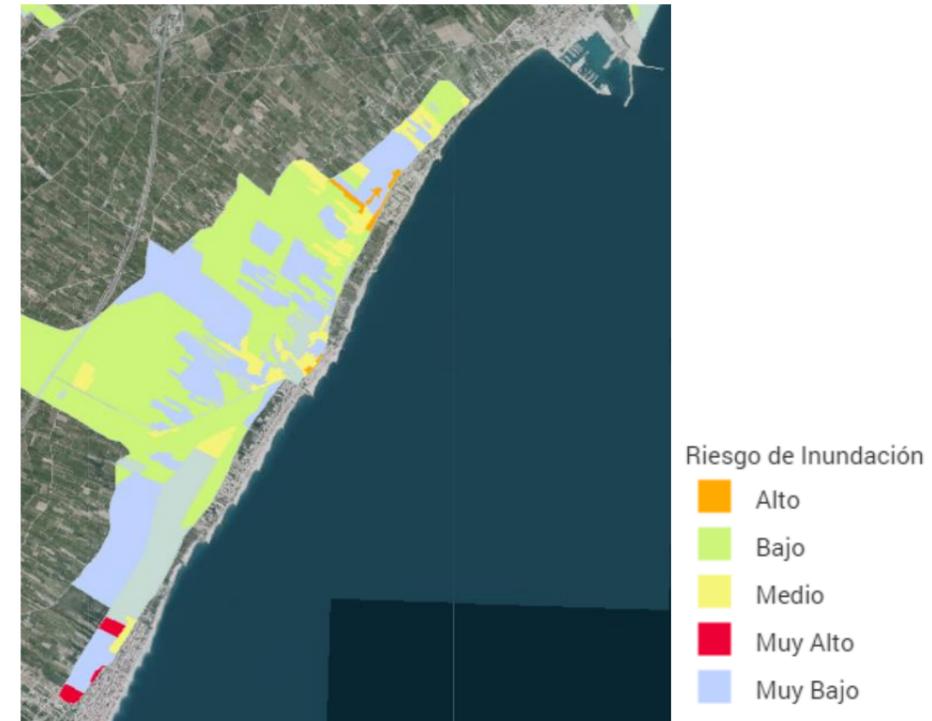


Figura 50. Áreas en riesgo de inundación, zona 1 (Fuente: visor PATRICOVA)

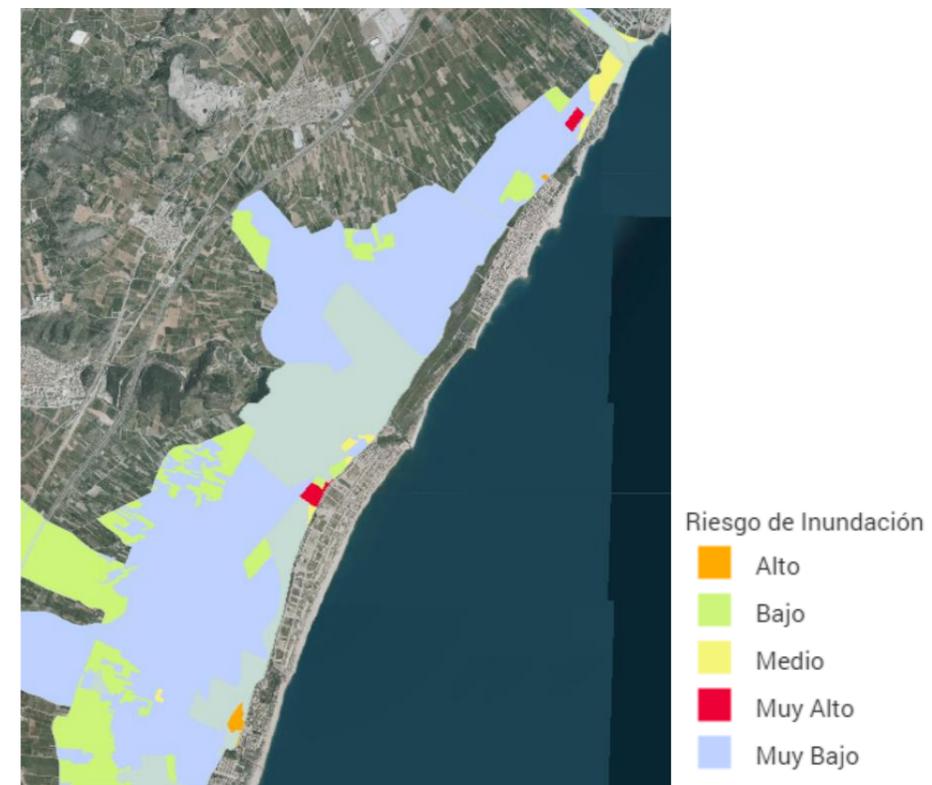


Figura 51. Áreas en riesgo de inundación, zona 2 (Fuente: visor PATRICOVA)

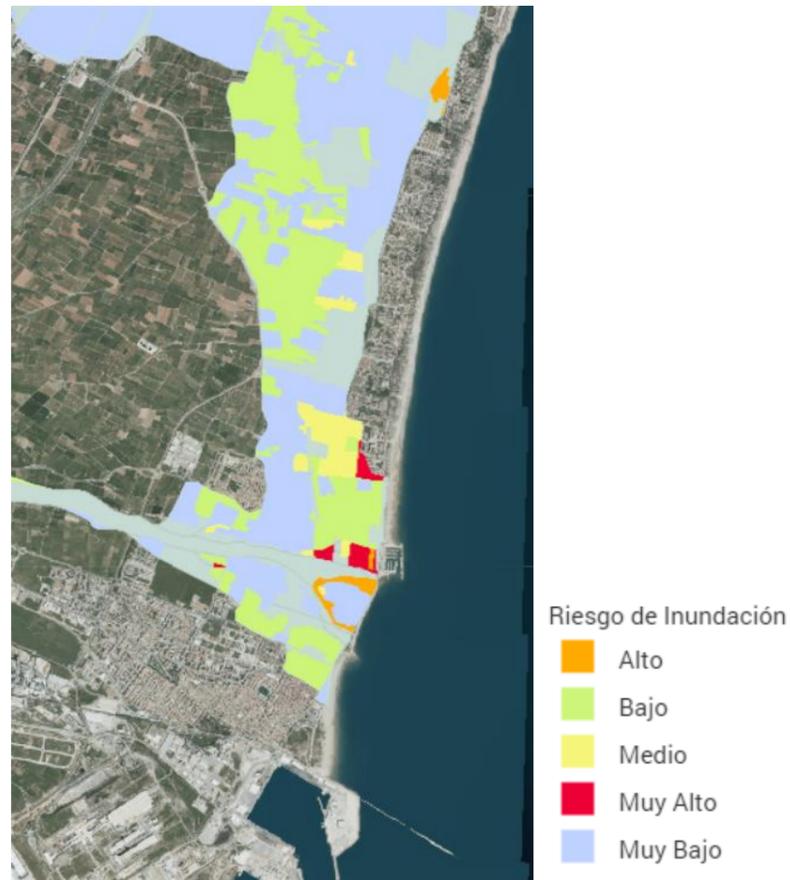


Figura 52. Áreas en riesgo de inundación, zona 3 (Fuente: visor PATRICOVA)

Como se puede observar en las Figuras anteriores, el riesgo de inundación en prácticamente todo el tramo costero analizado, varía entre todos los grados de peligrosidad de “muy bajo” a, en ciertas zonas, “muy alto”, por lo que esta incertidumbre de situación es un aspecto de especial relevancia a tener en cuenta en futuras actuaciones de regeneración de la costa.

Se atiende pues al informe realizado por el CEDEX en 2010, en el que se delimitaron las zonas inundables, basándose en fundamentos científicotécnicos, y posteriormente se realizó una selección de las áreas con riesgo potencial significativo de inundación.

Este informe surge debido a la necesidad de conocer y evaluar las zonas de la franja litoral con riesgo de inundación y vulnerabilidad para las personas y bienes asentados en ella, lo que llevó a la UE a promover y elaborar la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación.

La definición de las áreas con riesgo potencial significativo de inundación (A.R.P.S.I.), constituyó el objetivo fundamental de la evaluación preliminar del riesgo de inundación (E.P.R.I.), ya que sobre ellas, se concentraron los esfuerzos de las dos fases siguientes: una primera centrada en la realización de mapas de peligrosidad por inundaciones y mapas de riesgo de inundación, y una segunda, basada en establecer unos planes de gestión del riesgo por inundación (CEDEX, 2010).

En la siguiente figura, se muestran, las áreas con riesgo de inundación, correspondientes al tramo de costa en estudio.



Figura 53. Áreas con riesgo potencial significativo de inundación en el tramo costero (Fuente: PATRICOVA)

Como se puede observar en la figura anterior, según el informe realizado por el CEDEX en 2010, las áreas con riesgo potencial significativo (ARPSI) son los tramos costeros pertenecientes a los términos municipales de Nules, Chilches, Moncófar, la Llosa, Almenara y Canet d’En Berenguer. Las principales zonas de inundación que afectan a estos municipios litorales están asociadas a insuficiencias de cauce junto a sus desembocaduras o a la existencia de marjales costeras. Estas zonas, de norte a sur, son las que se indican en la tabla siguiente.

ZONA DE INUNDACIÓN	MUNICIPIO
Barranco de Betxí	Nules
Barranco de Juan de Mora	Moncófar, Nules
Río Belcaire	Moncófar
Barranco de Benavites	Almenara
Marjal de Canet	Almenara, Chilches, La Llosa, Moncófar
Marjal de Canet	Canet d’En Berenguer, Sagunto

Tabla 26. Zonas inundables entre el P.Burriana-P.Sagunto (Fuente: elaboración propia)

2.8 Influencia del cambio climático

El cambio climático es hoy en día uno de los escenarios en los que más se está profundizando a la hora de tomar medidas y decisiones futuras sobre el medio físico.

El calentamiento global y la presión ejercida por la población alteran, cambian y desequilibran el litoral, por lo que es necesario tenerlo en cuenta y adoptar medidas que permitan mantener el valor natural costero. En este contexto es importante la subida del nivel del mar debido al cambio climático, que se manifiesta como una de las principales amenazas para los sistemas costeros y zonas bajas de todo el mundo (Nicholls y Cazenave, 2010).

Concretamente, la Comunidad Valenciana es uno de los territorios que ha concentrado el porcentaje mayor del total de pérdidas económicas ocasionadas por peligros naturales, mayoritariamente inundaciones (Olcina, 2009).

Según estudios realizados sobre los fenómenos que se ocasionarán en España en un periodo a largo plazo, se espera un incremento de temperatura superior a la media global, más pronunciado en los meses estivales que en los invernales, una reducción de la precipitación anual sobre la Península Ibérica, que será más acusada cuanto más al sur y un aumento de los extremos relacionados con precipitación de origen tormentoso.

Una de las causas principales del fenómeno del cambio climático es emisión de gases de efecto invernadero. Estas emisiones emitidas a la atmósfera son principalmente dióxido de carbono procedente de combustibles fósiles, procesos industriales, agricultura y cambios en el uso del suelo. También entran dentro de esta categoría, aunque en menor proporción, el metano (CH₄), el óxido nitroso (NO₂) y los gases fluorados.

Las emisiones acumuladas de CO₂ determinarán en gran medida el calentamiento medio global en superficie a finales del siglo XXI y posteriormente (IPCC, 2014). Las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero dependen del tamaño de la población, la actividad económica, el uso de la energía, etc. Para realizar las proyecciones de emisiones y concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero basadas en estos factores, se utilizan trayectorias de concentración representativas (RCP). Se consideran cuatro trayectorias distintas que incluyen: un escenario de mitigación estricto (RCP2,6), dos escenarios intermedios (RCP4,5 y RCP6,0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de estos gases (RCP8,5). En todos los escenarios la concentración de CO₂ en la atmósfera será mayor en 2100 que en la actualidad como consecuencia del aumento de las emisiones acumuladas durante el siglo XXI.

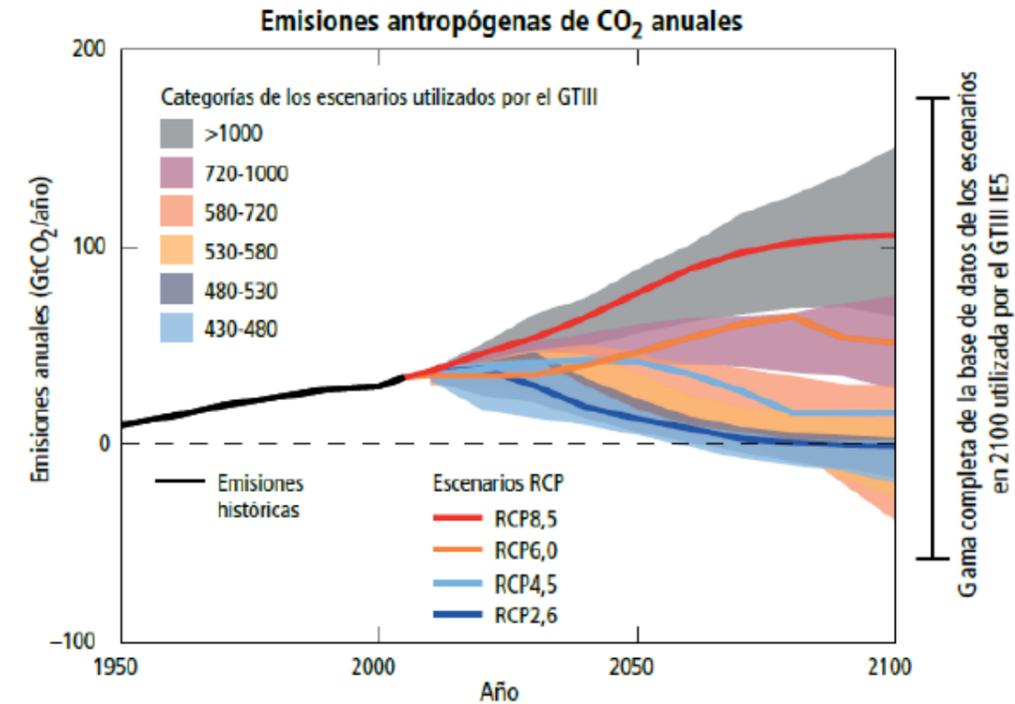


Figura 54. Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (Fuente: IPCC, 2014)

Siendo cada escenario mostrado en la figura anterior, lo siguiente:

- **RCP2,6: Mitigación agresiva.** Las emisiones anuales de CO₂ disminuyen progresivamente, reduciéndose a la mitad en 2050 hasta ser nulas antes del año 2100. No es probable que la temperatura global aumente 2°C.
- **RCP4,5: Fuerte mitigación.** Prevé un ligero aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero hasta la mitad de siglo con una disminución posterior de más del 50% y su estabilización hacia 2080. Lo más probable es que la temperatura no exceda los 2°C.
- **RCP6,0: Baja mitigación.** Las emisiones aumentan en 2080 hasta el doble que en la actualidad, reduciéndose después de manera menos drástica que en el escenario anterior. Es probable que la temperatura exceda los 2°C.
- **RCP8,5: Se mantiene el ritmo de emisiones actuales.** Existen niveles de emisiones muy altos a lo largo de todo el siglo que continúan incrementándose a las tasas actuales. No considera la disminución de emisiones, pero supone que conforme se avanza en el tiempo su aumento es menos acelerado. La temperatura es probable que no exceda 4°C.

En las últimas décadas, las altas emisiones de dióxido de carbono y, consecuentemente, el calentamiento global, han dado lugar a efectos climáticos negativos como el aumento continuo de temperatura, que afecta a los sistemas ecológicos y humanos (IPCC, 2014). Es por ello que, probablemente, fenómenos como las olas de calor o las precipitaciones extremas ocurran con mayor frecuencia o de forma más intensa en algunas regiones. El océano también se seguirá calentando y acidificando, conllevando a una elevación del nivel medio global del mar.

Para analizar la posible elevación del mar en el tramo objeto de estudio, se ha tomado la información proporcionada por la Universidad de Cantabria para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar: “Impactos en la costa española por efecto del cambio climático”.

El horizonte de análisis del proyecto citado es el año 2050; por lo que éste es el que se usará para la evaluación de los efectos del cambio climático en la costa.

Las predicciones hechas sobre el ascenso que se puede producir en el nivel del mar se resumen en la figura adjunta, tomada del citado proyecto, proveniente del tercer informe del Panel Intergubernamentales de Cambio Climático (IPCC).

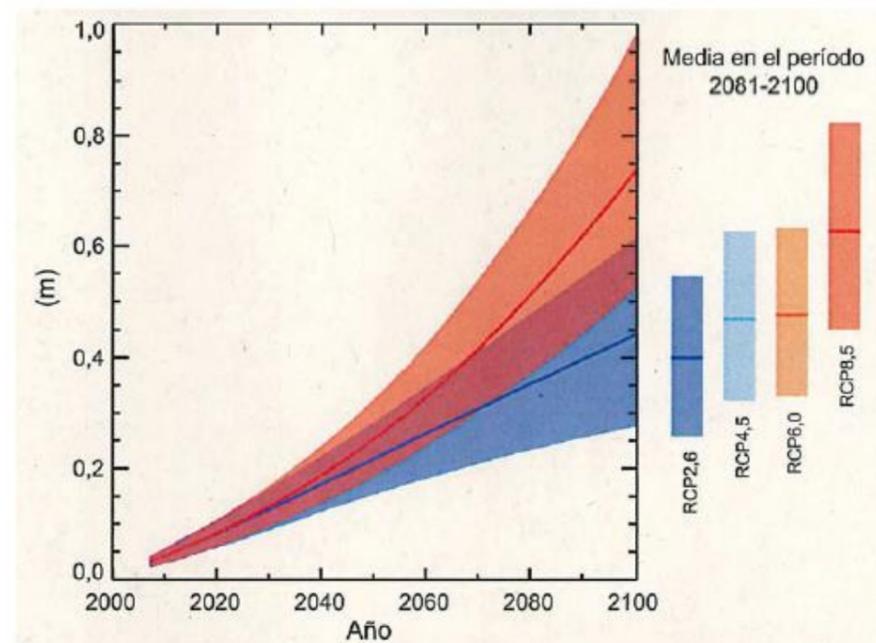


Figura 55. Variaciones del nivel medio global del mar (Fuente: Quinto informe de evaluación del IPCC)

Según este gráfico, la subida del nivel del mar se estima aproximadamente entre 0,98 y 0,52 m en el año 2100 (para el escenario de emisión RCP 8,5). Y aproximadamente entre 0,61 y 0,27 m (para el escenario de emisión RCP 2,6). Siendo estas cifras, en el año 2050 de aproximadamente 0,18 y 0,33 m (para el escenario de emisión RCP 8,5). Y aproximadamente entre 0,15 y 0,28 m (para el escenario de emisión RCP 2,6). Las medidas dadas por el IPCC (2001) para el siglo XX indicaban una tasa de elevación entre 1 y 2 mm/año con vistas al siglo XXI; aunque esta velocidad podría ser mayor, cifrándola algunos autores en 2,5 mm/año (CEDEX, 2015).

Considerando los datos aportados por el proyecto anteriormente mencionado y teniendo como años vista 2050 y 2100, se procederá a continuación a calcular la respuesta de la costa del tramo objeto de estudio de este trabajo así como los valores medios que se esperan obtener.

2.8.1 Elevación del nivel del mar

Atendiendo a los diversos informes realizados por el IPCC (2014) sobre las predicciones de la subida del nivel del mar, se observa que los resultados son cambiantes como queda reflejado en la siguiente tabla, donde se expone las predicciones de nivel de mar para los distintos escenarios RCP con las bandas de confianza correspondientes.

Escenarios RCP	Subida del nivel del mar (m)	
	2046-2065	2100
RCP2.6	0.24 [0.17 – 0.31]	0.43 [0.28 – 0.60]
RCP4.5	0.26 [0.19 – 0.33]	0.52 [0.35 – 0.70]
RCP6.0	0.25 [0.18 – 0.32]	0.54 [0.37 – 0.72]
RCP8.5	0.29 [0.22 – 0.37]	0.73 [0.53 – 0.97]

Tabla 27. Predicciones del nivel del mar para distintos escenarios RCP (Fuente: IPCC, 2014)

Como se puede observar en la tabla anterior, para mitad del siglo XXI el aumento del nivel del mar es similar para todos los escenarios, con una variación de entre 0.17 y 0.37 metros sobre el nivel que se ha tenido de referencia (período de 1980-2000); sin embargo, para finales de siglo la diferencia del nivel de mar en los distintos escenarios es bastante más significativa, siendo esta desde 0.28 a 0.97 metros.

Ya se ha demostrado que el cambio climático acelera la erosión costera debido al aumento del nivel del mar, lo que provoca, en algunas playas, un retroceso significativo de la línea de costa. Además de la erosión de la línea costera la subida del nivel del mar provoca graves efectos como la intrusión de agua salada que se traduce en una mayor pérdida de tierra habitable y cultivable provocando daños en los ecosistemas (Fatorić y Chelleri, 2011).

Por ello es necesario conocer lo más detalladamente posible la respuesta de la costa para conocer como se comportará el perfil de la playa que se está analizando.

Se sabe que el perfil de la playa se verá modificado desde la nueva línea de orilla hasta la profundidad de cierre. Se produce un retroceso en la línea de costa que lleva asociado un volumen de arena necesario para restablecer el perfil original. Esto es algo muy necesario a tener en cuenta de cara a la regeneración de las playas.

La futura respuesta del perfil de playa, habitualmente se determina aplicando la llamada regla de Bruun (Bruun 1962), que relaciona la subida del nivel del mar con la recesión en la línea de costa causada por este efecto. El volumen de arena por unidad de longitud, AB, se obtiene por la erosión del perfil. El retroceso de la orilla, X, se determina por un balance sedimentario entre el volumen AB con el área entre los dos perfiles. Esta área está dada por X (h+d) y representa la cantidad de arena necesaria para restablecer el perfil original. Igualando los dos volúmenes da:

$$\Delta X = \frac{AB}{(h + d)} = \frac{A}{\tan \theta}$$

Es decir, la fórmula de Bruun representa que la pérdida de anchura de playa será igual a la distancia de la profundidad de cierre por la subida del nivel del mar y todo ello dividido por la profundidad de cierre a la costa.

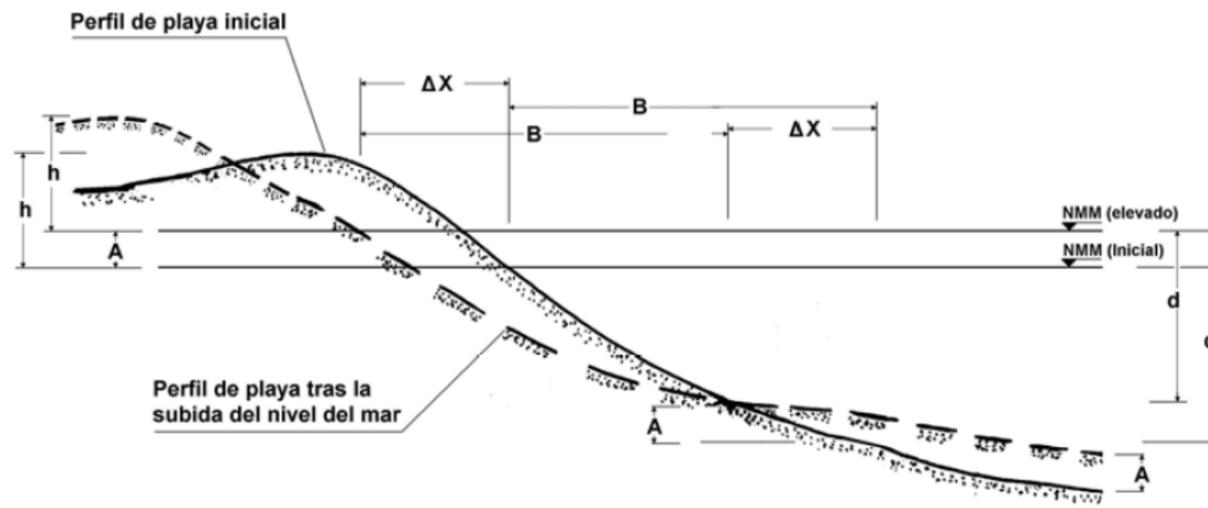


Figura 56. Regla de Brunn, variables que intervienen (Fuente: Brunn, 1962)

Siendo:

- **A**: Subida del nivel del mar
- **B**: Distancia entre la línea de orilla y la profundidad de cierre
- **AB**: Cantidad de material por unidad de longitud necesaria para restablecer la elevación del fondo sobre una distancia B
- ΔX : Retroceso de la orilla (erosión)
- **h**: Altura de la berma
- **d**: Profundidad de cierre
- **tan θ** : Pendiente promedio sobre el perfil activo

Para la toma de datos de estas variables se ha acudido al informe realizado por el CEDEX (2011) y el posterior informe técnico sobre la tramitación ambiental del tramo de costa comprendido entre el Puerto de Castellón y el Puerto de Sagunto (2015), donde se establece una profundidad de cierre de 10 metros para la playa del grao de Burriana, situada justo al norte de donde empieza el tramo objeto de estudio. De esta forma, suponiendo una profundidad de cierre similar en las playas consideradas: Nules, Moncófar, Chilches, La Llosa, Almenara, Almardá y del Puerto de Sagunto y siendo B (m) la distancia a dicha profundidad, para cada una de las playas, se determina el avance de la línea de orilla o pérdida de anchura de playa, máxima para los años 2050 y 2100.

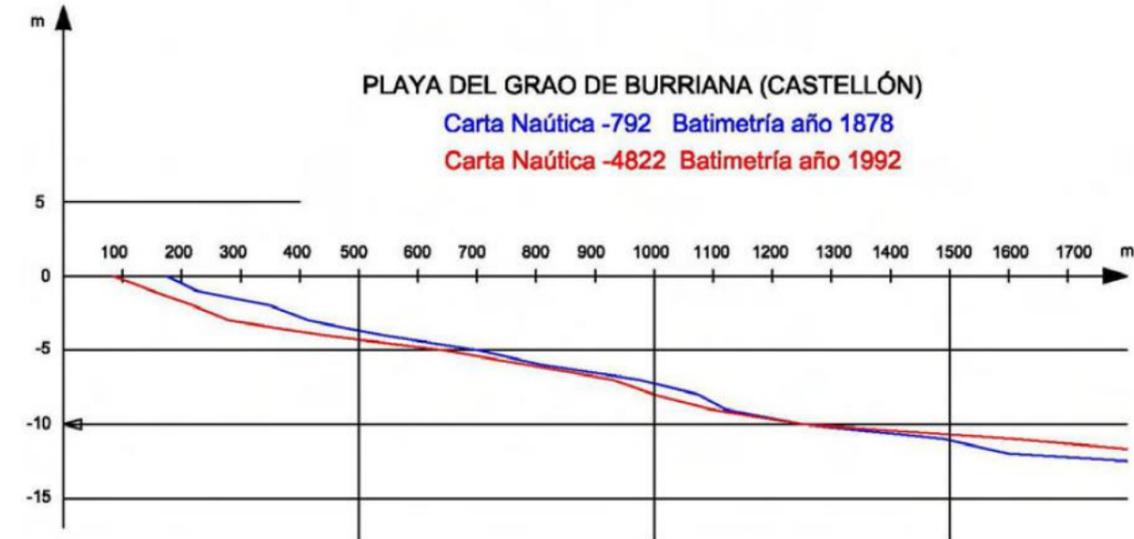


Figura 57. Perfil característico de la playa del grao de Burriana, de 1878 y 1992, para caracterizar la Pdc a gran escala, largo término (Fuente: CEDEX, 2011)

A continuación se muestra sobre plano, la distancia aproximada desde la orilla de las distintas playas hasta la profundidad de cierre establecida (10 m) de cada una de las playas que forman parte del tramo costero analizado.



Figura 58. Distancias aproximadas de la Pdc (Fuente: CEDEX, 2015)

la subida de nivel del mar A (m) se obtiene de lo expuesto en la *Tabla 6. Predicciones del nivel del mar para distintos escenarios RCP*, donde se alcanza un valor característico de 0.37 en el intervalo donde se encuentra comprendido el año 2050, y 0.9 para el año 2100.

Considerando los datos de las variables indicadas anteriormente y de la aplicación de manera sencilla de la regla de Bruun (1962), se determina, el avance de la línea de orilla ΔX (m), en cada una de las playas de los términos municipales pertenecientes al tramo costero objeto de estudio, para el año horizonte 2050, según se indica en la siguiente tabla.

Retroceso máximo año 2050				
Playa	A (m)	B (m)	Pdc (m)	ΔX (m)
Nules	0,37	1821	10	67
Moncófar	0,37	1474	10	55
Chilches	0,37	1624	10	60
La Llosa	0,37	1563	10	58
Almenara	0,37	1293	10	48
Almardá	0,37	838	10	31
Puerto de Sagunto	0,37	667	10	25

Tabla 28. Retroceso máximo de la línea de costa por subida del nivel de mar año 2050 (Fuente: elaboración propia)

Retroceso máximo año 2100				
Playa	A (m)	B (m)	Pdc (m)	ΔX (m)
Nules	0,9	1821	10	164
Moncófar	0,9	1474	10	133
Chilches	0,9	1624	10	146
La Llosa	0,9	1563	10	141
Almenara	0,9	1293	10	116
Almardá	0,9	838	10	75
Puerto de Sagunto	0,9	667	10	60

Tabla 29. Retroceso máximo de la línea de costa por subida del nivel de mar año 2100 (Fuente: elaboración propia)

Por lo tanto, el retroceso aproximado de playa que nos resulta de aplicar la regla de Bruun (1962), con las previsiones de subida del nivel del mar indicadas anteriormente, daría un valor máximo de 67 m para el horizonte de 2050 y de 164 m para el horizonte 2100.

Como conclusión del efecto del cambio climático en el tramo de costa que se ha analizado se puede asumir que el nivel del mar crecerá considerablemente en los próximos 30 años según las predicciones realizadas, y que su crecimiento es exponencial como se ha comprobado con las predicciones para el año 2100. Por lo tanto será un aspecto fundamental a tener en cuenta para la previsión de regeneración de las playas objeto de estudio.

También añadir que estos valores son indicativos, al poder cambiar las condiciones morfológicas de las playas y las previsiones sobre el incremento del nivel del mar debido al cambio climático.

Por tanto, podría tratarse valores de manera similar al retroceso de la línea de costa debido a la erosión y, por tanto asumirse que se encuentran dentro de las reposiciones de sedimento anuales que debe preverse como mantenimiento de cada actuación.

3. ZONIFICACIÓN PARA LA ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN

Uno de los pasos más importantes a la hora de plantear una estrategia de actuación en la costa es conocer bien las variables y condicionantes que se encuentran en el tramo objeto de estudio. Para ello se ha decidido dividir el tramo costero entre los puertos de Burriana y Sagunto en subtramos, de tal forma que cada uno de ellos tenga una homogeneidad de usos y estructura de la costa y una dinámica litoral dependiente.

La división en subtramos que se ha decidido plantear se ha basado en las subunidades que pueden tener una dinámica litoral similar (CEDEX, 2015), siendo estos los siguientes:

- Puerto de Burriana – Playa de Casablanca (Almenara)
- Playa de Casablanca (Almenara) – Puerto de Siles (Canet de Berenguer)
- Puerto de Siles (Canet de Berenguer) – Puerto de Sagunto



Figura 59. Zonificación de la costa entre los puertos de Burriana y Sagunto (Fuente: CEDEX, 2015)

Esta división en subtramos se ha basado en que la playa de Casablanca tiene la particularidad que es un elemento de transición entre dos alineaciones de la costa, variando repentinamente la dinámica litoral y el puerto de Canet de Berenguer, Puerto Siles, es una barrera parcial al paso de sedimentos.

Además la decisión de la subdivisión realizada es debido a que el mayor condicionante de cualquier actuación que se plantee en este frente es la intensa actividad de la dinámica litoral que hace transmitir los efectos de cualquier acción en el litoral de manera rápida e intensa. Por ello, esta circunstancia hace

que no se pueda actuar de manera aislada en todo el tramo sino debe plantearse su realización, al menos, por subunidades en conjunto.

3.1 Descripción de los subtramos

A continuación se procede a realizar una descripción orientativa del estado y características de cada uno de los subtramos en los que se ha dividido la costa analizada.

Puerto de Burriana – Playa de Casablanca (Almenara)

Este subtramo abarca desde el contradique del Puerto de Burriana hasta el límite donde empieza la Playa de Casablanca (Almenara). La distancia que comprende el primer tramo es de unos 14250 metros, y es el subtramo mas grande de los tres en los que se ha dividido la costa.

En la mayor parte del tramo costero situado entre el contradique del Puerto de Burriana hasta el límite norte de la Playa de Nules ha sido necesaria la disposición de una escollera de protección. Las Playas de Nules y Pedra Rotja integran una serie de playas de ancho variable (entre 20 y 60 m de playa seca) en las que se han ubicado numerosos espigones tanto emergidos como sumergidos. A unos 600 m del límite Norte de la Playa de Nules se encuentra la desembocadura del Canal de la Marjalería de Nules, encauzada mediante dos espigones.

Desde la escollera de protección en mitad de la Playa de Pedra Rotja se extienden 350 m de playa de Pedra Rotja hasta la escollera de protección del camping “Costa de Levante”, a continuación de la cual hay 550 m de la Playa del Grau en los que no se aprecian obras de protección del litoral.

A partir de este punto se ha dispuesto a intervalos relativamente regulares un total de 12 espigones de longitudes muy diversas, entre las Playas del Grau, El Masbó y Tamarit, hasta la desembocadura del río Belcaire.

En la Playa de La Torre existen dos escolleras de protección costera como se muestra en la siguiente figura. La segunda escollera de 250 m de longitud se sitúa entre las Playas de La Torre y del Estanyol, para protección de un pequeño poblado costero situado junto a este último.



Figura 60. Escolleras de la playa La Torre (Fuente: Google Earth Pro)

En la Playa del Estanyol se observa un tómbolo apoyado en un dique exento de unos 185 m de longitud, al sur del cual existe un pequeño espigón de apenas 20 m de longitud.

A continuación, siguiendo hacia el sur, frente al núcleo de población de las Casas de Chilches, en la parte norte de la Playa del Cerezo y sur de la Playa de las Casas, se observan dos tómbolos apoyados en sendos diques exentos de 150 m de longitud cada uno de ellos. Entre dichos tómbolos se ha dispuesto una

pequeña escollera de protección costera de forma semicircular a modo de estribo para la construcción de un mirador pilotado que no supone interrupción de la deriva litoral de sedimentos.



Figura 61. Tómbolos y mirador sobre escollera semicircular de la playa Las Casas (Fuente: Google Earth Pro)

En la parte Sur de la Playa del Cerezo se observan 3 espigones, y al sur del tercero la línea de costa se retranquea sensiblemente, quedando prácticamente pegada a la zona de cultivos que pospone a la playa El Cerezo.

La Playa de La Llosa se trata de una playa de planta recta con ancho de playa variable que alcanza su máximo en su apoyo sur, sobre el espigón de encauzamiento de la Gola, y carece de otras estructuras artificiales.

Una vez expuestas las características y obras de defensa que componen este primer subtramo de costa se procede a analizar la batimetría del mismo mediante las barimétricas obtenidas de la Ecocartografía proporcionada por el MITECO.

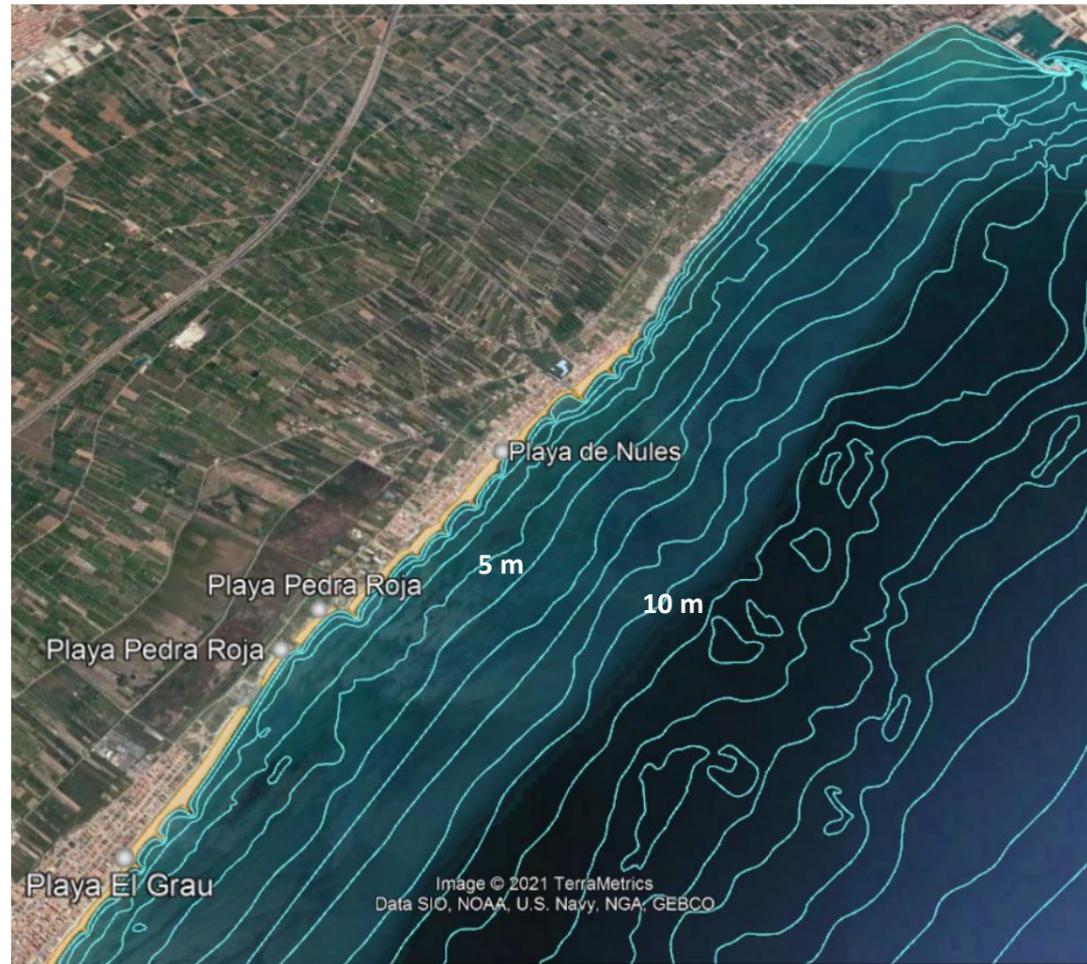


Figura 62. Batimetría entre el Puerto de Burriana a playa El Grau (Fuente: MITECO)

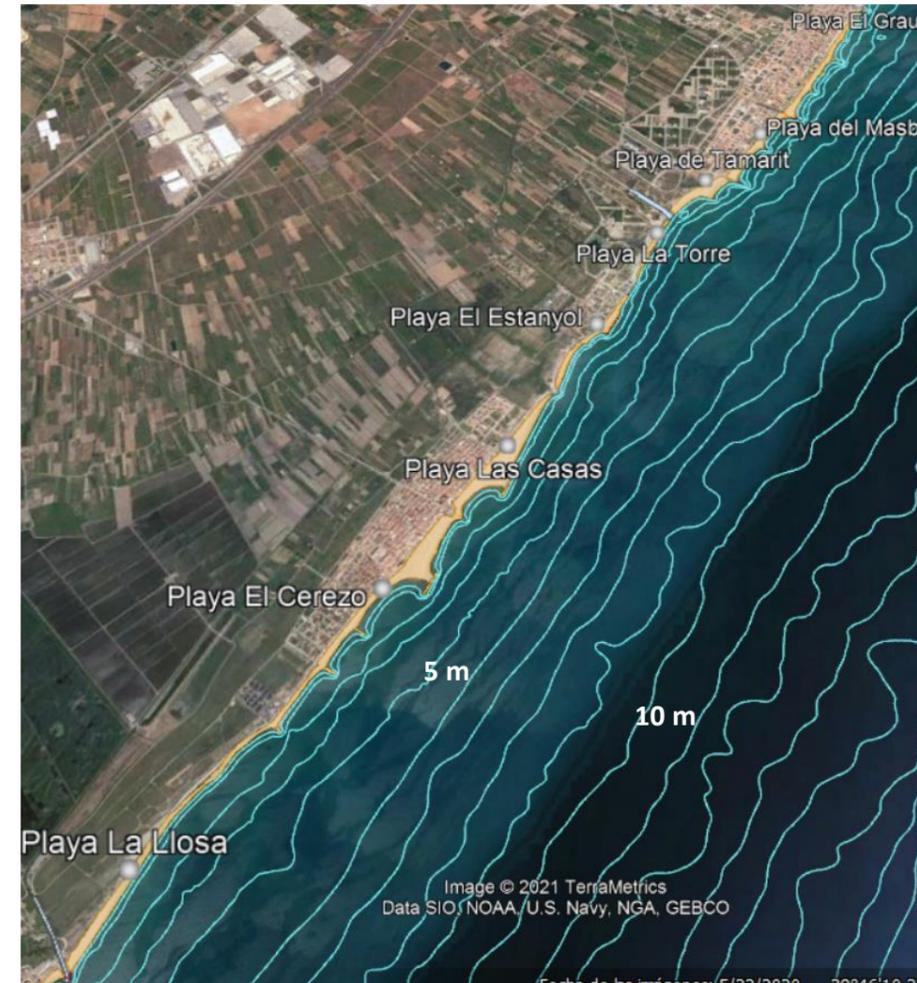


Figura 63. Batimetría entre la playa El Grau y playa La Llosa (Fuente: MITECO)

Playa de Casablanca (Almenara) – Puerto de Siles (Canet de Berenguer)

Este segundo subtramo consta de 8300 metros y abarca desde el norte de la playa de Casablanca, que coincide con la Gola de la Llosa, y la playa de Canet de Berenguer.

El tramo comienza por la Playa de Casablanca (3000 m de longitud), siendo esta de planta ligeramente curva. En la siguiente figura se muestra la única obra de protección costera que aún existe en este tramo, que se trata de una escollera de unos 400 m de longitud, inmediatamente al sur de la Gola de la Llosa para protección de la población del Barri Mar.



Figura 64. Escollera en la playa de Casablanca (Fuente: Google Earth Pro)

Este tramo continúa sin ninguna obra de protección costera hasta el Puerto de Siles en Canet de Berenguer y aunque la playa no muestra ninguna discontinuidad cambia de nombre a medida que se avanza hacia el sur; en primer lugar se conoce como Playa de Corinto, luego Playa de Almadá y después Playa de Canet de Berenguer. La única obra de protección costera existente es una escollera de unos 75 m de longitud (de la cual solo queda la mitad) inmediatamente al sur de la Gola de Queralt para protección de un conjunto de viviendas en Corinto, como se muestra en la siguiente figura.

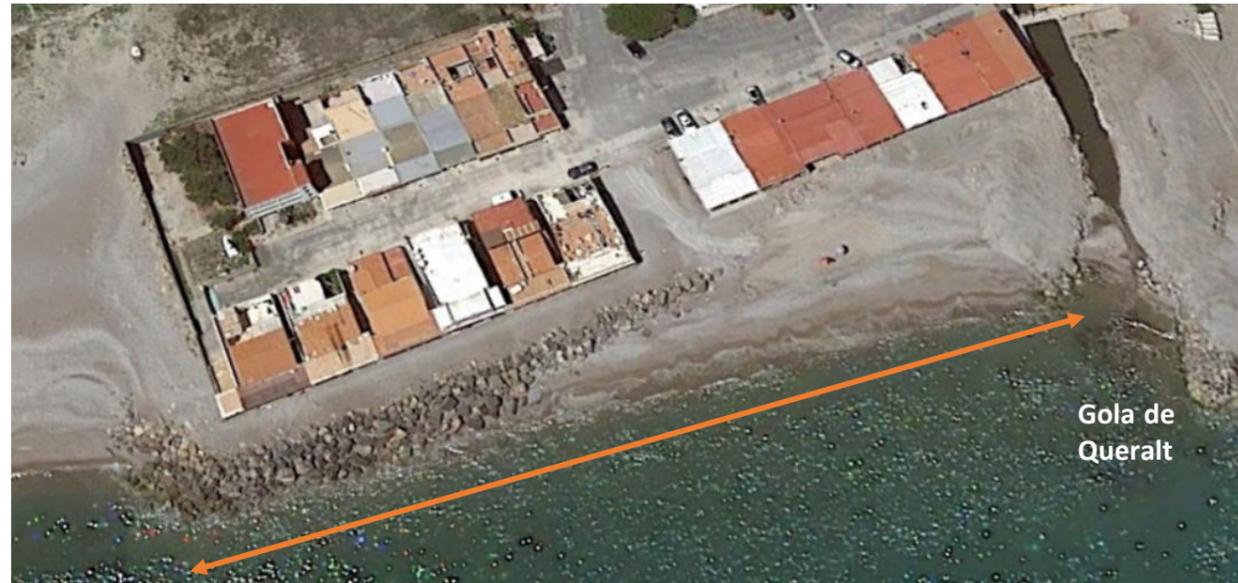


Figura 65. Escollera de protección viviendas en Corinto (Fuente: Google Earth Pro)

Una vez expuestas las características y obras de defensa que componen este primer subtramo de costa se procede a analizar la batimetría del mismo mediante las batimétricas obtenidas de la Ecocartografía proporcionada por el MITECO.

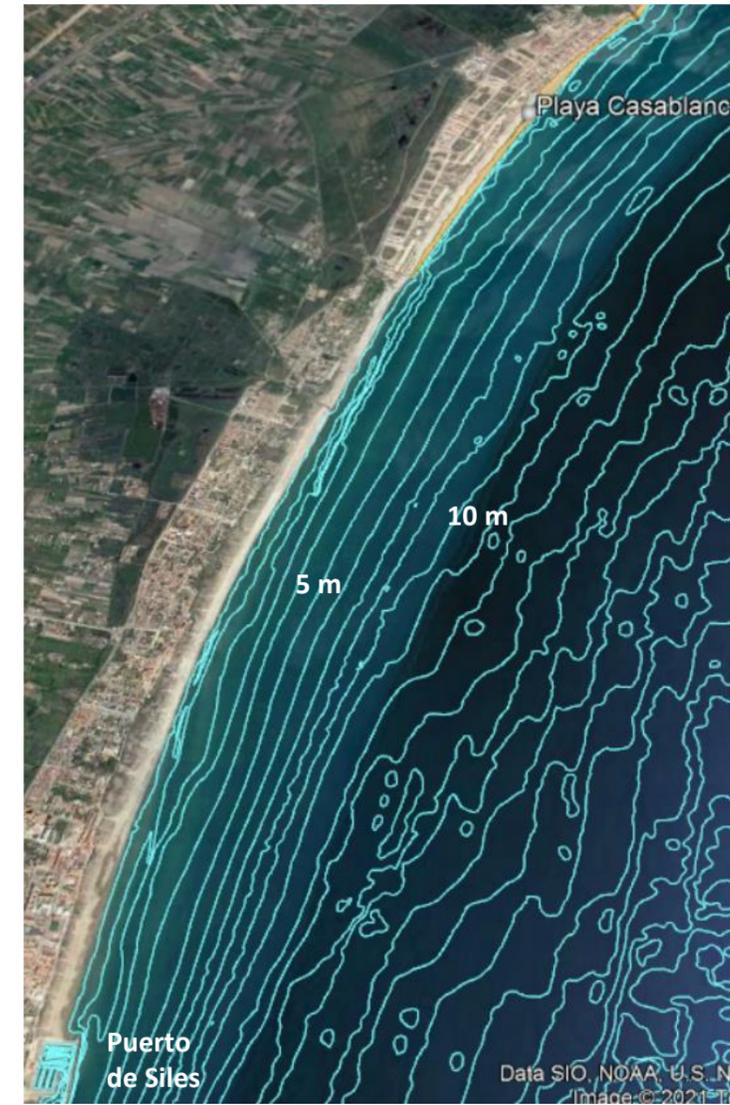


Figura 66. Batimetría entre la Gola de Queralt y el Puerto de Siles (Fuente: MITECO)

Como se puede observar en la imagen anterior, las batimétricas son mucho más irregulares hasta la batimétrica de 5 metros que en el subtramo anterior; después de esta las líneas batimétricas son mucho más regulares hasta la batimétrica de 10 metros.

Puerto de Siles (Canet de Berenguer) – Puerto de Sagunto

El tramo más meridional de la zona de estudio comprende las Playas del delta del Palancia y del Puerto de Sagunto con una longitud aproximada de 2500 m.

Al abrigo del contradique del Puerto de Siles se ubica una pequeña playa que llega hasta la desembocadura Norte del río Palancia. A partir de este punto y durante unos 200 m hacia el sur la línea de costa se encuentra pegada a la carretera, por lo que ésta ha tenido que ser protegida mediante una escollera, que a medida que se avanza hacia el sur se mezcla con los bolos de la parte meridional de la Playa del delta.



Figura 67. Escollera y bolos junto a la carretera en el Delta del Palancia (Fuente: IH Cantabria, 2011)

En contraste, la Playa del delta, apoyada en su extremo sur en el espigón de encauzamiento de la desembocadura sur del río Palancia, alcanza un ancho de playa seca de casi 100 m.

Entre la desembocadura sur del Palancia y el Puerto de Sagunto se desarrolla la Playa del Puerto de Sagunto, la cual presenta un ancho de playa que aumenta hacia el Sur desde 50 m hasta 250 m en el apoyo sobre el dique del Puerto de Sagunto.

Una vez expuestas las características y obras de defensa que componen este primer subtramo de costa se procede a analizar la batimetría del mismo mediante las barimétricas obtenidas de la Ecocartografía proporcionada por el MITECO.



Figura 68. Batimetría entre el Puerto de Siles y el Puerto de Sagunto (Fuente: MITECO)

Como se puede observar en la imagen anterior, la batimetría de este último subtramo es muy uniforme, tanto hasta la batimétrica de 5 metros como hasta la de 10 metros.

4. ESTUDIO DE SOLUCIONES

El estado de las playas es un tema de vital importancia en la Comunidad Valenciana y en las provincias de Castellón y Valencia, en las cuales el turismo es su principal fuente económica lo que acompaña por lo tanto a la exigencia de un buen estado de sus playas buscando la estabilidad de las mismas.

El presente punto tiene como objetivo plantear una serie de alternativas y entre ellas estudiar la solución óptima para la regeneración del tramo de costa comprendido entre el puerto de Burriana y el puerto de Sagunto, tras haber estudiado la problemática existente y los condicionantes en apartados anteriores.

En primer lugar se detectaran y analizaran los problemas que presenta el tramo objeto de la actuación para posteriormente indagar en las distintas alternativas que nos ofrece la Ingeniería de Costas para paliarlos. Por último, será necesario establecer unas bases generales de diseño para cada una de las alternativas con el objetivo compararlas, analizarlas y calibrarlas. Llegados a este punto se seleccionará la alternativa que optimice los criterios de selección fijados.

En segundo lugar, se deben tener en consideración los siguientes principios básicos para cualquier actuación costera, estos serán:

- ❖ Se deben considerar amplias zonas del tramo litoral. La costa es un todo uno y debe ser entendida y analizada como tal. Toda playa pertenece a una unidad morfodinámica superior a la que se encuentra irremediamente unida, cualquier actuación a lo largo de toda la unidad tendrá repercusión sobre la playa y viceversa.
- ❖ La playa son un bien público que aporta un amplio valor tanto social y económico. Es por eso por lo que las obras que se van a realizar sobre la playa deben ser de calidad y sumar valor a la misma.
- ❖ Tener en consideración los efectos negativos que se pueden ocasionar en las áreas cercanas al tramo costero objeto de estudio.
- ❖ La protección de la costa no implica, necesariamente, la defensa de la misma, ya que, a veces, es conveniente tomar la iniciativa a la acción del oleaje mediante regeneraciones o mejoras del estado actual.

4.1 Diagnóstico de la problemática del tramo objeto de estudio

Previo a la presentación de alternativas de actuación y como resumen de los análisis desarrollados en los apartados anteriores se presentan a continuación las conclusiones más relevantes del diagnóstico de la situación actual.

El tramo objeto de estudio, de unos 26 Km de longitud de costa, se encuentra comprendido entre el dique de protección del puerto de Burriana y el dique norte del puerto de Sagunto, todo comprendido dentro de las provincias de Castellón y Valencia.

En este tramo costero se encuentran las playas, de norte a sur, de:

- Playa Sur de Burriana
- Playa de Nules
- Playa de Moncófar (playas de Pedro Rojas, El Grao, Masbo, Tamarit, La Torre y L'Estanyol)
- Playa de Chilches (playas de Las Casas y El Cerezo)
- Playa de La Llosa
- Playa de Almenara (playa de Casablanca)
- Playa de Corinto
- Playa de Almardá
- Playa de Canet de Berenguer
- Playa del puerto de Sagunto

En general el tramo de costa comprendido entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto no se encuentra en equilibrio en la actualidad, a excepción de la Playa del Puerto de Sagunto (la cual se encuentra saturada de sedimento y prácticamente en equilibrio estático) y de la mayor parte de las playas de gravas (próximas al equilibrio estático), el resto del tramo analizado adopta una orientación consecuente con el transporte de sedimentos existente en la zona.

Cabe destacar que para el planteamiento de las siguientes alternativas se ha tenido en cuenta el informe sobre el *"Estudio de la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia"* (Alguacil, Á., 2020) que precede al presente trabajo y que para la gestión de este aporte de sedimentos es sobre donde se han planteado las distintas soluciones.

Tras analizar la evolución de la costa mediante lo expuesto en los apartados anteriores, y empleando la referencia de la evolución de la línea de costa de los años 1956, 2000 y 2020 como significativa, se puede diagnosticar una situación y comportamiento actual del tramo de costa objeto de estudio.

Para facilitar el procedimiento de identificación de problemas se ha recurrido al capítulo de la *"Zonificación para la estrategia de actuación"* en el que se divide el tramo objeto de estudio en 3 subtramos, los cuales son Puerto de Burriana – Playa de Casablanca (Almenara), playa de Casablanca (Almenara) – Puerto de Siles y Puerto de Siles – Puerto de Sagunto.

A continuación se muestra el resultado del análisis realizado para cada subtramo.

Subtramo 1: Puerto de Burriana – Playa de Casablanca (Almenara)

Este subtramo está formado por las playas del sur de Burriana, la playa de Nules, la playa de Moncófar (playas de Pedro Rojas, El Grao, Masbo, Tamarit, La Torre y L'Estanyol), la playa de Chilches (playas de Las Casas y El Cerezo) y la playa de La Llosa.

La primera de las playas, la playa Sur de Burriana, es un tramo rocoso ya que todo su frente está formado por un dique longitudinal de escollera, con lo cual la regeneración de este subtramo se centrará en las zonas erosionadas hacia el sur a partir de donde finaliza el tramo rocoso mencionado.



Figura 69. Evolución línea de costa de la playa de Nules (Fuente: Visor GVA)



Figura 70. Evolución línea de costa de la playa de La Llosa (Fuente: Visor GVA)

Subtramo 2: Playa de Casablanca (Almenara) – Puerto de Siles (Canet de Berenguer)

Este subtramo puede dividirse en la playa de Almenara (Casablanca), playa de Corinto, playa de Almardá y la playa de Canet de Berenguer.



Figura 71. Evolución línea de costa de la playa de Casablanca (Fuente: Visor GVA)



Figura 72. Evolución línea de costa de la playa de Canet de Berenguer (Fuente: Visor GVA)



Figura 73. Evolución línea de costa del subtramo 3 (Fuente: Visor GVA)

Subtramo 3: Puerto de Siles – Puerto de Sagunto

Tramo solamente formado por la playa del delta del río Palancia la cual sufre al norte un ligero proceso de erosión ocasionada por el Puerto de Siles, y la playa del Puerto de Sagunto la cual ha tenido un crecimiento continuo, con avances superiores a los 50 metros, que corresponderían a un volumen de sedimento acumulado en ella de cerca de 250.000 m³.

4.1.1 Conclusiones

A lo largo del tiempo, especialmente cuando la erosión ha sido tal que ha mermado la capacidad de defensa de las playas, dejando terrenos de cultivo a merced de la invasión marina y las zonas urbanas vulnerables a los embates marinos, se ha ido actuando mediante defensas con visión de solución local del problema.

Si se observa el mapa evolutivo de la costa en este tramo, entre 1956 y 2020, se aprecian grandes zonas con fuerte erosión (norte y centro del tramo), tomando como origen el año 1956 y tan solo un área de fuerte acumulación de sedimento (sur del tramo).

Si se observa la evolución general de la línea de costa se aprecia que las zonas con mayor rigidez, con la presencia de obras de defensa como espigones y dique exentos, han retrocedido menos que aquellas que no lo estaban; pero, probablemente esa rigidez haya alterado más la costa que sin ella. Otros tramos como la playa Sur de Burriana tuvo un gran retroceso entre 1956 y 1981 que obligó a rigidizarla mediante un dique de escollera longitudinal y, por ello, la línea se aprecia estable en la actualidad.

Las áreas con mayor retroceso continuado hasta la actualidad se centran en el sur de Moncófar y norte de Chilches, la playa de La Llosa y Casablanca. Por el contrario, las playas del delta del río Palancia y del Puerto de Sagunto han acumulado gran cantidad de sedimento.

Todas estas descompensaciones sedimentarias son las que deben abordar las actuaciones a plantear en esta tramo, unidas a una tendencia a la uniformidad de comportamiento.

4.2 Soluciones generales de protección y regeneración de playas

Los diferentes tipos de obra que se pueden ejecutar para solucionar los problemas que aparecen en el tramo costero objeto de estudio se van a describir en este apartado. Estas obras tienen como objeto proporcionar diferentes formas de defender, proteger y regenerar el litoral.

Las obras de defensa y protección ayudan a mantener el tramo de costa de la acción del oleaje y tienen como objetivo principal la defensa. Por otro lado, las obras de regeneración tienen como objeto la recuperación de una situación concreta, es decir, volver a tener las condiciones existentes que por unos motivos u otros se han perdido o conseguir un estado de equilibrio de las playas que previamente no existía.

La clasificación de las obras es blandas o duras, según la rigidez de las estructuras. Se definen de la siguiente manera:

- **Obras duras:** Son irreversibles y su desmantelamiento es bastante complicado, si una vez construidas no ofrecen los resultados esperados, la costa puede quedar más dañada de lo que ya estaba inicialmente. Se emplean elementos rígidos para su construcción como bloques de hormigón o escollera.
- **Obras blandas:** Son reversibles y una vez construidas en el caso de no ser eficientes, no empeoran el estado original de la costa. No se emplean elementos rígidos para su ejecución.

No obstante, las actuaciones pueden ser mixtas y tener estructuras rígidas y flexibles. De la misma forma, se puede elaborar una clasificación de las distintas alternativas estructurales:

- **Técnicas estructurales:** Son aquellas en las que se utilizan estructuras rígidas con el objeto de frenar la regresión de la costa y/o forzar el asentamiento de sedimentos. Son estructuras que se posicionan en la línea de costa, en frente de ella o apoyándose en la misma. Son:
 - Defensas longitudinales: malecones, muros, revestimientos
 - Defensas transversales: espigones
 - Defensas exentas: diques exentos, diques arrecifales, diques isla, diques de pie
- **Técnicas no-estructurales:** No son estructuras que se utilicen para frenar la recesión de la costa y/o forzar el asentamiento de los sedimentos. Son obras que pueden encontrarse apoyadas con otras estructuras, que no son de defensa o retención, y que no se apoyan en la costa. Son:
 - Regeneración dunar: escarpe, campo dunar
 - Alimentación artificial
 - Transvase de arenas (terrestre, marítimo, by-pass)
 - Retirada estratégica
 - Otras: algas artificiales, drenaje de playa etc...

4.3 Tipos de alternativas de actuación a considerar

A la hora de abordar un problema costero como el que los sub tramos en los que se ha dividido la costa entre los puertos de Burriana y Sagunto, en los que existe una discordancia entre la cantidad de sedimento existente en el sistema litoral y la dinámica litoral reinante en ellos, se puede optar por tres vías, todas ellas encaminadas a que la dinámica litoral esté en consonancia con el sedimento existente en el sistema y que forma las playas:

1. **Reducir la dinámica litoral lo máximo posible:** esto requiere una rigidización total del sector; impidiendo que el material se mueva de las celdas en las que tiene que compartimentarse la costa. Esta alternativa supone que no se permite el movimiento de sedimentos a lo largo de la franja litoral, al menos en una gran parte.
2. **Aumentar la cantidad de sedimento en el sistema litoral:** con ello compensamos el sedimento con la dinámica litoral; pero ello requiere que a medida que el sedimento se pierde del sistema litoral, se vaya reponiendo o recirculándolo; siendo estas pérdidas directamente proporcionales con la intensidad de la dinámica litoral reinante, lo que quiere decir que si no se repone a la misma velocidad que lo mueve el mar se irán produciendo erosiones que tiendan a volver al estado inicial la costa. Además hay que actuar globalmente y a la vez en el sistema.
3. **Reducir la intensidad de la dinámica litoral:** sería un tipo intermedio entre los anteriores tipos. El objetivo es que el mar mueva el sedimento pero en menores cantidades que en el estado inicial; se realizan apoyos intermedios cortos que permitan que parte del material se mueva a lo largo de la costa y para ello los apoyos no deben llegar a la profundidad de cierre. El porcentaje de material que estos apoyos dejan pasar son proporcionales a la reducción de la profundidad de los apoyos respecto a la profundidad de cierre.

El primero de los métodos no es muy deseable salvo en casos muy específicos; como, por ejemplo, que se quiera aislar un tramo de costa del resto, que tenga una carencia importante de sedimentos... Por ello no se ha contemplado este tipo de alternativas de actuación en el Estudio de Soluciones para el tramo de costa entre los puertos de Burriana y Sagunto.

Los otros dos tipos de actuación que se han tenido en cuenta a la hora de planear la estrategia, alimentación y alimentación con apoyos, para ambos casos se necesita una gestión del sedimento. Esta gestión se puede hacer en dos direcciones, planteadas en dos actuaciones distintas:

Actuación A: Restablecimiento del equilibrio dinámico, mediante el aporte periódico de sedimento que sustituye el caudal sólido fluvial que ya no se vierte y estabiliza el transporte sólido litoral. Se trata de situar puntos de control y seguimiento para detectar las descompensaciones sedimentarias y actuar seguidamente para retroalimentar, esto es extraer el sedimento donde se ha acumulado y verterlo aguas arriba donde se ha erosionado y reponer las pérdidas de material con arenas procedentes del exterior del sistema litoral.

Actuación B: Establecimiento de un equilibrio estático, mediante la construcción de obras de estabilización acompañada de un relleno inicial. De este modo la gestión puede compartimentarse y la periodicidad de las retroalimentaciones son mucho más largas, lo que conlleva un menor gasto en

mantenimiento, seguimiento y control y un estado de la playa óptimo más continuo. Pudiendo actuar solamente en lugares que requieran una demanda de actuación y no en toda la unidad o subunidad.



Figura 74. Esquemas visuales actuación A y B respectivamente

El coste de la actuación A, que implica una labor periódica de mantenimiento, es muy dependiente de la tasa de transporte sólido litoral, mientras que la actuación B depende altamente de la longitud del tramo de costa a estabilizar. Esto implica que la solución óptima para un tramo costero relativamente corto correspondería a la actuación B (equilibrio estático).

Sin embargo, si se tuviera en consideración una mayor longitud de costa, podría resultar preferible la actuación A (equilibrio dinámico), ya que el coste del necesario aporte periódico de sedimentos durante toda la vida útil de las obras sería menor que el de la construcción de las estructuras necesarias para el establecimiento del equilibrio estático de la línea de costa.

Por tanto la longitud del tramo de costa de estudio implica que la actuación B (construcción de obras de estabilización: equilibrio estático) deja de ser la óptima y empieza a serlo la actuación A (aportes periódicos de sedimentos: equilibrio dinámico).

Como se sabe el presente Estudio de Soluciones viene precedido de un aporte de sedimentos planteado para la restitución natural del flujo sedimentario, con lo cual la actuación escogida deberá combinarse y favorecer a la estrategia global de partida.

Para ello, a continuación, se plantean una serie de alternativas escogiendo la vía de actuación A y combinando las técnicas de protección y regeneración de playas anteriormente expuestas, para la obtención de la solución óptima.

4.4 Zonas sensibles entre los puertos de Burriana y Sagunto

Como se ha comentado durante todo el informe anteriormente expuesto, la costa comprendida entre los puertos de Burriana y Sagunto ha sufrido grandes periodos de erosión causando una vulnerabilidad elevada a zonas urbanas y terrenos de cultivo, entre otros; hecho para el cual se ha actuado mediante defensas costeras con visión de solución local.

Si se observa el mapa evolutivo de la costa en este tramo, entre 1956 y 2020, se aprecian grandes zonas con fuerte erosión, tomando como origen el año 1956 y tan solo un área de fuerte acumulación de sedimento como se representa en la siguiente figura:

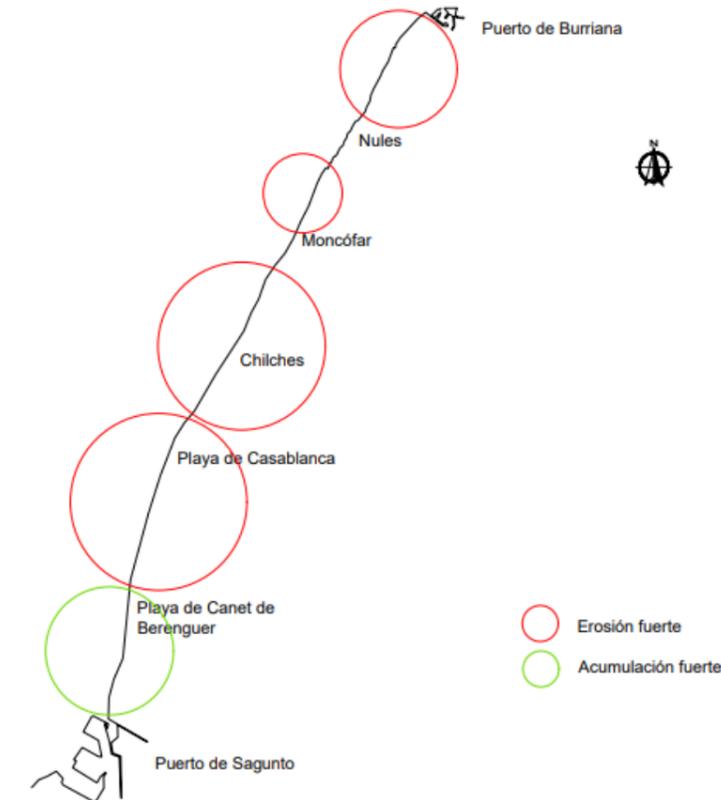


Figura 75. Comportamiento de cada zona según la evolución de la costa (Fuente: elaboración propia)

Se considera que en el año 1956 se agravó la situación de erosión de la costa objeto de estudio por la ubicación de unos puertos en medio de una gran playa con un fuerte transporte longitudinal de sedimentos y la reducción paulatina con el paso de los años de aportes propios del sistema.

Si se observa el plano general de evolución de la costa, se aprecia que las zonas con mayor rigidez, con la presencia de obras de defensa como espigones y dique exentos, han retrocedido menos que aquellas que no se encuentran rigidizadas con apenas obras de protección; pero, probablemente esa rigidez haya alterado más la costa que sin ella.

Los tramos con mayor retroceso continuado hasta la actualidad se centran en el sur del Puerto de Burriana, sur de Moncófar y norte de Chilches, la playa de La Llosa y Casablanca. Por el contrario, las playas de Canet de Berenguer y del Puerto de Sagunto han acumulado gran cantidad de sedimento.

Todas estas descompensaciones sedimentarias junto con la aportación de sedimentos planteada en el proyecto "Estudio de la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el delta del Ebro y el puerto de Denia" (Alguacil. Á., 2020) conforman la motivación de las actuaciones que deben abordar las alternativas a plantear en este tramo de costa, unidas a una tendencia a la uniformidad de comportamiento.

4.5 Alternativas de actuación

Se tiene como visión principal la restitución del flujo sedimentario del tramo de costa en los puertos de Burriana y Sagunto, por lo que, las actuaciones a realizar serán orientadas a facilitar el trascurso natural de los sedimentos a lo largo de la costa y conseguir el perfil de playa original y en equilibrio.

Para ello se propone la aportación de sedimentos de 12.139.000 m³ (relleno inicial) procedentes del yacimiento marino de material que se encuentra a 10 km de la costa de Cullera (Alguacil Á., 2020), y como punto de vertido el sur del Puerto de Burriana, mediante draga de succión en marcha tipo Jumbo, que trabajará entre 5 y 6 meses fuera de la temporada estival. La alimentación de las playas comenzará inmediatamente después del vertido del material sedimentario.

La estrategia de actuación principal para favorecer el flujo natural de sedimentos es retirar estratégicamente las pequeñas obras costeras que impiden ese transcurso natural sedimentario a lo largo del tramo costero. Este tipo de actuación estará presente en cada alternativa, habiendo distintas formas de proceder y de gestionar el material procedente del desmantelamiento de las obras.

Por otro lado, toda actuación que interviene en la costa depende de eventos externos que condicionan el planteamiento de las actuaciones a realizar; de este modo, a continuación, se exponen las alternativas que combinarán determinadas actuaciones según los diferentes escenarios posibles que se planteen.

4.5.1 Criterios de diseño

Conocida la orientación cambiante en planta de todo el tramo de costa objeto de estudio, no se puede garantizar un ancho de playa seca uniforme en todas las playas que lo componen, por lo que se ha establecido como solución que ningún ancho de playa supere los 70 metros y que como mínimo tengan 45 metros de ancho.

Se deben definir tanto el perfil de la playa a regenerar como el ancho de playa seca de la misma. En cuanto al perfil de diseño, la Dirección General de Costas recomienda los siguientes valores de pendiente para cada zona de la playa: 8% para la zona activa, 4% zona de reposo y 1-2 % para el estrán. Por su parte, el ancho de playa seca debe atender a estos criterios:

- Garantizar la cota de inundación.
- Mantener al menos el ancho de playa preexistente.
- Considerar la demanda de superficie para uso lúdico.
- Asegurar que el sedimento sea confortable al usuario.
- Ser estable con formas naturales.
- Ser estable con trasdós rígido.

En cuanto a las tareas de mantenimiento en las alternativas que requieran de rellenos periódicos o dragados, el intervalo máximo que se contemplará serán 2 años y como mínimo, el intervalo entre regeneraciones o aporte de sedimentos será de 1 año.

La cota de coronación de la berma de la playa seca se ha establecido en +2 metros y el tipo de sedimento de aportación ($D_{50} = 0.32$ mm) (Alguacil, Á., 2020) será empleado como aportación en todas las playas.

Teniendo estos últimos criterios en consideración y con lo expresado en este capítulo se procede, a continuación, al planteamiento de las diferentes alternativas mediante la combinación lógica de los distintos eventos externos y consideraciones de diseño.

4.5.2 Alternativa 0: No actuación

La no actuación es una solución a considerar en el planteamiento de regeneración de una playa, ya que, en ocasiones, al intervenir se puede conseguir empeorar la situación. Esta opción consiste en dejar las playas en el estado actual en el que se presentan, por lo que no se resolverían los problemas erosivos existentes y seguro que con el cambio climático la situación empeorará con el paso de los años. Además sería contraproducente al aporte de sedimentos que ya está planteado que se produzca en el tramo de costa objeto de estudio para la restitución del flujo sedimentario de toda la costa valenciana (Alguacil Á., 2020).

4.5.3 Alternativa 1: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa, con reserva de arena estratégica y trasvase de arenas (AT-D-RA-T)

En primer lugar cabe señalar que todas las alternativas están planteadas para dar continuidad y solución a la estrategia global ya definida de restitución de flujo sedimentario en el litoral valenciano descrita por Alguacil (2020); por ello se cuenta en todas ellas con una alimentación artificial marina de arena de 12.139.000 m³ que será repartido en todo el tramo entre los puertos de Burriana y Sagunto. Parte de este volumen de sedimentos se depositará justo al sur del Puerto de Burriana, en la zona de escollera ubicada hasta la playa de Nules, formando lo que de aquí en adelante se llamará “reserva de arena estratégica”, un campo dunar artificial. Los sedimentos dispuestos en el sur del Puerto de Burriana serán progresivamente erosionados y transportados hacia el sur mediante los mecanismos naturales de transporte, alimentando al resto de los tramos de la zona de estudio con unos 315.000 m³/año de arena.

Esta localización de la reserva estratégica de arena a modo de almacenamiento de sedimentos (Taal, M.D et al., 2016) es donde, en 1927, se inició la fuerte onda erosiva del Puerto de Burriana que tanto ha afectado al tramo en estudio. Concretamente esta reserva se ubica al abrigo del contradique sur del puerto, lo que permite aprovechar la escollera actualmente existente como elemento de protección costera si llega a producirse una erosión tal que alcance la posición actual de la línea de costa.



Figura 76. Ubicación de la reserva estratégica de arena.

En la tabla 30 se muestra el volumen contenido inicialmente en la reserva estratégica de arena para esta alternativa de relleno, junto al volumen potencial de transporte de sedimentos, teniendo en cuenta una tasa de transporte de $310.409 \text{ m}^3/\text{año}$ (ya que la tasa máxima de transporte neto en la zona de la reserva es de $310.409 \text{ m}^3/\text{año}$, calculado anteriormente), así como el volumen de sedimento contenido en la reserva de arena al final del periodo de actuación (2 años) suponiendo un trasvase de arenas de $300.000 \text{ m}^3/\text{año}$ procedente del norte del Puerto de Burriana con una periodicidad máxima de 2 años; en el caso de que se recuperara de forma análoga el tramo Puerto de Castellón-Puerto de Burriana.

Alternativa	Volumen inicial en reserva (m^3)	Transporte potencial (m^3)	Volumen final en reserva (m^3)
1	1.588.125	620.818	967.307

Tabla 30. Volumen inicial y final de sedimento contenido en la reserva estratégica de sedimentos de Burriana. Alternativa 1.

A la vista de los valores mostrados en la tabla 30, se observa que disponiendo en la reserva estratégica de arena del relleno inicial y contando con el trasvase periódico del norte del Puerto de Burriana, dicha reserva en ningún momento se quedará totalmente sin sedimentos. Por tanto, no se requiere la aportación inicial ni futura de ningún relleno adicional en esta duna artificial de arena ubicada al sur del Puerto de Burriana.

Con la alimentación artificial inicial establecida por tramos, se pretende crear una playa continua de arena en toda la zona de actuación con ancho mínimo de playa seca de 45 metros; y que la propia acción del oleaje alimente las playas de norte a sur en el tramo erosionando el campo dunar artificial de Burriana, restituyendo el flujo sedimentario natural del mismo.

A continuación, para asegurar el trascurso natural longitudinal de sedimentos se propone la retirada estratégica de las pequeñas obras de defensa que dificultan el paso. Justificando la obsolescencia de su vida útil (más de 25 años de antigüedad) y su ineficiencia ya que los morros de estos espigones se encuentran actualmente entre 1 y 2 metros de profundidad, lo que tampoco consigue dar apoyo al perfil activo de la playa. Por ello se decide el desmantelamiento de las siguientes obras de defensa:

- Playa de Nules: retirada de todos los espigones existentes a excepción de la escollera longitudinal al final de la Playa de Pedra Roja.
- Playa de Moncófár: retirada estratégica de todo los espigones (incluida Playa de Masbó y Tamarit).
- Playa de Chilches (Las Casas y el Cerezo): desmantelamiento de los diques exentos y los espigones más al sur de la playa el Cerezo.

Tras la retirada estratégica de estas obras de defensa ya obsoletas, se trasladará el material procedente de las mismas a la cantera más cercana para proceder a su demolición y posterior reciclado; este procedimiento será objeto de estudio de trabajos posteriores en caso de ser esta la alternativa escogida.

Como ya se ha comentado anteriormente, el transporte de sedimentos se produce de norte a sur, y es por eso por lo que la playa de Canet de Berenguer y la playa del Puerto de Sagunto presentan acumulación de sedimentos justo al norte de ambos puertos. Por ello se propone el trasvase de las arenas depositadas al norte del Puerto de Siles y el Puerto de Sagunto hacia el sur, mediante by-pass fijo por tubería subterránea; que se activará cuando en ambos puertos se llegue al punto de control establecido como máximo para cada uno. Así se garantizará el correcto trascurso del flujo sedimentario (N-S) que se produce en este tramo de costa.

Se ha establecido como punto de control un nivel de alerta (P1) para la acumulación de sedimentos al norte del Puerto de Siles como se muestra en la figura 74, siendo el límite máximo (P2) el nivel de saturación de la playa en la situación actual; de esta forma, cuando el sedimento acumulado alcance el punto P2, se producirá el trasvase mediante tubería al sur del puerto. Este proceso será objeto de estudio de trabajos posteriores en caso de ser esta la alternativa escogida.



Figura 77. Nivel de alerta para la acumulación de sedimentos al norte del Puerto de Siles

El cálculo del volumen de sedimentos acumulado correspondiente a la línea de costa establecida para esta alternativa se muestra en la siguiente tabla:

Alternativa 1	P1 a P2	
L (m)	Área perfil (m ²)	Volumen (m ³)
2.504	501	333.000

Tabla 31. Volumen de sedimentos acumulados al norte del Puerto de Siles desde P1 a P4.

Este volumen de sedimentos expuesto en la tabla anterior es el que está previsto que se trasvase al sur del Puerto de Siles.

Lo mismo sucede con las arenas acumuladas al norte del Puerto de Sagunto, propuesto para trasvase al sur del mismo. Se expone a continuación la localización de su punto de control establecido de la misma forma que lo expuesto para el Puerto de Siles.



Tabla 32. Nivel de alerta para la acumulación de sedimentos al norte del Puerto de Sagunto

De esta forma, cuando el sedimento alcance el punto P2 se producirá el trasvase automático mediante tubería hacia el sur del Puerto de Sagunto. Este proceso será objeto de estudio de trabajos posteriores en caso de ser esta la alternativa escogida.

Con lo cual, la **Alternativa 1** incluye:

- Alimentación artificial marina de 12.139.000 m³ de arena a lo largo del tramo y en la reserva estratégica de arena de Burriana; con aporte (300.000 m³/año) del norte del Puerto de Burriana periódicamente.
- Retirada estratégica de todos los espigones ya obsoletos de las playas de Nules, Moncófar y Chilches, manteniendo las escolleras longitudinales de protección.
- Acopio y movilización del material procedente del desmantelamiento a la cantera más cercana.
- Traspase de arenas del norte del Puerto de Siles al sur del mismo mediante by-pass fijo (315.000 m³/año)
- Traspase de arenas del norte del Puerto de Sagunto al sur del mismo mediante by-pass fijo cuando se acumule el sedimento procedente del norte del tramo.

A continuación se muestra un esquema visual de como sería la solución de esta propuesta de actuación.

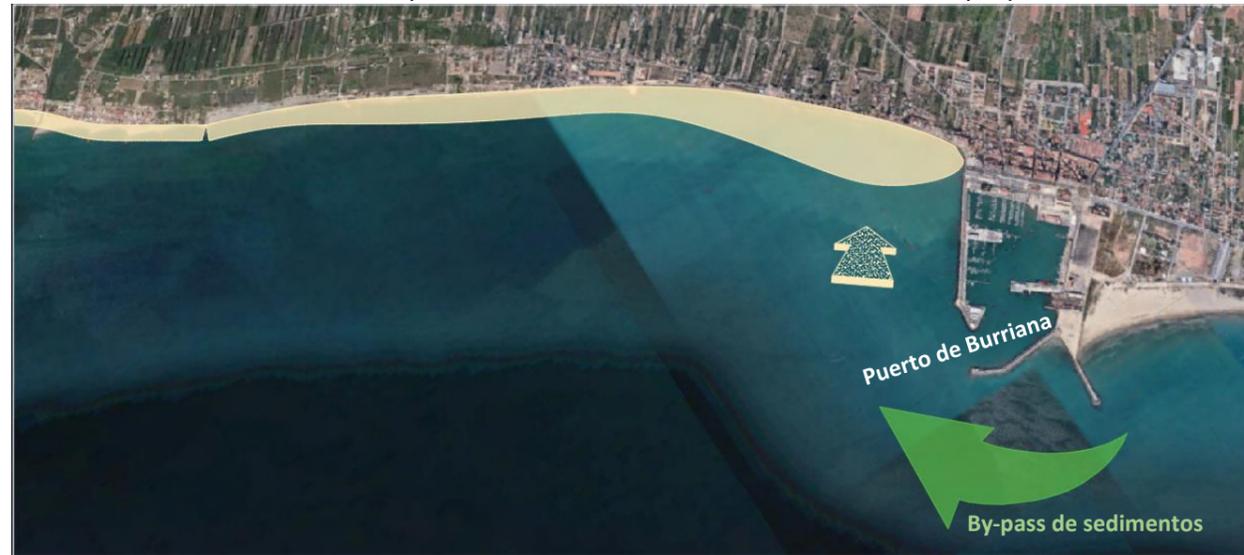


Figura 78. Actuaciones planteadas en Alternativa 1 (Fuente: elaboración propia)

4.5.4 Alternativa 2: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa, con reserva de arena estratégica, trasvase de arenas y reutilización del material desmantelado (AT-D-RA-T-RMD)

Coincidiendo en la estrategia global planteada en la Alternativa 1, la diferencia de esta Alternativa 2 reside en la gestión del material procedente del desmantelamiento de los espigones que se van a retirar durante la regeneración de este tramo de costa. Así pues, se propone plantear una reutilización, por si en caso de que hiciese falta la disposición inmediata de espigones en algún tramo de costa, debido a un temporal o a cualquier otro acontecimiento externo, se disponga con facilidad del material que un día formó esos espigones transversales.

Este planteamiento viene favorecido por otorgar seguridad ciudadana, ya que estos espigones han formado parte de la costa durante más de 40 años, con lo cual, eliminarlos por completo puede crear desconcierto en la sociedad. Pero además parece una buena idea poder aprovechar ese material de desmantelamiento en crear un área o elemento lúdico para los usuarios de las playas en cuestión y poder así disponer rápidamente de este material en caso de emergencia o necesidad.

De este pensamiento surgen las “terrazas lúdicas” que consistirán en el acopio estructurado de aquellos bloques de piedra procedentes del desmantelamiento de los espigones en el trasdós de la playa, generando así una especie de terrazas elevadas respecto a la orilla y que podrán ser de uso y disfrute de los usuarios de la playa.

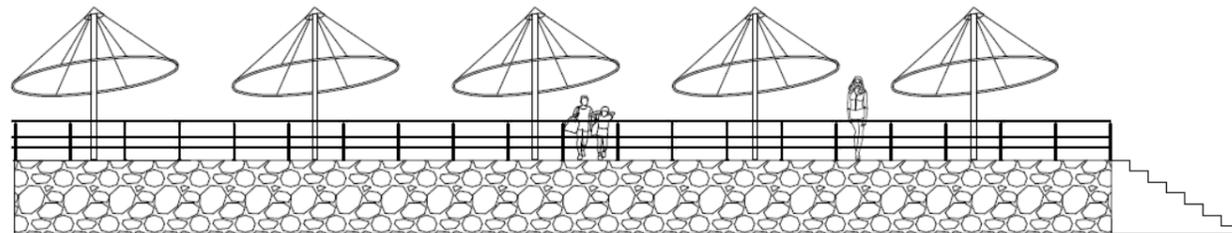


Figura 79. Esquema de la "terrazza lúdica" propuesta en Alternativa 2 (Fuente: elaboración propia)

Esta idea cumple con una doble función de mucha importancia en este tipo de actuaciones, la seguridad y la economía, al poder disponer fácil y rápidamente de los bloques de piedra para volver a generar un espigón y al no tener que acopiar durante tiempo y transportar toneladas de material pesado hasta la cantera más cercana. El planteamiento y construcción de las “terrazas lúdicas” será objeto de trabajos posteriores en caso de ser esta la alternativa elegida.

Estas actuaciones se concentrarán en la zona central y norte del tramo costero objeto de estudio, donde se encuentran la gran mayoría de las pequeñas obras de protección, y en el tramo más sur se deberá verificar que se restituye correctamente el flujo sedimentario y se alcanza el ancho de playa mínimo para todas las playas regeneradas; hasta llegar a la playa de Canet de Berenguer donde al sur de la misma y norte del Puerto de Siles se prevee que se acumule sedimento, al igual que la playa del Puerto de Sagunto (ambas colmatadas en la actualidad).

Por lo expuesto recientemente se propone el mismo procedimiento de trasvase de arenas del norte al sur del Puerto de Siles y del Puerto de Sagunto, siendo los puntos de control (P1 y P2) los mismos que los planteados para la Alternativa 1 para cada uno de los puertos.

Con lo cual, la **Alternativa 2** incluye:

- Alimentación artificial marina de 12.139.000 m³ de arena a lo largo del tramo y en la reserva estratégica de arena de Burriana; con aporte (300.000 m³/año) del norte del Puerto de Burriana periódicamente.
- Retirada estratégica de todos los espigones ya obsoletos de las playas de Nules, Moncófar y Chilches, manteniendo las escolleras longitudinales de protección.
- Construcción de las “terrazas lúdicas” en el trasdós de la playa con el material procedente del desmantelamiento.
- Trasvase de arenas del norte del Puerto de Siles al sur del mismo mediante by-pass fijo (315.000 m³/año)
- Trasvase de arenas del norte del Puerto de Sagunto al sur del mismo mediante by-pass fijo cuando se acumule el sedimento procedente del norte del tramo.

El esquema visual final corresponde al propuesto para la Alternativa 1 añadiendo la disposición exacta de las terrazas lúdicas en el trasdós de las playas que disponen de los espigones a desmantelar. Se realizará un plano completo de esta alternativa en el caso que sea la escogida para desarrollar más adelante.

4.5.5 Alternativa 3: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa, con reserva de arena estratégica y realimentación (AT-D-RA-T-R)

Esta alternativa de actuación propuesta para la recuperación de las playas entre los puertos de Burriana y Sagunto se fundamenta en el hipotético caso de que no se produzca trasvase de arenas procedente del norte del Puerto de Burriana porque no haya sido planteada la recuperación del tramo Puerto de Castellón – Puerto de Burriana. Este acontecimiento hace replantearse el tipo de actuaciones a ejecutar para mantener el equilibrio sedimentario de la costa según la estrategia global de partida.

El punto importante a tratar en esta Alternativa 3 es el hecho de que el Puerto de Burriana continúe siendo una barrera total al transporte de sedimentos y no se produzca un trasvase de sedimentos en un periodo superior a 10 años. Dado que las playas no se encuentran en equilibrio estático si el flujo sedimentario no se restituye correctamente, es necesario la realización de labores de mantenimiento periódicas de relleno y dragado para mantener a lo largo del tiempo un ancho de playa seca mínimo (45 metros) en toda la longitud del tramo de estudio.

El mecanismo de mantenimiento diseñado consiste en la recirculación de los sedimentos acumulados al norte del Puerto de Siles durante el periodo establecido para ser posteriormente depositados en la reserva estratégica de arena de Burriana.

Se plantea, en primer lugar, el retranqueo de la línea de costa en la zona norte del Puerto de Siles, es decir, en las playas de Almardá y Canet de Berenguer. El retranqueo se propone hasta alcanzar la posición que presentaba la línea de costa antes de la construcción del puerto en 1981.



Figura 80. Línea de costa tras el dragado del norte del Puerto de Siles

El volumen de dragado inicial de esta zona será:

Alternativa 3	Dragado norte Puerto de Siles	
L (m)	Área perfil (m ²)	Volumen (m ³)
2505	-1183	-786.407

Tabla 33. Volumen de dragado en la playa de Canet de Berenguer y Almaradá

Una vez conocido el volumen inicial a dragar, este será utilizado para la realimentación de la reserva de arena al sur de Burriana, sabiendo que este volumen deberá ser del orden de 297.000 m³/año (que es la tasa media anual de transporte en la zona sur del tramo costero).

Los niveles de alerta y los puntos de control que se emplearán para realizar el dragado de sedimentos al norte del Puerto de Siles serán los mismos que los propuestos en la Alternativa 1, convirtiéndose P1 en el punto de control para realizar el dragado al cabo de 2 años y siendo el volumen estimado a dragar el acumulado hasta el momento de actuación. Con esto se realizará la realimentación periódica del tramo de costa entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto tratando de mantener una línea de costa de mínimo 45 metros de ancho y restituyendo en la medida de lo posible el flujo natural de sedimentos.

Así mismo, con el fin de disminuir un by-pass de sedimentos de la zona al norte del Puerto de Siles hacia la zona al sur del mismo, se ha previsto la disposición de una trampa de sedimentos frente a la playa de Canet de Berenguer y el propio Puerto de Siles cuyo dimensionamiento será objeto de posteriores trabajos, de ser ésta la alternativa seleccionada como óptima. Por otra parte y ante posibles by-pass de sedimento en la zona indicada previamente, también se ha previsto una segunda área de dragado al frente de la Playa de Sagunto.



Figura 81. Localización del área de dragado secundario en la Playa del Puerto de Sagunto.

Cabe añadir, que esta opción no sería óptima ya que no cumpliría con la estrategia de restituir el flujo sedimentario, ya que esta lógica seguiría la opción de disponer de un trasvase en el Puerto de Sagunto para que las arenas sigan su curso natural hacia el sur.

Y es necesario señalar que aunque el conjunto del sistema de realimentación se haya descrito como cerrado, no existiendo pérdidas de sedimento en todo el tramo costero, debido a procesos transversales de transporte, el transporte eólico de arena u otros fenómenos, es previsible que una porción de la arena erosionada en la reserva de Burriana no pueda ser recuperada con el dragado previsto en las Playas de Canet de Berenguer y Almaradá, de modo que sea necesario realizar aportes periódicos adicionales.

Con lo expuesto, la **Alternativa 3** incluye:

- Alimentación artificial marina de 12.139.000 m³ a lo largo del tramo y en la reserva estratégica de arena de Burriana; y se supone que no se produce trasvase del norte del Puerto de Burriana.
- Retirada estratégica de todos los espigones ya obsoletos de las playas de Nules, Moncófar y Chilches, manteniendo las escolleras longitudinales de protección.
- Construcción de las “terrazas lúdicas” en el trasdós de la playa con el material procedente del desmantelamiento.
- Dragado inicial de las playas de Canet de Berenguer y Almardá: 786 407 m³.
- Realimentación de la reserva estratégica de arenas de Burriana con sedimentos dragados del sur del tramo.
- Dragado de la playa del Puerto de Sagunto en caso de que sea necesario.

A continuación se muestra un esquema visual de como sería la solución de esta propuesta de actuación.

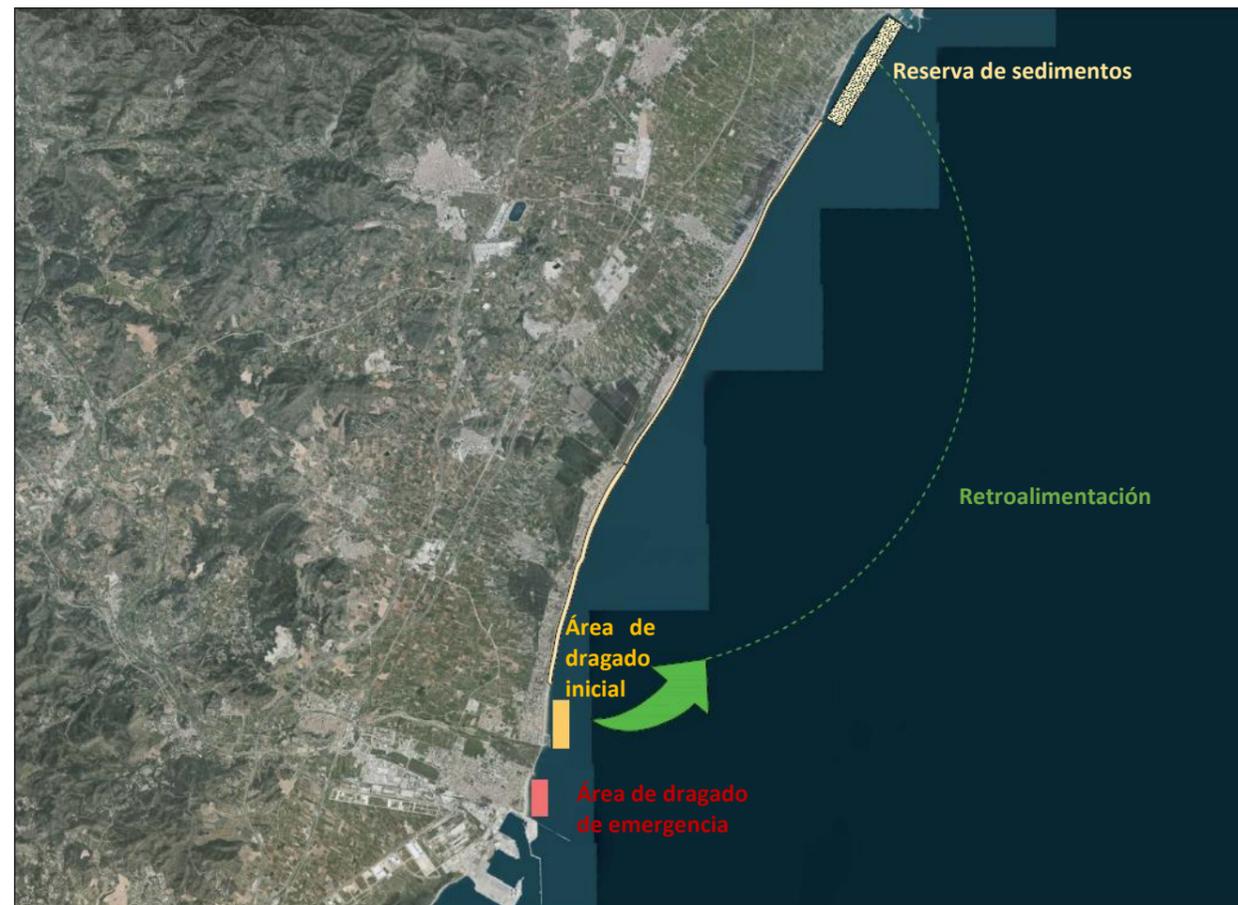


Figura 82. Actuaciones propuestas en la Alternativa 3 (Fuente: elaboración propia)

4.5.6 Alternativa 4: Alimentación artificial de todas las playas simultáneamente

Esta última alternativa compone la solución más convencional al problema de erosión de una playa y al que se lleva recurriendo desde hace años en este tramo costero. Se trata de la regeneración de cada playa erosionada mediante el aporte artificial de sedimentos procedentes de la cantera marina de Cullera (12.139.000 m³ en total).

No se plantea el desmantelamiento de ninguna obra dura (espigones), a pesar de ser elementos que dificultan el transporte de sedimentos y solucionan localmente un problema, pero lo empeoran a nivel global. El mantenimiento de estos espigones favorece el relleno artificial por tramos (playas) entre los puertos de Burriana y Sagunto.

Este reparto artificial de sedimentos procedentes de la cantera marina de Cullera se realizará siguiendo la dirección de la dinámica litoral natural (norte-sur), y quedando el orden de priorización de actuación de la siguiente foma:

- I. Playa sur del Puerto de Burriana – Playa de Nules
- II. Playa de Nules – Playa de Moncófar
- III. Playa de Moncófar – Río Belcaire
- IV. Río Belcaire – Playa de La Llosa
- V. Playa de La Llosa – Playa de Casablanca

En la playa de Canet de Berenguer y la playa del Puerto de Sagunto no se plantea el aporte de sedimentos puesto que ambas se encuentran en un estado de colmatación, y dado que el propio flujo natural de sedimentos seguirá acumulando arena en ambas playas (al norte de los puertos de Siles y Sagunto respectivamente) se propone el trasvase de arenas al sur de ambos puertos mediante el sistema de by-pass fijo como se ha planteado en alternativas anteriores, para favorecer así la estrategia global de restituir el flujo natural sedimentario.

El volumen de sedimentos que se aporte a cada playa será objeto de trabajos posteriores en caso de ser esta la alternativa escogida como óptima.

El funcionamiento del by-pass fijo planteado en los puertos de Siles y Sagunto responde al mismo funcionamiento que el planteado en la Alternativa 1, con los mismos puntos de control.

Con lo expuesto, la **Alternativa 4** incluye:

- Alimentación artificial marina de 12.139.000 m³ de arena repartido entre las playas que lo soliciten en el tramo costero objeto de estudio (playa de Nules, playa de Moncófar, playa de Chilches, playa de La Llosa y playa de Casablanca).
- Revisión del buen estado y mantenimiento de los espigones y escolleras longitudinales existentes.
- Trasvase de arenas del norte del Puerto de Siles al sur del mismo mediante by-pass fijo (300.000 m³/año).
- Trasvase de arenas del norte del Puerto de Sagunto al sur del mismo mediante by-pass fijo cuando se acumule el sedimento procedente del norte del tramo.

A continuación se muestra un esquema visual de como sería la solución de esta propuesta de actuación.

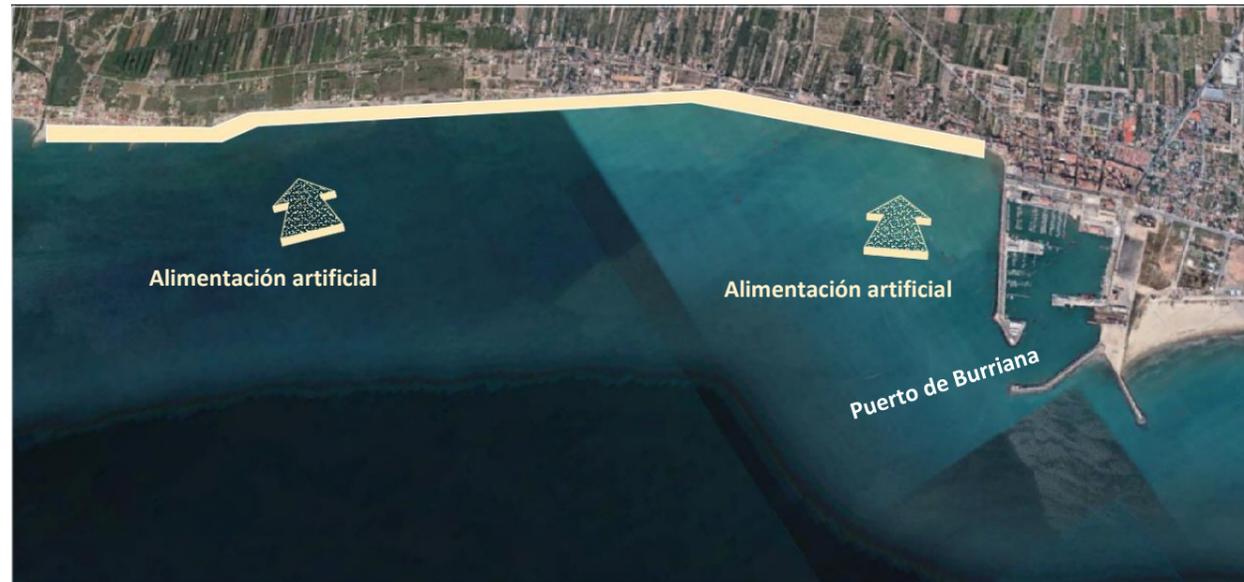


Figura 83. Actuaciones propuestas en la Alternativa 4 (Fuente: elaboración propia)

RESUMEN ALTERNATIVAS		
Estrategia común (1, 2 y 3)	- Alimentación artificial marina de 12.139.000 m ³ de arena a lo largo del tramo y en la reserva estratégica de arena de Burriana; con aporte (300.000 m ³ /año) del norte del Puerto de Burriana periódicamente. - Retirada estratégica de todos los espigones ya obsoletos de las playas de Nules, Moncófar y Chilches, manteniendo las escolleras longitudinales de protección	
ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
-Acopio y movilización del material procedente del desmantelamiento a la cantera más cercana. -Trasvase de arenas	- Construcción de las “ terrazas lúdicas ” en el trasdós de la playa con el material procedente del desmantelamiento. -Trasvase de arenas	- Sin trasvase del norte del Puerto de Burriana. - Dragado inicial de las playas de Canet de Berenguer y Almardá. -Realimentación de sur a norte del tramo.
ALTERNATIVA 4	-Alimentación artificial marina de 12.139.000 m ³ de arena repartido entre las playas erosionadas del tramo. -Revisión y mantenimiento de los espigones y escolleras existentes. -Trasvase de arenas.	

Tabla 34. Resumen de alternativas

5. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

En el presente apartado se procede al análisis de las alternativas planteadas mediante un análisis multicriterio en el que se plantearán una serie de criterios de valoración para todas las alternativas, obteniendo una puntuación que jerarquice cada una de ellas con intención de seleccionar la más óptima.

A continuación se definen los criterios por los cuales se van a medir y valorar las alternativas propuestas. Se fija también el peso que cada criterio tendrá sobre la decisión final. El objeto de este análisis multicriterio es, como se ha expuesto anteriormente, obtener cual será la solución óptima para la regeneración artificial y restitución del flujo sedimentario de las playas comprendidas entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto.

En la tabla 34 se muestran los criterios de referencia escogidos para su evaluación en cada alternativa y la influencia de cada uno de ellos.

Criterio	Valor
Funcionalidad (C.F)	35%
Medioambiental (C.Ma)	25%
Económico (C.Eco)	20%
Estético (C.E)	20%

Tabla 35. Criterios de valoración y pesos

Por lo que la valoración final (V.F) se calculará a través de la siguiente expresión resultante:

$$V.F = 0.35 \cdot C.F + 0.25 \cdot C.Ma + 0.2 \cdot C.Eco + 0.2 \cdot C.E$$

Según lo que se obtenga mediante la anterior formulación, se establece la clasificación para las distintas alternativas, quedando esta de la siguiente manera:

VALORACIÓN FINAL	CLASIFICACIÓN
≥ 90	Óptima
70 ≤ V.F < 90	Buena
40 ≤ V.F < 70	Aceptable
< 40	Deficiente

Tabla 36. Clasificación según valoración final

A continuación se procede a la descripción de cada criterio y como se evaluará gradualmente para cada alternativa.

5.1 Criterio de funcionalidad (C.F)

Tanto las alternativas propuestas como la alternativa óptima seleccionada se evaluarán según la eficiencia con la que se soluciona la problemática existente en la zona. Para la valoración del criterio funcional se adoptará una escala del 0 a 100, de la siguiente forma:

VALOR	CRITERIO FUNCIONAL (C.F)
100	Solución óptima al problema
60	Solución buena pero con afección a un condicionante
30	Solución parcial a la problemática
0	No resuelve el problema

Tabla 37. Escala de valor del criterio funcional

5.2 Criterio medioambiental (C.Ma)

Este criterio es un paso previo al estudio ambiental que se realizará más adelante; se evalúa cuantitativamente el impacto producido por cada alternativa en tramo objeto de estudio.

VALOR	CRITERIO MEDIOAMBIENTAL (C.Ma)
100	Muy poco impactante
60	Poco impactante
30	Muy impactante
0	Inadmisibile

Tabla 38. Escala de impacto del criterio medioambiental

5.3 Criterio económico (C.Eco)

Se estima que la ejecución y mantenimiento de la solución óptima esté comprendida dentro de un presupuesto razonable. El análisis económico se efectuará por estudio comparativo, es decir, para cada alternativa se calcularán los costes aproximados y se compararán con la media de todas las alternativas.

VALOR	CRITERIO ECONÓMICO (C.Eco)
100	No necesita inversión
60	Inversión moderada
30	Inversión elevada
0	Inversión excesiva

Tabla 39. Escala de valor del criterio económico

5.4 Criterio estético (C.E)

La solución adoptada como óptima debe ser atractiva para los usuarios de las playas del tramo costero. Se establece como principal factor que afecta a este criterio el material sedimentario de alimentación artificial escogido, así como la no obstrucción visual al horizonte desde la playa seca.

VALOR	CRITERIO ESTÉTICO (C.E)
100	Muy agradable para el usuario
60	Aceptable pero escasa calidad visual
30	Indiferente
0	Desagradable para el usuario

Tabla 40. Escala de valor del criterio estético

6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA

Una vez planteadas las alternativas y los criterios que las valorarán, se procede a realizar el análisis de soluciones objeto de este trabajo.

Cabe mencionar que el presente estudio de soluciones no debe ser entendido como una descripción detallada ni constructiva de todas las alternativas, sino como una herramienta de selección objetiva de la solución óptima a la problemática que se nos presenta en el tramo costero comprendido entre los puertos de Burriana y Sagunto.

6.1. Alternativa 0: No actuación

Esta alternativa que plantea la no intervención en la zona y que por tanto consiste en dejar las playas en el estado actual en el que se presentan, no resolvería los problemas erosivos existentes y seguro que con el cambio climático la situación empeorará con el paso de los años.

○ Criterio funcional

Al no realizar ninguna intervención en las playas, la problemática existente de regresión cada vez iría creciendo y reduciría el ancho de la playa cada año más; y la afección del cambio climático que empeorará la situación actual.

○ Criterio medioambiental

La no actuación de en las playas no supondría un fuerte impacto, a pesar de que la regresión que sufre la zona aumentará con el paso de los años y esto puede suponer la pérdida de flora y fauna presente en las playas, así como del cordón dunar existente. Cabe destacar que el estado actual de este tramo de costa no es el "natural" y es la situación que, precisamente, persigue el presente trabajo.

○ Criterio económico

Como es evidente, una alternativa de "no actuación", tiene un coste presupuestario de 0€, pero por otro lado, hay que tener en consideración que al no actuar los problemas actuales de regresión de las playas se seguirán agravando y por tanto el coste de mantenimiento de una situación de "no equilibrio" será alto.

○ Criterio estético

A lo largo del tramo se distinguen varias zonas con graves problemas de erosión, lo que provoca la degradación visual además de la sensación de inquietud para los usuarios y vecinos de las mismas. La no actuación aumentará la sensación de playa inestable y dañada.

➤ Valoración final

ALTERNATIVA 0		
CRITERIO	VALORACIÓN	OBSERVACIONES
C.F	0	No soluciona el problema
C.Ma	30	Muy impactante a largo plazo
C.Eco	70	Sin inversión inicial, pero alto coste de mantenimiento
C.E	20	Aumenta la visión y sensación desagradable para el usuario
V.F	25,5	DEFICIENTE

Tabla 41. Valoración final Alternativa 0.

6.2 Alternativa 1: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa, con reserva de arena estratégica y trasvase de arenas (AT-D-RA-T)

Esta alternativa consiste en la aportación de 12.139.000 m³ al sur del Puerto de Burriana para la creación de la reserva estratégica de sedimentos que repartirá, por la dinámica litoral natural, los sedimentos hacia el sur del tramo objeto de estudio; haciendo recrecer así el ancho de las playas erosionadas. Para esta estrategia de restitución del flujo sedimentario entre los puertos de Burriana y Sagunto se plantea también el desmantelamiento de las obras de defensa obsoletas y transporte del material excedente a la cantera más próxima. Además del trasvase hacia el sur de los sedimentos acumulados al norte de los puertos de Siles y Sagunto para garantizar el transcurso natural sin interrupciones del flujo sedimentario.

○ **Criterio funcional**

Esta alternativa podría ser una solución para la estrategia global planteada de la restitución del flujo sedimentario en el tramo costero entre los puertos de Burriana y Sagunto puesto que elimina las obras de defensa que obstaculizan el transporte de sedimentos y recarga el norte del tramo con un gran volumen de arena para que la propia dinámica litoral haga el reparto. Lo único, la eliminación total de las obras de defensa sin ningún plan de contingencia en caso de emergencia podría empeorar la situación en caso necesidad provocada por un evento externo.

Los trasvases de by-pass fijo ubicados en los puertos de Siles y Sagunto solucionarán el exceso de sedimentos localizado al norte de ambos y favorecerá el transporte litoral de sedimentos hacia el sur.

○ **Criterio medioambiental**

La aportación del volumen de arena al sur del Puerto de Burriana provocará un impacto moderado al principio, pero a largo plazo generará un impacto ambiental muy positivo puesto que se fomentará la aparición de nuevos ecosistemas marinos incluso fauna terrestre que ocupará esta nueva área litoral. La retirada y transporte terrestre de las obras de defensa provocará una situación de ruido y polvo durante las semanas de trabajo.

○ **Criterio económico**

Esta alternativa requiere una inversión elevada al principio, puesto que la maquinaria marítima tiene un coste muy alto. Además el transporte del material que se vaya desmantelando a la cantera más cercana supondrá un coste continuo mientras duren los trabajos. A esto se le suma los costes de mantenimiento que requieren este tipo de actuaciones en los años posteriores.

En general se trata de una actuación con coste muy elevado pero viable para la consecución de la estrategia planteada.

○ **Criterio estético**

La generación de una nueva zona de playa (sur del Puerto de Burriana) general un elevado impacto visual favorable para los usuarios y vecinos de la zona, puesto que igualará el paisaje de la costa y favorecerá la sensación de amplitud y seguridad en el horizonte. Lo mismo sucederá con el desmantelamiento de las obras de defensa que despejará la visión sin interrupciones de la costa.

➤ **Valoración final**

ALTERNATIVA 1		
CRITERIO	VALORACIÓN	OBSERVACIONES
C.F	60	Solución buena pero sin plan de contingencia en caso de emergencia
C.Ma	50	Bajo impacto negativo inicial; buen impacto ambiental futuro
C.Eco	30	Inversión inicial elevada y gastos de mantenimiento a largo plazo
C.E	100	Muy agradable para usuarios y vecinos de todas las playas
V.F	59,5	ACEPTABLE

Tabla 42. Valoración final Alternativa 1

6.3. Alternativa 2: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa, con reserva de arena estratégica, trasvase de arenas y reutilización del material desmantelado (AT-D-RA-T-RMD)

La Alternativa 2 planteada se fundamenta en los mismos principios que la Alternativa 1 pero se modifica la gestión del material procedente del desmantelamiento de los espigones existentes en cada playa. Se plantea aprovechar este material y crear unas “terrazas lúdicas” con el mismo, que se ubiquen en el trasdós de la playa y que cumplan con una doble función: seguridad y economía en caso de emergencia; formando así un plan de contingencia en caso de que se precise de la ejecución de espigones de manera inmediata. El resto de actuaciones (reserva estratégica de arena y by-pass fijo de sedimentos) para esta alternativa coinciden con las planteadas en la Alternativa 1.

○ **Criterio funcional**

Esta solución favorece la consecución de los objetivos de la estrategia global planteada ya que mediante el desmantelamiento de los espigones y el by-pass fijo de norte a sur en los puertos de Siles y Sagunto elimina los obstáculos para que el flujo sedimentario litoral se restituya y siga su curso natural. Además aprovecha el material procedente del desmantelamiento integrándolo favorablemente en las playas y siendo de fácil disposición en caso de que sea necesario.

○ **Criterio medioambiental**

Impacto moderado al inicio y muy positivo a largo plazo; contribución con las ODS con el aprovechamiento del material de desmantelamiento que tendrán un bajo impacto ambiental durante la ejecución de las “terrazas lúdicas”.

○ **Criterio económico**

Inversión elevada al principio, pero menor que la Alternativa 1, al no tener que transportar a cantera el material procedente de los espigones y ser aprovechados para otro fin. Hay que sumar también los costes de mantenimiento.

○ **Criterio estético**

En general, impacto visual favorable con la creación de nueva playa y la ampliación del ancho en planta del resto de playas, así como la sensación de amplitud visual en el horizonte debido a la retirada de espigones. Impacto visual más notable respecto a las “terrazas lúdicas” pero prácticamente indiferente, ya que se compensa con la connotación de seguridad añadida.

➤ **Valoración final**

ALTERNATIVA 2		
CRITERIO	VALORACIÓN	OBSERVACIONES
C.F	90	Solución buena con plan de contingencia en caso de emergencia

C.Ma	80	Bajo impacto negativo inicial y contribución a ODS; muy buen impacto ambiental futuro
C.Eco	40	Inversión inicial elevada y gastos de mantenimiento a largo plazo
C.E	85	Muy agradable para usuarios y vecinos de todas las playas pero impacto visual moderado provocado por las "terrazas lúdicas"
V.F	76,5	BUENA

Tabla 43. Valoración final Alternativa 2

6.4 Alternativa 3: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa con reserva de arena estratégica y realimentación (AT-D-RA-T-R)

Para esta alternativa que parte de la creación de la reserva de arena al sur del Puerto de Burriana, se supone que no recibe ningún aporte adicional procedente del excedente de sedimentos del norte del mismo puerto, lo cual interrumpe el flujo natural sedimentario y para lo cual se ha de actuar adicionalmente. Por ello el mecanismo de mantenimiento diseñado consiste en la recirculación de los sedimentos acumulados al norte del Puerto de Siles durante el periodo establecido para ser posteriormente depositados en la reserva estratégica de arena de Burriana. Esto se consigue mediante el dragado en el Puerto de Siles y la realimentación al norte del tramo.

- **Criterio funcional**

A pesar de tener puntos favorables esta alternativa, planteando la realimentación se va en contra de lo propuesto por la estrategia global, que es restituir el flujo natural de la zona, y esto sería que los sedimentos siguieran su curso hacia el sur sin interrupciones. Por ello crear un circuito cerrado de regeneración artificial y realimentación del mismo tramo no es la solución óptima buscada para este problema.

- **Criterio medioambiental**

Fuerte impacto debido a las labores de retroalimentación periódicas del sur al norte del tramo debido a la maquinaria marina a emplear y los trabajos de dragado y vertido que se deberían realizar.

- **Criterio económico**

Gran inversión inicial y elevados costes de trabajos de mantimientos periodicos (cada año) debidos a la retroalimentación y control de sedimentos.

- **Criterio estético**

Buen impacto visual por lo expuesto en las alternativas anteriores pero molestias visuales para los usuarios de la playa debido a los trabajos continuos con maquinaria que se precisa para esta alternativa.

➤ **Valoración final**

ALTERNATIVA 3		
CRITERIO	VALORACIÓN	OBSERVACIONES

C.F	30	Solución parcial al problema pero en contra de la estrategia global
C.Ma	30	Muy impactante en el entorno
C.Eco	40	Inversión inicial elevada y gastos de mantenimiento a largo plazo
C.E	60	Aceptable pero escasa calidad visual debido a labores periódicas
V.F	38	DEFICIENTE

Tabla 44. Valoración final Alternativa 3

6.5. Alternativa 4: Alimentación artificial de todas las playas simultáneamente

La Alternativa 4 es la más convencional de todas las soluciones, y plantea la alimentación artificial de todas las playas erosionadas con el volumen (12.139.000 m³) de arena procedente del yacimiento marino de Cullera y simultáneamente. Se conservarán y revisarán los espigones existentes para que estén en buen estado; al igual que se vuelve a proponer el by-pass fijo hacia el sur del volumen de arena acumulado al norte de los puertos de Siles y Sagunto para favorecer el transcurso natural del flujo sedimentario litoral.

- **Criterio funcional**

Obviamente esta alternativa soluciona de manera temporal el problema erosivo puntual de cada playa que conforma el tramo objeto de estudio, pero sin plantear el desmantelamiento de las obras de defensa no se garantiza la restitución del flujo sedimentario en la zona, ya que estas son barreras que impiden el transcurso natural. Además al cargar un volumen determinado en cada playa por separado, se pierde el concepto de una unidad fisiográfica que se busca en la estrategia global de partida.

- **Criterio medioambiental**

En cuanto al criterio ambiental, sus principales afecciones negativas será el posible aterramiento de comunidades bentónicas situadas en la zona, a causa de la prolongación de la línea de playa mar a dentro. Además, al no desmantelar los espigones, las corrientes marinas pueden verse afectadas y se producirá el efecto barrera en el transporte sólido litoral.

- **Criterio económico**

Esta actuación es la más económica de todas las propuestas, después de la "no actuación" ya que tan solo se ejerce la acción de vertido de arena y la implantación de los sistemas de by-pass fijo en los puertos correspondientes. Así mismo, también se ve reducido el coste en la fase de proyecto, puesto que la complejidad entre esta alternativa y las siguientes, es considerablemente menor. Por otro lado y puesto que en los costes económicos también se incluyen los costes de mantenimiento, cabe resaltar que es una actuación inestable y sensible a la erosión, por lo que tendría un coste de mantenimiento alto, basado en realimentación artificial periódica.

- **Criterio estético**

Se mejora relativamente el impacto visual de cada una de las playas puesto que se generará una sensación de playa ancha y estética. Pero la sensación no será de continuidad en el horizonte puesto

que seguirán estando presentes todas las obras duras de defensa y escolleras longitudinales ya existentes. Esto provoca que la sensación general sea indiferente o casi inapreciable para los usuarios.

➤ Valoración final

ALTERNATIVA 3		
CRITERIO	VALORACIÓN	OBSERVACIONES
C.F	30	Solución parcial al problema pero no favorece la estrategia global
C.Ma	20	Muy impactante en el entorno
C.Eco	50	Inversión inicial moderada pero altos costes de mantenimiento
C.E	40	Indiferente para usuarios y vecinos
V.F	33,5	DEFICIENTE

Tabla 45. Valoración final Alternativa 4

6.6. Solución óptima

Una vez analizadas todas las alternativas propuestas mediante el criterio de estudio de soluciones seleccionado, se ha obtenido que la solución óptima para la regeneración artificial de las playas entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto, siguiendo la estrategia global de restitución del flujo sedimentario litoral, es la **Alternativa 2: Alimentación artificial por tramos y desmantelamiento de obras de defensa, con reserva de arena estratégica, trasvase de arenas y reutilización del material desmantelado.**

Esta será la solución que se va a desarrollar en profundidad y para la que se va a plantear el plan de trabajo en los apartados posteriores.

7. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Para el desarrollo de la Alternativa 2 se va a comenzar por el dimensionamiento de la alimentación artificial de arenas en cada una de las subunidades fisiográficas en las que se ha dividido todo el tramo.

7.1 Alimentación artificial

7.1.1 Zonas de playa seca

La Dirección General de Puertos y Costas (1985) en su estudio de zonificación de playas, establece que la playa se puede dividir en tres zonas diferenciadas:

- **Zona activa o de inmersión:** “Franja de arenas más próxima a la orilla que debe permanecer libre en casi toda su longitud, para favorecer la inmersión y tránsito de los bañistas”. El ancho de esta zona viene impuesto por la carrera de mareas o, si la playa no es sensible a estas, se fijará una anchura mínima de 10 metros. En el caso de que la playa cuente con una anchura mayor a 40 metros, se podrá ampliar el ancho de la zona activa hasta 10 metros más; mientras que si es menor a 20 metros, esta se reducirá a 6 metros de ancho. Tal y como se establece: “una buena práctica es dejar como zona activa un tercio del total del ancho de la playa, sin bajar nunca de los 6 metros”. Una forma de obtener esta anchura es a partir del valor del run-up y de la pendiente (8% recomendado) de la playa.

- **Zona de reposo o inactiva:** “Es inmediata y paralela a la anterior en la que se permite la colocación de elementos portátiles que faciliten la permanencia a los usuarios”. En el mediterráneo, se considera que la anchura óptima es de 25 metros, pudiendo variar en función de las dimensiones de la playa, pero sin superar nunca los 100 metros.
- **Zona de espacios libres o de servicios:** “Conjunto de terrenos inmediatos a la zona de reposo por el lado de tierra y limitada por el final de la playa”. Constituye la separación de la zona urbana y la zona de reposo de la playa. Se dejará una amplitud aproximada de 10 metros como margen de resguardo, que servirá para equilibrar la playa en caso de temporales. Si existe cordón dunar, esta zona podrá ser menor.

Del mismo modo, el perfil de una playa está compuesto por cuatro zonas:



7.1.2 Perfil de playa desesable

El principal objetivo del presente apartado de alimentación artificial es calcular el aporte de arena que será necesario realizar para conseguir el perfil esperado de la playa. Para ello se ha establecido un perfil final único de playa para todo el tramo, con un nuevo frente litoral mínimo de 40 metros para todas las playas que lo conforman, siendo justificado este ancho con los mínimos recomendados expuestos anteriormente.

Teniendo en cuenta que la gran mayoría de las playas que componen el tramo objeto de estudio no cuentan con la anchura mínima recomendada de playa seca y que el cordón dunar ocupa la mayor parte de esta anchura, es necesario avanzar la línea de costa hasta obtener el nuevo frente litoral establecido como óptimo (45 metros de playa seca).

De esta forma la playa seca tendrá una anchura mínima deseable de 45 metros y una pendiente aproximada del 8%.

Al tener que regenerar simultáneamente gran longitud de costa se ha dividido en tres subunidades fisiográficas, establecidas en el apartado 3. *Zonificación para la estrategia de actuación* para calcular el volumen de arena necesario de aportación para cada zona y que se alcance así el perfil único establecido para todo el tramo. Los subtramos son:

- Puerto de Burriana – Playa de Casablanca (Almenara)
- Playa de Casablanca (Almenara) – Puerto de Siles (Canet de Berenguer)

- Puerto de Siles (Canet de Berenguer) – Puerto de Sagunto

A continuación se hacen los cálculos justificativos pertinentes para cada subunidad definida.

7.1.3 Cálculo del Run-up

Se define Run-Up como la cota de la playa seca que alcanza una ola en condiciones de rotura. Para su cálculo se empleará la formulación de Longuet- Higgins y Stewart, que establece:

$$S = 0,19 \cdot \left(1 - 2,82 \cdot \sqrt{\frac{H_c}{g \cdot T^2}} \right) \cdot H_c$$

Siendo:

- S: Valor del Run - Up
- H_c : Altura de ola en condiciones de rotura
- T: Periodo de la ola de altura de rotura H_c
- g: Aceleración de la gravedad

Cuando se están realizando cálculos del perfil de la playa se debe utilizar la altura de ola cuando rompe en la línea de costa. Se tienen varios criterios de ruptura del oleaje (considerado regular). En el presente trabajo se recurrirá a los que consideran las características batimétricas (pendiente de la playa) y el peralte que se tiene en la zona off-shore de cada subtramo definido. Para estos cálculos se toma la altura de la ola significativa en aguas profundas de cada zona. También, según los cálculos, se tomará en la zona de rompientes (zona poco profunda) la pendiente media de $m=2\%$.

Se procede a calcular la altura de ola significativa en aguas profundas para todo el tramo definido, necesaria para la obtención de los criterios de rotura del oleaje. Posteriormente se asumirá esta altura de ola significativa en aguas profundas para la obtención de la cota inundación de todo el tramo y justificar así un ancho de playa activa óptimo de todas las playas.

➤ Cálculo de altura significativa en aguas profundas (H_{s0})

La norma a seguir para el cálculo de la altura de ola significativa es la ROM 0.3-91. En particular se utilizarán los cuadros D y E de la hoja del área VII que se corresponde con la zona de Valencia I, cuyos registros representan medidas obtenidas a profundidades intermedias.

- Cuadro D: “Regímenes Extremales Escalares”.
- Cuadro E: “Correlación para los temporales entre alturas de olas y periodos”.

Finalmente, a partir de los regímenes extremales y del periodo de retorno establecido para la actuación es posible obtener H_{s0} .

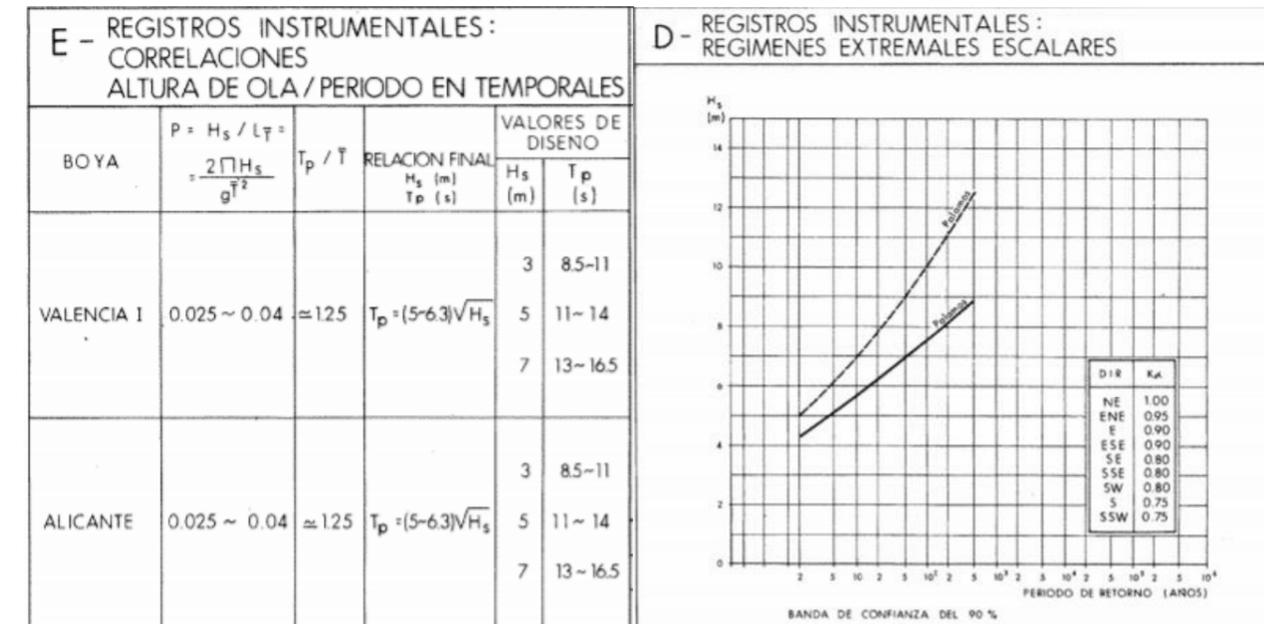


Figura 84. Cuadro E y D del Atlas de Clima marítimo zona de Valencia I. (Fuente: ROM 0.3-91)

Se calculará a continuación la altura de ola significativa en aguas profundas para un periodo determinado con una dirección determinada, se obtendrá de la siguiente formula:

$$H_{s,o} = H_{s,r} \cdot \frac{K_\alpha}{K_r}$$

Donde:

$H_{s,o}$: Altura de ola significativa en aguas profundas asociada a un periodo de retorno (para una dirección determinada)

$H_{s,r}$: Altura de ola significativa asociada a un periodo de retorno obtenida del régimen extremal escalar instrumental

K_α : Coeficiente de reparto direccional para la dirección considerada

K_r : Coeficiente de refracción-shoaling en el punto de medida para la dirección considerada, y el periodo establecido asociado a dicha altura de ola

Las siguientes tablas presentan los valores de los coeficientes de K_α y K_r , obtenidos a partir de la ROM 0.3-91 concretamente la Tabla 2.7.1:

COEFICIENTE DE REFRACCIÓN-SHOALING (K_r)								
ÁREA	PUNTO DE MEDIDA	DIR ^{T(s)}	7	9	11	13	15	17
VII	VALENCIA	NE	0,94	0,88	0,87	0,83	0,87	-
		ENE	0,94	0,9	0,79	0,75	0,8	-
		E	0,94	0,94	0,93	0,95	0,98	-
		ESE	0,94	0,91	0,93	0,95	0,96	-
		SE	0,94	0,89	0,89	0,89	0,89	-

Tabla 46. Valores de K_r (Fuente: ROM 03-91)

COEFICIENTE DIRECCIONAL (K_α)	
NE	1
ENE	0,95
E	0,9
ESE	0,9
SE	0,8
SSE	0,8
SW	0,8
S	0,75
SSW	0,75

Tabla 47. Valores de K_α (Fuente: ROM 03-91)

Para calcular, por lo tanto, la altura de ola significativa en aguas profundas, se obtendrá utilizando los datos de las tablas 45 y 46 y, al mismo tiempo, se recurrirá a la información obtenida de la Boya de Valencia (Puertos del Estado, 2021) para poder extraer la altura de ola significativa.

Boya de Valencia

Acceso a datos	Información
Longitud	0.20° E
Latitud	39.51° N
Cadencia	60 Min
Código	2630
Profundidad	260 m
Inicio de medidas	15-9-2005
Última medida	8-7-2021
Tipo de sensor	Direccional Met-Oce
Modelo	SeaWatch
Conjunto de datos	REDEXT



Figura 85. Información relativa a la Boya de Valencia (Fuente: Puertos del Estado, 2021)

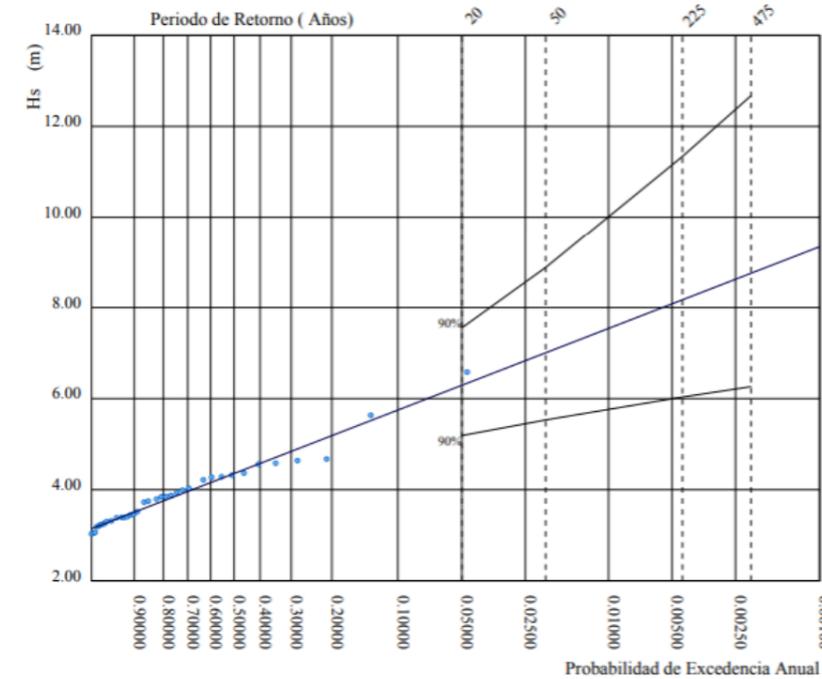


Figura 86. Régimen extremal escalar de oleaje (parámetro altura significativa) (Fuente: Puertos del Estado, 2021)

A continuación, se procede a calcular el periodo medio considerado para cada periodo de retorno ($T_p(s)$), mediante la fórmula que se proporciona en el cuadro E de la ROM 0.3-91. Para ello se calculará T_p min y T_p max, y posteriormente el valor medio entre ambos.

$$T_p \text{ min} = 5 \cdot \sqrt{H_s} \quad T_p \text{ max} = 6,3 \cdot \sqrt{H_s}$$

La siguiente tabla refleja las alturas de ola significativa en aguas profundas, para un periodo de retorno, $H_{s,r}$, y dirección; así como sus respectivos T_p min y max calculados.

T	2	5	10	20	50	100	
$H_{s,r}$	2,0	2,8	3,2	4,6	5,0	5,5	
T_p,min	7,1	8,4	8,9	10,7	11,2	11,7	
T_p,max	8,9	10,5	11,3	13,5	14,1	14,8	
$H_{s,o}$	NE	2,3	3,2	3,7	5,2	5,8	6,3
	ENE	2,1	3,4	3,8	5,4	6,0	6,5
	E	1,9	1,9	3,1	4,2	4,6	5,1
	ESE	2,0	2,7	3,1	4,3	4,7	5,2
	SE	1,8	2,5	2,9	4,1	4,5	4,9
	SSE	0	0	0	0	0	0
	SW	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0
	SSW	0	0	0	0	0	0

Tabla 48. $H_{s,o}$ asociado a una dirección y periodo de retorno (Fuente: elaboración propia)

De la Tabla 47, se extrae que la altura de ola significativa en aguas de profundas, para un periodo de retorno $T=50$ años, que se va a utilizar como referencia en todo el tramo objeto de estudio será $H_{s,o}=6$ metros.

Volviendo a la ROM 0.3-91 se determinará el periodo de ola con ayuda del cuadro E, adjuntado anteriormente (Figura 81), donde se tendrá:

$$T = 5,65 \cdot \sqrt{H_s} = 13,84 \text{ años}$$

➤ **Cálculo de altura de ola en condiciones de rotura (H_c)**

Existen diferentes criterios de rotura del oleaje. En este proyecto se van a usar los que consideran las características batimétricas, es decir, la pendiente de la playa y el peralte de la onda en la zona off-shore ($H_{s,o}/L_o$) (Komar et al. 1972).

El criterio utilizado para el cálculo de H_c , es el siguiente: **Criterio de Komar y Gaughan:**

$$H_c = 0,56 \cdot H_{s,o} \cdot \left(\frac{H_{s,o}}{L_o}\right)^{-1/5}$$

$$H_c = 6,698 \approx 6,7 \text{ m}$$

Una vez conocidos todos los parámetros necesarios, se procede a determinar el Run-Up en la costa:

$$S = 0,19 \cdot \left(1 - 2,82 \cdot \sqrt{\frac{6,7}{9,81 \cdot 13,84^2}}\right) \cdot 6,7 = 1,0586$$

A efectos de cálculo, se le sumará al Run-up una sobreelevación media de 0,4 metros, lo que es aceptable para las playas del Mediterráneo, obteniendo una cota de inundación total de 1,459 metros.

7.1.4 Determinación ancho mínimo playa seca

Los datos anteriores que se han ido calculando, como es el Run-up y las premisas expuestas en la zonificación, servirán para determinar cuál será la anchura de playa óptima para la regeneración.

- **Ancho Zona Activa:** A partir de la pendiente de playa (8% de pendiente, la recomendada) y el Run-up se obtendrá el ancho de la zona activa. Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente de que no deberá ser menor a los 10 metros recomendados. El total de la zona activa será:

$$\frac{1,46}{0,08} = 18,25 \text{ m}$$

- **Ancho Zona de Reposo:** Recomendación 25 metros.
- **Margen de resguardo:** Para este tramo de playa, dado que el mínimo se ha establecido en 45 m, se tomará un margen de resguardo de 1,75 m para cumplir el ancho de playa recomendado.

- **Ancho total de playa seca:** Se tienen 18,25 m de zona activa con una pendiente del 8%, una zona de reposo de 25 m y un margen de resguardo de 1,75 m. De esta forma, el ancho total de la playa seca del total del tramo, buscado tras la regeneración, será 45 metros.

7.1.5 Granulometría

El material granular óptimo es el que posee una granulometría igual o más elevada que el natural constitutivo de la playa (CEDEX, 2013). Atendiendo a resultados anteriores, se concluye que, en líneas generales, el valor promedio del D_{50} del yacimiento marino de Cullera (0,32 mm) es superior al D_{50} promedio de las playas analizadas (0,242 mm). Además, el propio yacimiento consta de arenas con distinta granulometría, lo que favorece su uso (Alguacil Á., 2020). Con todo ello, se considera que el material a dragar es apto para las actuaciones de regeneración de las playas entre los puertos de Burriana y Sagunto, aprovechando todo el material dragado sin diferenciar el material fino de la arena.

7.1.6 Perfil teórico

El perfil de las playas presenta distintas morfologías a lo largo de toda la costa. Sin embargo, en la mayoría predomina una tendencia similar, en la que la pendiente es mayor en la línea de costa y disminuye mar adentro. Esta regularidad ha permitido el desarrollo de diferentes modelos matemáticos que describen, con diferente grado de acierto, un perfil de playa. El perfil de equilibrio se define como: "la morfología que alcanzará un perfil de playa expuesto a unas condiciones de oleaje constantes, fundamentalmente altura de ola y período, y compuesto por un tamaño de grano determinado." (Larson, 1991).

Puesto que los agentes son variables, es imposible tener un perfil de equilibrio fijo. Pero como se conoce el rango de valores, la variabilidad del perfil está limitada. Así, habrá una morfología que se dará con mayor regularidad, esta es considerada como el perfil de equilibrio dinámico.

Para la elección del perfil teórico de la playa sumergida se partirá del perfil teórico de Dean (1991), basado en:

$$y = A \cdot x^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

A: Parámetro que depende del tamaño del sedimento

y: Profundidad del perfil

x: Distancia a la línea de costa

El coeficiente de forma A, se obtiene de la siguiente gráfica de Dean, en la que se representa la velocidad de caída del grano y el tamaño medio de las arenas D_{50} (0,242 mm):

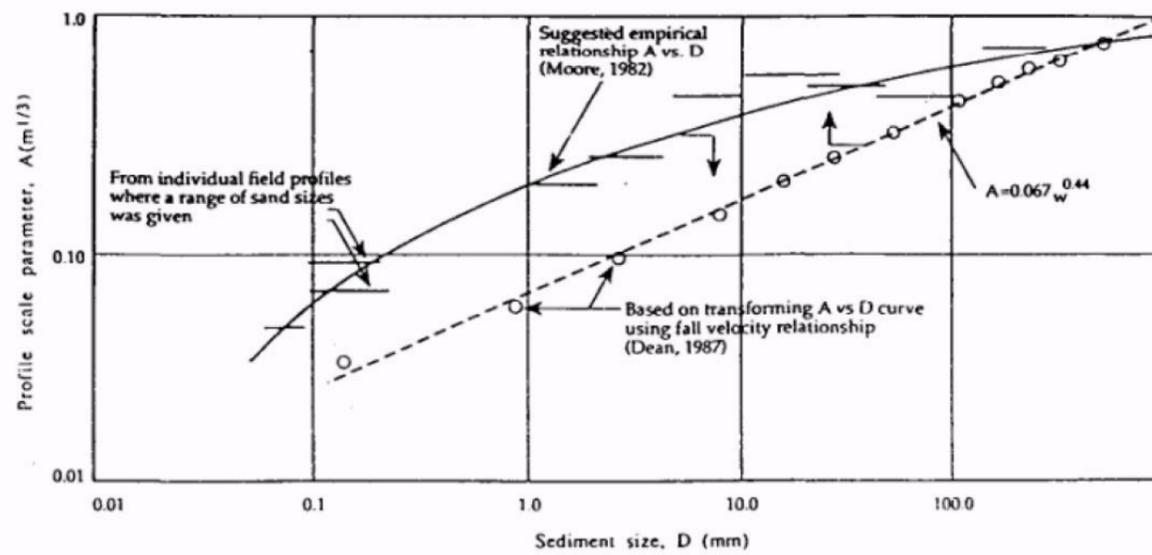


Figura 87. Variación del parámetro A con el tamaño de sedimento (Fuente: Dean, 1991)

Observando la gráfica se concluye un parámetro de forma $A = 0,107$, y el perfil teórico de Dean queda:

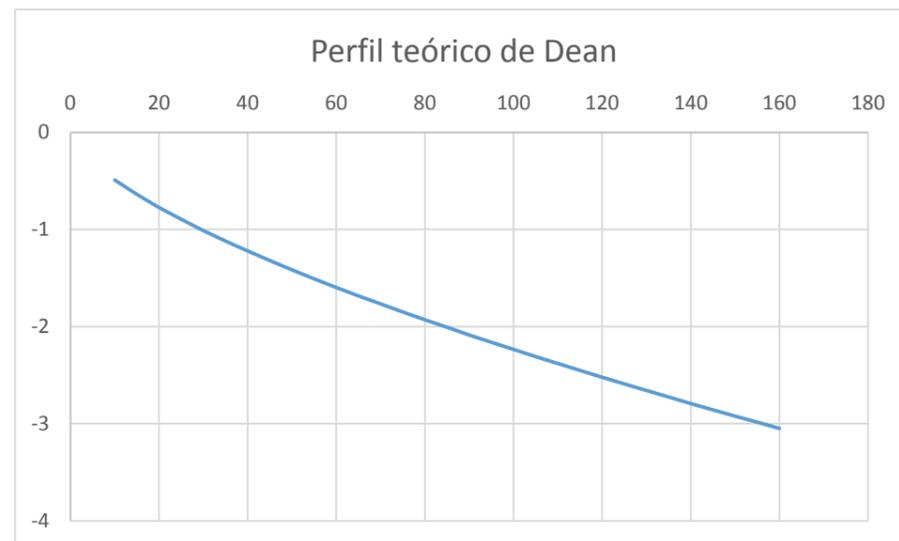


Gráfico 1. Perfil teórico de Dean para $A = 0,107$ (Fuente: elaboración propia)

7.1.7 Perfil de las playas

El perfil de las playas presenta cambios a lo largo del año debido a la movilización de los sedimentos que la componen por la acción del oleaje. Estas variaciones en el perfil son principalmente motivadas por la componente transversal del transporte sólido litoral. Puesto que este depende principalmente del clima marítimo, el perfil varía cíclicamente en función de la época del año. De esta manera, cuando hay temporales se presentan las mayores modificaciones, las cuales se revierten en periodos de calma. Se dice entonces que la playa alcanza su perfil de equilibrio: no se producen grandes pérdidas de material y el aporte es constante.

Para este trabajo, debido a la gran longitud total abarcada por el tramo, se ha decidido establecer un único perfil para todas las playas, en función del clima marítimo existente en la zona y de las recomendaciones de la Dirección General de Costas. Se pretende que con el paso del tiempo, este perfil inicial planteado se irá adaptando y se formará el perfil de equilibrio.

Por lo que respecta a la playa seca, se dispondrá un perfil de playa seca con pendientes del 8% para la zona activa y del 4% para la zona de reposo, tal y como recomienda la Dirección General de Costas en las Recomendaciones de Obras Marítimas. Para el estrán se recomiendan valores de entre 1-2%, por esto se adopta un 1,5% de pendiente.

Como se ha dicho anteriormente, el ancho de la zona activa será de 18,25 metros y el de la zona de reposo de 25 metros, dejando un resguardo de 1,75 metros entre esta y el cordón dunar si existe.

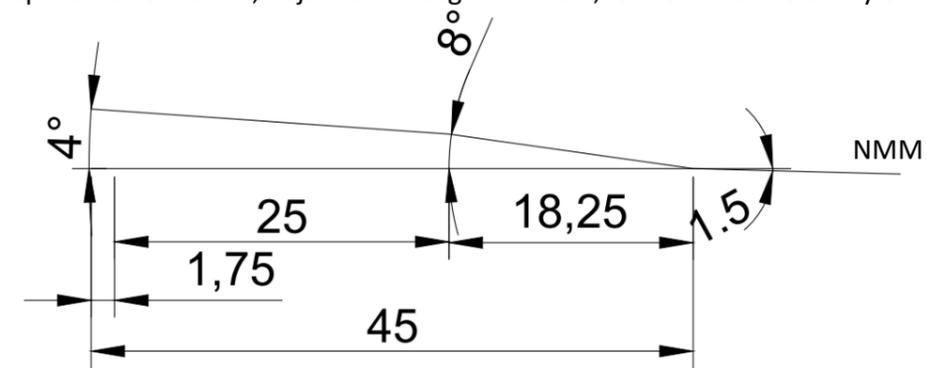


Figura 88. Diseño del perfil de la playa (Fuente: elaboración propia)

7.1.8 Cálculo del volumen necesario

Conocido ya el perfil teórico que se quiere conseguir en todo el tramo de costa, es necesario calcular el volumen de áridos necesario para llevar a cabo la alimentación artificial. Para ello se empleará el siguiente método, que consiste en definir secciones a lo largo de las playas y aplicar la ecuación de cubicación de Puig Adam:

$$Vol = \frac{A_n + A_{n+1}}{2} \cdot d$$

Siendo:

Vol = Volumen teórico entre dos perfiles consecutivos (m^3)

A_n y A_{n+1} = Áreas de dos perfiles consecutivos (m^2)

d = Distancia de separación entre los dos perfiles consecutivos (m)

Por tanto, es necesario disponer una serie de secciones transversales a lo largo de la línea de costa separadas entre ellas una distancia conocida, que se ha fijado en 500 metros para el subtramo 1 (Puerto de Burriana-Playa de Casablanca) y 250 metros en el subtramo 2 (Playa de Casablanca-Puerto de Siles) En el subtramo 3 (Puerto de Siles-Puerto de Sagunto) no se precisa de perfiles transversales puesto que no se va a realizar ningún aporte de sedimentos al estar sus playas colmatadas y cumplir con el ancho mínimo establecido para todo el tramo. A continuación se muestra los perfiles de cálculo establecidos en cada subtramo.

Subtramo 1: Puerto de Burriana – Playa de Casablanca

Este primer subtramo es el más extenso de los 3, y cuenta con un total de 32 perfiles separados a una distancia de 500 metros cada uno, a excepción de las dos primeras secciones transversales (P1 y P2), que son los que representan las secciones de la reserva estratégica de sedimentos que se quiere crear al sur del Puerto de Burriana, y los cuales están separados 3.500 metros. Por ello se ha calculado el volumen de arena necesario para conseguir la formación de esta reserva de manera independiente al resto de costa, en la que las áreas y las distancias serán las mismas para todo el subtramo. Los perfiles han quedado distribuidos de la siguiente forma:

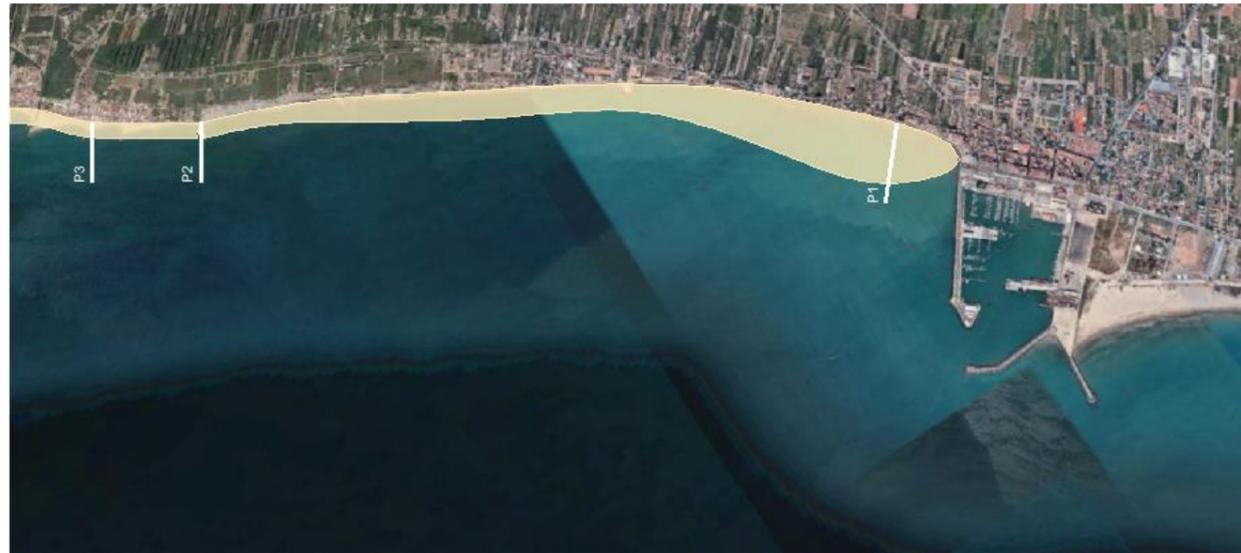


Figura 89. Perfiles de cálculo del subtramo 1 (Fuente: elaboración propia)

Subtramo 2: Playa de Casablanca – Puerto de Siles

En este subtramo tan solo se ha dividido en perfiles transversales la playa de Corinto, puesto que es la única del subtramo que precisa de alimentación artificial para obtener un ancho de playa mínimo de 45 metros. EL resto de subtramo (Playa de Canet de Berenguer) tiene un ancho suficiente en la actualidad y acumula un exceso de sedimentos al norte del Puerto de Siles que se trasvasarán al sur del mismo para restablecer el flujo sedimentario natural. Por todo ello, este subtramo cuenta con 5 perfiles transversales que se muestran en el siguiente plano.



Figura 90. Perfiles de cálculo del subtramo 2 (Fuente: elaboración propia)

Una vez definidos los perfiles de todas las playas en estado de erosión y las cuales precisan de alimentación artificial, se continúa con el cálculo aproximado de volumen de arenas necesario. Al realizar un aporte de material, inevitablemente se producen una serie de pérdidas por los diferentes comportamientos frente a los agentes climáticos marinos. Luego es necesario tener en cuenta un volumen adicional de material que se determinara por el factor de sobrellenado. Al mismo tiempo, según el CERC, recomienda que se debe añadir un volumen extra para compensar las pérdidas que se tienen en el vertido y el primer año de la obra. Por lo tanto, se adoptará un factor de relleno de 1,3 ya que es un valor habitual para arenas de relleno con un tamaño de $D_{50}=0,30$ mm (SPM, 1984).

SUBTRAMO 1		
PERFILES	DISTANCIAS (m)	VOLUMEN (m³)
P1/P2	3500	1.588.125
P2/P3	500	226.875
P3/P4	500	123.750
P4/P5	500	123.750
P5/P6	500	123.750
P6/P7	500	123.750
P7/P8	500	123.750
P8/P9	500	123.750
P9/P10	500	123.750
P10/P11	500	123.750
P11/P12	500	123.750
P12/P13	500	123.750
P13/P14	500	123.750
P14/P15	500	123.750
P15/P16	500	123.750
P16/P17	500	123.750
P17/P18	500	123.750
P18/P19	500	123.750
P19/P20	500	123.750
P20/P21	500	123.750
P21/P22	500	123.750
P22/P23	500	123.750
P23/P24	500	123.750
P24/P25	500	123.750
P25/P26	500	123.750
P26/P27	500	123.750
P27/P28	500	123.750
P28/P29	500	123.750
P29/P30	500	123.750
P30/P31	500	123.750
P31/P32	500	123.750
TOTAL	15.000	3.815.625
	F. sobrellenado	4.960.312,5
SUBTRAMO 2		
PERFILES	DISTANCIAS (m)	VOLUMEN (m³)
P32/P33	250	27500
P33/P34	250	27500
P34/P35	250	27500
P35/P36	250	27500
P36/P37	250	27500

TOTAL	1.250	137.500
	F. sobrellenado	178.750

Tabla 49. Cálculo del volumen de arena necesario. (Fuente: elaboración propia)

Una vez realizados los cálculos necesarios, se obtiene un volumen de material necesario para el relleno del tramo de **5.139.062,5 m³**.

Como el volumen que se ha planteado aportar (12.139.000 m³) según la estrategia global (Alguacil Á., 2020) es el doble que el teóricamente calculado para las playas en erosión, se destinará el excedente a la reserva estratégica de sedimentos situada al sur del Puerto de Burriana, para que por la propia acción de la dinámica litoral se distribuya naturalmente hacia el sur del tramo.

7.1.9 Yacimiento de material sedimentario

Para la obtención del volumen de arena necesario para la regeneración de este tramo de costa se recurre al yacimiento marino de material sedimentario que se encuentra frente a Cullera, a unos 10 km de la costa y a gran profundidad (entre 60 y 80 metros) aptos para la regeneración de playas y que cuenta con una Declaración de Impacto Ambiental del proyecto Extracción de arena en aguas profundas de Valencia para alimentación de playas (BOE núm 237, 3-10-2013, Sec. III 81334-81357).

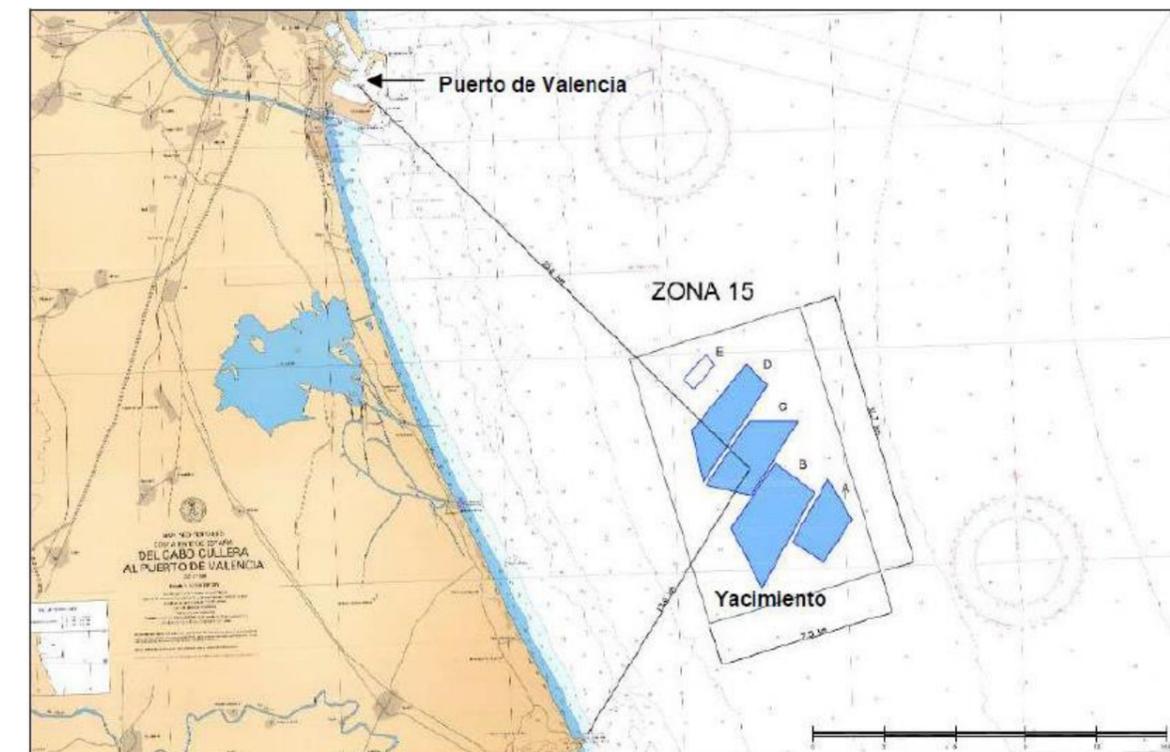


Figura 91. Ubicación del yacimiento marino (Fuente: García y Moreno, 2010)

Este banco de arena tiene 90 millones de m³ de sedimentos explotables, con una extensión total de 25,5 km². El material disponible es principalmente material no consolidado constituido por arenas

medias con un tamaño de grano D50 de 0,32 mm de gran calidad y adecuado para la regeneración de playas.

La extracción de material resulta compleja dada la profundidad a la que se encuentra el yacimiento, por lo que resultará necesario el uso de medios técnicos específicos como son las dragas de succión de arrastre tipo Jumbo.

El yacimiento ha sido dividido por polígonos (A, B, C, D y E) lo que permite zonificar y unificar el banco según sus características. Cabe señalar que no se plantea la extracción de material del polígono E por presentar un porcentaje de finos más elevado que el resto.

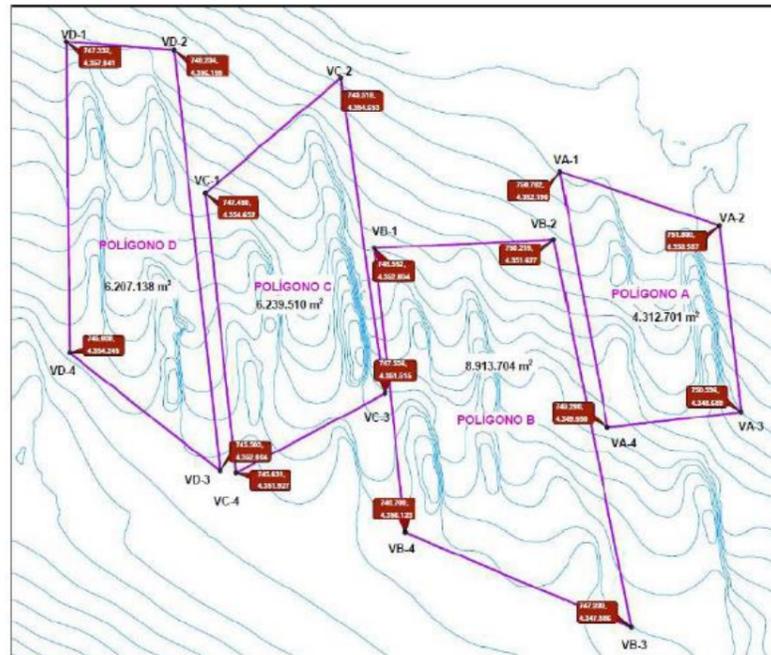


Figura 92. Polígonos de extracción (Fuente: García y Moreno, 2010)

El área de extracción y el volumen total estimado de arena utilizable de los cuatro polígonos se muestra a continuación:

	Área de extracción (m ²)	Volumen de arena estimado (millones de m ³)
Polígono A	4.312.701	12
Polígono B	8.913.704 29	29
Polígono C	6.239.510	25
Polígono D	6.207.138	22,5
Total		88,5

Tabla 50. Área de extracción y volumen de arena de cada polígono (Fuente: García y Moreno, 2010)

Los documentos que el estudio de extracción ha utilizado (Alguacil Á., 2020) como fuente de información del son los siguientes:

- Estudio geofísico marino en Valencia y Alicante.
- Ampliación del Estudio Geofísico marino en la costa de Valencia y Alicante hasta la profundidad de 80 metros y Complementario nº1 de la Ampliación del Estudio Geofísico marino en la costa de Valencia y Alicante.

- Estudio de caracterización sedimentológica y bionómica de zonas en aguas profundas de Valencia y Alicante
- Estudio Ecocartográfico del litoral de las provincias de Valencia y Alicante.

De estos estudios se obtienen el volumen de material apto para la regeneración (arena media y gruesa) y el volumen de finos de cada zona (Tabla 51). La proporción media de material fino del yacimiento es del 22 %.

	Material	Volumen (m ³)
Polígono A	Fino	3.500.000
	Utilizable	12.000.000
Polígono B	Fino	8.000.000
	Utilizable	29.000.000
Polígono C	Fino	4.000.000
	Utilizable	25.000.000
Polígono D	Fino	9.500.000
	Utilizable	22.500.000
Total	Fino	25.000.000
	Utilizable	88.500.000

Tabla 51. Volúmenes de material obtenidos en estudios anteriores (Fuente: García y Moreno, 2010)

En el «Estudio de extracción de arena en aguas profundas de Valencia para alimentación de playas» (García y Moreno, 2010) se obtienen unos volúmenes de material (fino y utilizable) ligeramente superiores. Siguiendo la proporción entre la cantidad de material fino y el volumen utilizable determinada en estudios previos, se obtiene el volumen de material apto para la regeneración de playas que ofrece cada uno de los polígonos (Tabla 52).

	Volumen (m ³)
Polígono A	20.512.350
Polígono B	41.443.495
Polígono C	29.870.030
Polígono D	29.154.015
Volumen total	120.979.890
Volumen total de material apto	94.332.337

Tabla 52. Volúmenes de material aptos para regeneración de cada polígono (Fuente: García y Moreno, 2010)

Por todo lo expuesto se asume que el yacimiento marino de Cullera dispone de material adecuado para la regeneración de las playas entre los puertos de Burriana y Sagunto y será de donde se obtendrá todo el volumen de arena necesario para las actuaciones de alimentación.

7.1.10 Medios necesarios para la ejecución de la alimentación artificial

Zona de dragado

La «Ampliación del Estudio Geofísico marino en la costa de Valencia y Alicante hasta la profundidad de 80 metros» y «Complementario nº1 de la Ampliación del Estudio Geofísico marino en la costa de Valencia y Alicante» permitieron obtener información batimétrica y de calidad del fondo marino, determinando la morfología y el tipo de sedimentos del lecho marino en los primeros 10 metros aproximadamente (Alguacil Á., 2020).

Se detectaron 19 zonas con material sedimentario apto para la regeneración de playas. Los criterios de selección establecidos para las áreas de interés son los siguientes:

- No considerar la explotación de yacimientos situados a menos de 50 metros de profundidad.
- Desestimar zonas con una cobertura de finos superior a 1,50 metros.
- Establecer como material óptimo el que tenga un tamaño de arena gruesa (AG), arena media (AM) y/o arena fina (AF) y que no sea de naturaleza bioclástica.

La ubicación de las zonas de interés es:

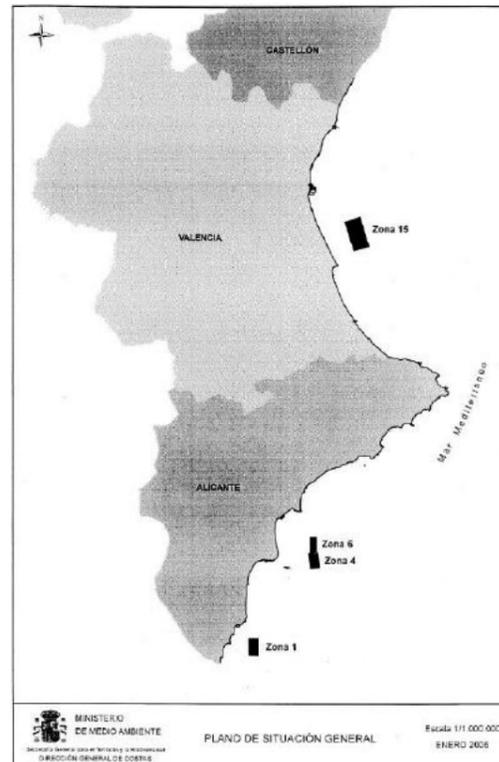


Figura 93. Ubicación de las zonas de dragado de interés (Fuente: García y Moreno, 2010)

Para los trabajos de regeneración de el tramo costero objeto de estudio, la zona de interés considerada es la Zona 15 (Valencia) por ser la que presenta un importante volumen de material con la calidad adecuada. En 2007 se llevó a cabo el «Estudio de caracterización sedimentológica y binómica de zonas en aguas profundas de Valencia y Alicante», que dio lugar a la caracterización y evaluación de la potencia de estos sedimentos y a la determinación de las características físicas y volúmenes disponibles

en la zona de estudio. El estudio también incluye las condiciones ambientales (calidad de las aguas y sedimentos), las comunidades naturales y los recursos naturales del área (Alguacil Á., 2020).

Equipo de dragado

Atendiendo a ello, dada la profundidad y magnitud del yacimiento y las necesidades de transporte de material, el equipo más adecuado para la extracción de arenas es la draga de succión en marcha o de arrastre, denominada Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD).

Dada la profundidad a la que se encuentra el yacimiento será necesaria una draga de succión de arrastre tipo Jumbo. En la Tabla 53 se muestran algunas de las dragas consideradas para la extracción del material sedimentario.

Draga	Cántara (m ³)	Profundidad (m)	Calado (m)
Leiv Eriksson (2010)	46.000	155	15,15
Cristóbal Colón (2008)	46.000	155	15,15
Vasco da Gama (2000)	33.000	140	14,60
Volvox Terranova (1998)	20.000	101	11,20
Gerardus Mercator (1997)	18.000	112	11,85

Tabla 53. Dragas tipo Jumbo (Fuente: Escalante, 2019)

Los componentes del sistema de dragado de la draga de succión en marcha son:

- Bombas de dragado.
- Tubos de succión o aspiración.
- Cabezales de dragado.
- Cántara (sistema ALMOB y rebase).

Los elementos están diseñados en conjunto para que la operación de dragado sea eficiente, teniendo en cuenta parámetros como la potencia de las bombas, la capacidad de la cántara y el diámetro del tubo de succión.

Procedimiento de dragado

Una correcta operación de dragado es necesaria para minimizar el impacto ambiental de los trabajos sobre la zona, así como los costes económicos. Su definición se basa en el conocimiento previo de los siguientes aspectos:

- Batimetría de la zona de dragado y vertido.
- Características geotécnicas y geológicas del material a dragar.
- Condiciones medioambientales de las zonas involucradas en la operación de dragado.

Se debe establecer un ciclo de dragado que permita elaborar un plan de trabajo. Para ello, se han de considerar las adversidades que puedan presentarse y determinar la producción del equipo de trabajo. Las fases del ciclo de dragado se muestran en la Figura 91:

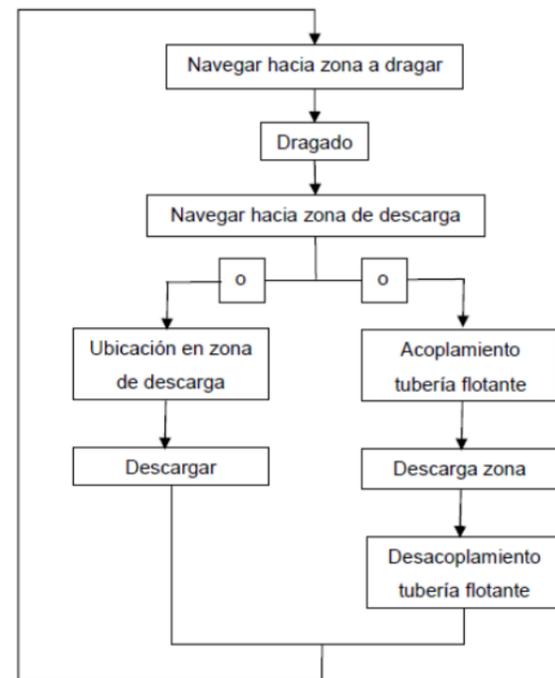


Figura 94. Fases de ciclo de dragado (Fuente: Escalante, 2019)

El ciclo de dragado de un equipo de succión por arrastre consiste en una serie continua de ciclos de dragado sencillos, por lo que se trata de diferentes fases ejecutadas una detrás de otra.

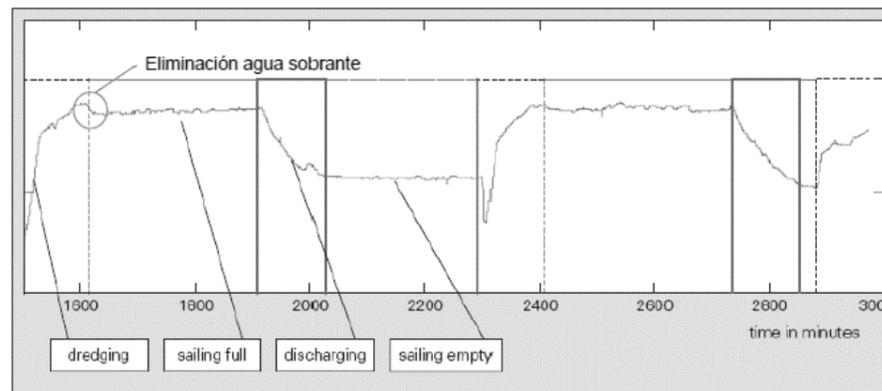


Figura 95. Ciclos de dragado (Fuente: Escalante, 2019)

Contando con que el dragado del material de regeneración es competencia del estudio previo realizado (Alguacil Á., 2020), el presente trabajo se centrará en concretar que medios y el procedimiento a seguir para realizar el vertido del material dragado en las playas erosionadas.

El vertido del material dragado se puede realizar mediante las siguientes técnicas:

- Descarga por compuertas de fondo: vertido más rápido (5-10 min), no permite verter en las proximidades de la playa, genera elevada turbidez.
- Descarga mediante tubería: técnica apropiada para rellenos de terrenos o de playas. Se emplea una tubería flexible flotante desde proa empalmada a una tubería rígida sumergida, apoyada en

el fondo, que alcanza el punto de vertido. El tiempo de descarga suele rondar los 60 min. La impulsión se puede realizar mediante tubería rígida o mediante tubería flexible, dado que el mar Mediterráneo cuenta con un clima calmado, con escasa agitación, generalmente se empleará tubería flexible flotante. En este caso, es necesario contar con una pequeña pontona anclada que lanza el material hasta la parte alta de la playa y que, estando anclada durante el bombeo, resulta fácil trasladarla a lo largo de la playa mediante un barco auxiliar.

- Descarga mediante chorro de proa (rainbowing): técnica de vertido empleada para rellenos localizados. La mezcla agua-arena se proyecta o lanza desde la proa del equipo de dragado hasta unos 100 metros de distancia. El tiempo necesario para el vertido es intermedio entre el caso de descarga por compuertas de fondo y la descarga mediante tubería.

Frente a las tres técnicas mencionadas, la más adecuada y de menor impacto ambiental es la descarga mediante tubería que generará acopios de material a lo largo de la costa; estos deberán ser extendidos mediante medios terrestres tipo Bulldozer que conseguirán el avance de la playa seca en cota y en longitud, actuando finalmente el oleaje como motor de modelado del perfil de la playa sumergida hasta alcanzar el perfil de equilibrio de regeneración de esta.

Para los trabajos de descarga de la draga esta se ubicará lo más próxima al punto de vertido, salvando siempre el calado de la draga, es decir, su mayor o menor proximidad al vertido quedará determinado por la pendiente de la playa en cada zona. Siendo las pendientes del tramo de estudio suaves, se prevé a nivel informativo que la distancia mínima a la que se posicionará la draga será a partir de 2.500-3.000 metros de la costa.

Debido a la longitud del tramo a regenerar se ha propuesto una tubería flexible flotante desde proa como tubería de descarga, dado que esta, debido a el coste de movilizarla a lo largo de la costa de estudio, tiene un coste mucho inferior al caso de tubería sumergida apoyada sobre el fondo marino; aunque resulta menos efectiva frente a fuertes oleajes (escasos en el Mar Mediterráneo) y debe evitar el tráfico marítimo, pues lo interfiere.

Cálculo estimativo del tiempo de dragado

En el estudio precedente (Alguacil Á., 2020) al presente trabajo, se realizó un cálculo estimativo para la producción y el tiempo de dragado mediante la metodología BBL ((Bray, Bates y Land) para la cual, los pasos a seguir son:

- Identificar la unidad básica de producción.
- Modificar esta unidad considerando las condiciones del terrenos y de la excavación o bombeo.
- Identificar el ciclo de dragado pertinente.
- Aplicar el ciclo de dragado a la unidad de producción modificada.
- Tipos de producción.
- Aplicar los factores de reducción adecuados.

Se considera que la influencia de las interrupciones por tráfico marítimo e inclemencias meteorológicas es media-baja y las hipótesis de partida para el cálculo del ciclo de la draga son las siguientes (Tabla 54):

Parámetro	Orden de magnitud
Concentración de sólidos en succión	20-30% del volumen absorbido
Concentración final de sólidos en cántara	85% del volumen total
Tiempo de descarga	60 min (tubería)
Distancia de transporte	52,4 km
Velocidad de succión	6 m/s

Tabla 54. Hipótesis de partida para determinar el ciclo de la draga (Fuente: García y Moreno, 2010)

Las operaciones a considerar durante el ciclo de trabajo de una draga de succión en marcha son las siguientes:

- Carga (succión).
- Giro de la draga al terminar la pasada de una zona.
- Navegación al punto de vertido y vuelta a la zona de dragado.
- Decarga del material dragado.

Para el cálculo estimado de tiempo de dragado se ha escogido como ejemplo un equipo de draga de succión en marcha tipo Jumbo cuyas características se exponen en la siguiente tabla:

Parámetro	Orden de magnitud
Eslora total (m)	223
Manga (m)	41
Capacidad de la cántara (m ³)	46.000
Diámetro tubería succión (mm)	1.300
Máxima profundidad de dragado (m)	155
Velocidad de succión (m/min)	8
Velocidad de navegación con la cántara llena (nudos)	18

Tabla 55. Características de una draga de succión en marcha tipo Jumbo - Cristóbal Colón (2008) (Fuente: Escalante, 2019)

Con estas características sobre la draga a utilizar, las hipótesis tomadas para el cálculo del ciclo de la misma y un volumen de extracción necesario de 12.139.000 m³, se obtiene un tiempo estimado de dragado para las actuaciones de regeneración del tramo entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto de **T= 22,4 semanas ≈ 5 – 6 meses** (Alguacil Á., 2020).

7.2 Procedimiento de desmantelamiento de obras de defensa

Una vez realizada la regeneración de las playas erosionadas mediante la alimentación artificial programada se procede al desmantelamiento de las obras de defensa existentes a lo largo de casi todo el tramo costero. Este hecho favorecerá la restitución del flujo natural sedimentario de la costa y ayudará a alcanzar una actuación completa y duradera en el tiempo evitando nuevas erosiones localizadas, ya que los trabajos de regeneración y la propia dinámica litoral servirán como solución a nivel general, repartiendo la arena y deteniendo el retroceso de la línea de costa.

El tramo costero objeto de estudio de este trabajo, localiza un total de 34 espigones y diques exentos a lo largo de la playa de Nules, Pedra Roja, El Grau, playa del Masbo, playa de Tamarit, playa La Torre, playa el Estanyol, playa Las Casas y playa El Cerezo.



Figura 96. Obras de defensa entre los puertos de Burriana y Sagunto (Fuente: PNOA, 2020)

En el planteamiento de esta alternativa se definió la reutilización del material procedente del desmantelamiento en la proyección de unas terrazas lúdicas situadas en el trasdós de las playas para que estas formen parte de un plan de contingencia en el que se disponga con facilidad y rapidez del material pertinente para la reubicación de las obras de defensa en caso de emergencia.

Para la utilización de los materiales procedentes del desmantelamiento se deberá analizar los que estén en un buen estado para su reutilización así como sus dimensiones para saber su disposición a la hora de ejecutar las terrazas lúdicas.

Se comenzará el desmantelamiento por el norte del tramo, donde se encuentra el primer espigón al comienzo de la playa de Nules, y se continuará progresivamente hacia el sur. Será necesario un acopio intermedio entre el desmantelamiento y la construcción de las “terrazas lúdicas”, que se realizará en la misma playa, para poder comprobar que material cumple con los requisitos mínimos para su reutilización y de cual habrá que prescindir. Este será un proceso rápido para no demorar el tiempo de las obras.

Se ha analizado que la mayoría de los espigones que componen el tramo costero objeto de estudio no superan los 60 metros de longitud, y que cada pieza de escollera tendrá unos pesos estimados entre 1,4 y 4 T.

Se ha decidido mantener, con la misma finalidad que tendrán las “terrazas lúdicas”, los tramos de escollera (véase el sur del puerto de Burriana, la escollera que protege la urbanización de la playa Pedra Roja y el tramo de la playa la Torre), por lo menos hasta que se establezca la playa en esos tramos más afectados a efectos erosivos. Los diques exentos de la playa de Las Casas (Chilches) también se van a mantener.

Para la retirada de los espigones se utilizará un equipo compuesto por dos retroexcavadoras y cuatro camiones basculantes que trasladarán el material desmantelado de los espigones a las zonas de acopio establecidas, para su posterior utilización en la construcción de las terrazas lúdicas.

7.3 Traslase de sedimentos en los Puertos de Burriana y Sagunto

Como punto último para establecer la estrategia de regeneración de la costa entre los puertos de Burriana y Sagunto, se define el traslado de sedimentos a realizar del norte de ambos puertos hacia el sur de los mismos, para garantizar el correcto trascurso natural del flujo sedimentario.

Por ello en la alternativa escogida como óptima se ha supuesto que se realizará la regeneración del tramo norte de Castellón simultáneamente al tramo sur y que se realizará un traslado de sedimentos del norte del Puerto de Burriana al sur.

Se supone que el tiempo que transcurre para que se active el by-pass de cada puerto, sea de un año máximo. Este tiempo viene estimado puesto que se ha calculado la tasa de transporte de sedimentos anual ($300.000 \text{ m}^3/\text{año}$), para la que se han obtenido los valores expuestos en apartados anteriores.

EL método de traslado de sedimentos empleado en el tramo Puerto de Castellón – Puerto de Burriana no es competencia de este trabajo; sin embargo, para el traslado a realizar tanto en el Puerto de Siles como en el Puerto de Burriana, se escoge un sistema fijo (by-pass fijo) que transporte periódicamente los sedimentos acumulados al norte de los puertos hacia el sur de estos.

Estos sistemas fijos están compuestos de equipos estacionarios de dragado que están diseñados y contruidos para trabajar en un punto concreto. Se plantea que este sistema fijo de by-pass se situe sobre el dique norte de cada puerto y esté formado por un equipo de succión encargado de extraer el material, y una tubería de descarga que transporta el material hasta la zona erosionada al sur del puerto. La ventaja de estos equipos es que están en todo momento disponibles y evitan la movilización de equipos de dragado cada vez que se necesitan.

A continuación se muestra un ejemplo de sistema de by-pass fijo que se podría implantar en el dique norte de cada puerto. Representa un sistema fijo instalado sobre un espigón, que extrae arena de uno de sus lados y lo transporta hacia el lado contrario:

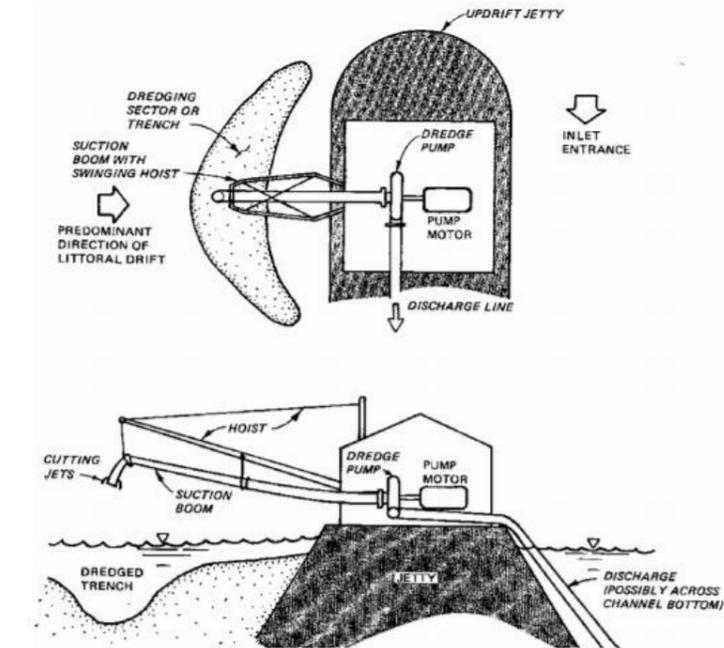


Figura 97. Esquema de una planta fija de by-pass (Fuente: Engineer Manual nº1110-2-1616, 1991)

Las componentes principales de esta instalación son las siguientes:

- Tubería de succión: es generalmente una tubería de acero que está sostenida por una grúa que le transfiere cierto movimiento vertical y lateral, que le permite dragar un determinado sector.
- Bomba de succión: su tamaño depende del volumen de producción para el que se diseñe la instalación. El motor de la bomba puede ser diesel o eléctrico, estando este último recomendado en situaciones donde el ruido o las emisiones puedan causar problemas.
- Tubería de descarga: similar a la de los sistemas de dragado vistas en capítulos anteriores. Suelen ser de acero o de polietileno.
- Caseta de protección: es necesaria en plantas estacionarias para abrigar todas las componentes del sistema del oleaje y de las tormentas. Su función es proteger la instalación.

Cabe mencionar que el dimensionamiento y funcionamiento exacto de estos sistemas será competencia del proyecto correspondiente posterior al presente trabajo.

8. PROGRAMA DE TRABAJOS

El presente apartado va a tratar de prever los medios y procedimientos a utilizar para la ejecución de las obras y el momento temporal de realización de las diversas actividades o trabajos, de modo que permitan llevarla a cabo optimizando el coste, el plazo de ejecución y la calidad. El objetivo principal del presente apartado es el de establecer un plazo aproximado de ejecución de las obras descritas en la solución escogida de este estudio. Éste se obtendrá a partir del encadenamiento de las actividades que componen el global de la actuación.

8.1 Consideraciones generales

Se enumeran las distintas actividades previstas a realizar a continuación:

1. Trabajos previos
2. Desmantelamiento de las obras de defensa existentes
3. Ejecución de las “terrazas lúdicas”
4. Dragado y alimentación artificial de las playas erosionadas
5. Implantación del sistema fijo de by-pass

La organización en el tiempo de las actividades dependerán mayoritariamente de las obras de regeneración, y se han organizado según lo siguiente:

- Tras la ejecución de los trabajos previos (primera actividad a realizar) se comenzará por las actuaciones de regeneración. Estas obras suponen un gran tránsito de maquinaria en la zona de actuación. Por ello se han dividido las actuaciones de regeneración en 4 actividades:
 - I. Construcción y apertura de caminos para facilitar el acceso de la maquinaria a los tajos correspondientes.
 - II. Desmantelamiento de las obras de defensa existentes (espigones) y construcción de las “terrazas lúdicas”.
 - III. Alimentación artificial
 - IV. By-pass fijo Puerto de Sagunto
- Tras la ejecución de los trabajos previos, se puede comenzar con la retirada de los espigones existentes para ejecutar de forma simultánea, una vez se disponga de material suficiente, la construcción de las terrazas lúdicas en el trasdós de las playas. Paralelamente a la construcción de estas y una vez terminado el desmantelamiento de los espigones se puede comenzar con la alimentación artificial.
- La alimentación artificial de las playas y creación del perfil de regeneración establecido se ejecutará una vez finalizados los trabajos de desmantelamiento de las obras de defensa, pero simultáneamente a la construcción de las terrazas.

- Simultáneamente a la alimentación artificial se instalará el sistema de by-pass fijo que se escoja en el Puerto de Sagunto, para garantizar el paso de sedimentos hacia el sur de éste según plantea la estrategia de restitución sedimentaria.

8.2 Plazo de ejecución de cada actividad

En este apartado se va a analizar la duración de las diferentes tareas propuestas en el punto anterior, de forma estimada. Para cada una de las actividades, se ha realizado la medición de las unidades de obra que intervienen. En este punto, se van a proponer los rendimientos de los equipos, y el número de equipos para cada caso.

Asimismo, se parte de la hipótesis de que la jornada de trabajo, para todos los días laborables del año, es de 8 horas. Además, se considerarán 5 días laborables a la semana, y 21 días laborables por mes. La consideración de 5 días laborables y 8 horas por día se ha sacado del “Resolución y Acta Calendario Laboral 2021 del Sector de la CONSTRUCCIÓN, OBRAS PÚBLICAS e INDUSTRIAS AUXILIARES de la provincia de Castellón, Código 12000525011973”.

8.2.1 Trabajos previos

En primer lugar, se realizarán los trabajos previos de replanteo, ubicación y puesta en marcha de las instalaciones auxiliares (casetas de vestuarios, señalización de las obras, delimitación de las áreas reservadas al acopio intermedio, etc.). De la misma manera, se incluirán la construcción de los caminos de paso para la maquinaria, así como las modificaciones sobre los servicios afectados en dichos pasos. Se estima que la duración de esta primera actividad debido a la longitud del tramo, será de **4 semanas**.

8.2.2 Desmantelamiento obras de defensa existentes

Para la retirada de los espigones se utilizará un equipo compuesto por dos retroexcavadoras y cuatro camiones basculantes, con un rendimiento de 120 t/h.

El total de material a desmantelar de un espigón es 4.138 t aproximadamente, por lo que el plazo de ejecución de retirada de un espigón será de 4,3 días; por lo que el desmantelamiento de un total de 32 espigones que conforman el tramo, para este equipo, es de **138 días ≈ 6 meses** de trabajo.

La construcción de las terrazas lúdicas se realizará paralelamente al desmantelamiento de los espigones, tras haber analizado el estado del material para su reutilización.

8.2.3 Alimentación artificial

Como ya se ha expuesto en el apartado 7.1.10 “Medios necesarios para la ejecución de la alimentación artificial” se obtiene un tiempo estimado de dragado para las actuaciones de regeneración del tramo entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto de **T= 22,4 semanas ≈ 5 – 6 meses**.

8.2.4 Instalación sistemas de by-pass fijo

El sistema de by-pass fijo propuesto en el Puerto de Sagunto deberá disponer de una tubería que atraviese todo el puerto, así como de un sistema de bombeo que impulse el volumen de sedimento. Se estima que la implantación de todos los componentes ocupará un plazo de 2 meses máximo, debido a las dimensiones a cubrir. Este plazo realmente será establecido por el proyecto pertinente.

8.3 Diagrama de Gantt

	2022											2023		
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	
Trabajos previos														
Desmantelamiento de obras de defensa														
Construcción "terrazas lúdicas"														
Dragado y vertido P. Burriana - P. Sagunto														
By-pass fijo Puerto de Sagunto														

La el plazo de ejecución de las obras de regeneración planteadas será de un año aproximadamente, contando con que se trabaja continuamente sin paralizar el ejercicio los meses estivales.

9. IMPACTO SOCIAL-ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA ACTUACIÓN PROPUESTA

La regeneración artificial propuesta en el presente estudio tiene por objetivo devolver las playas a su estado natural de equilibrio restituyendo el flujo sedimentario, es decir, dar lugar a la acreción de la gran parte del litoral de estudio. Esto, indudablemente, tendrá efectos positivos sobre el turismo y la economía de la zona afectada, pues se dispondrá de una mayor superficie de playa para el uso y disfrute de la sociedad, así como se reducirá el impacto en el perfil costero y las edificaciones e infraestructuras frente a temporales marítimos.

Los sectores que pueden verse afectados por esta actuación son el turismo y la pesca, ya que próximos a la zona de dragado se encuentran los puertos pesqueros y lonjas de Sagunto y Burriana. Analizando el tipo de capturas, se tiene que el grupo más importante son los peces (85%), seguido de moluscos (11%) y crustáceos (4%). Entre las especies demersales destacan la merluza y el salmonete; los peces pelágicos incluyen la sardina, el jurel, la melva, el boquerón, la anchoa y la alacha. Los moluscos más capturados son los pulpos y las sepias. El ámbito de actuación comprende una Zona Protegida de Interés Pesquero denominado Zona 3 Puerto Sagunto – Cabo Cullera (Decreto 219/1997, de 12 de agosto, del Gobierno Valenciano).

Toda la información referente a los aspectos ambientales de la actuación a desarrollar se obtiene del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto «Extracción de arena en aguas profundas de Valencia para alimentación de playas» (García y Moreno, 2010), que cuenta con una Declaración de Impacto Ambiental (2013). Se deben proponer recomendaciones que garanticen la sostenibilidad del banco de arena y la de las actuaciones de regeneración propuestas: la adopción de un programa de seguimiento tanto del yacimiento como de las playas regeneradas.

Referente al vertido de arena sobre las playas, dicha DIA nos indica que la descarga de los productos se efectuará mediante bombeo, de acuerdo con la propuesta de este estudio de vertido mediante tubería; se indica el empleo de todo el material dragado, sin necesidad de realizar un cribado, dada la escasez de finos y la adecuada granulometría del sedimento del depósito submarino.

En cuanto a los condicionantes ambientales, el principal, es que la puesta en suspensión del material fino durante el dragado da lugar a un aumento de la turbidez de las aguas, que primeramente y según se refleja en la DIA tendrá efecto temporal, aunque se deberá estudiar su dispersión y transporte en suspensión durante los trabajos de vertido.

La retirada de material del fondo marino origina cambios en la morfología y litología del mismo. Las operaciones de dragado modificarán la batimetría y generarán superficies más irregulares que se suavizarán paulatinamente. Puesto que el banco de arena se encuentra más allá de la zona de transporte de sedimentos, no se contempla la reposición natural del mismo.

Con base en el tipo de actuación a realizar, las comunidades más afectadas serán las ligadas al fondo marino (bentónicas) y, en menor medida, las especies demersales. En comunidades bentónicas, de manera directa, la operación de dragado supondrá la desaparición de individuos debido al movimiento del cabezal de la draga; indirectamente, la sedimentación del material fino puesto en suspensión puede causar el enterramiento de los organismos, aunque al ser paulatino no afectará a las especies con capacidad de movimiento (Alguacil Á., 2020).

Referente a la navegación marítima de la TSHD (draga de succión en marcha) durante los trabajos de regeneración, Capitanía Marítima de Valencia informa que *“no existe inconveniente alguno en autorizar el dragado, siempre y cuando se le indique el nombre y la matrícula de la draga que realiza el trabajo, se señalice la misma y se dispongan los medios de contención adecuados para evitar los vertidos a la mar.”* Por su parte, también el vertido marítimo debe ser comunicado y autorizado por dicha autoridad según indica el artículo 131.2 de la Ley 48/2003 de 26 de noviembre, de manera que, en fase de proyecto, esta aprobación deberá ser tramitada.

En cuanto a los efectos del cambio climático que han sido tenidos en cuenta para la propuesta de solución, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) impone a todos los estados miembros (entre los que se encuentra España) la implementación de medidas para adaptarse al ascenso del nivel del mar y los restantes efectos que genera el cambio climático sobre la costa. Concretamente, el marco legislativo español que lo enmarca es:

- Ley 2/2013 de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas.

Este Reglamento recoge las previsiones de la Ley de 2013 respecto a los efectos del cambio climático en el litoral e indica la necesidad de considerar el cambio climático en los proyectos, así como los aspectos a evaluar debido a los efectos de éste.

9.1 Valoración de impactos

Tras en análisis de los condicionantes ambientales identificados para esta actuación, se resumen que el impacto ambiental y socio-económico es moderado y que, por tanto, no se precisará de actuaciones de protección o medidas correctivas específicas.

9.1.1 Medidas preventivas y correctoras

Se proponen una serie de medidas para prevenir o minimizar el impacto que se pueda causar sobre el medioambiente con la ejecución de las actuaciones de regeneración; todas ellas regidas por la normativa correspondiente en cada caso. De forma general, se tiene:

- Para mantener la calidad del aire y del agua se evitarán vertidos, emisiones y la generación innecesaria de ruido.
- El sistema de dragado debe minimizar la resuspensión de finos siempre que la técnica lo permita con el fin de disminuir las afecciones debidas al aumento de turbidez.
- Se deben adoptar medidas para preservar la calidad del agua y las condiciones del fondo marino, ya que inciden directamente en la protección de la flora y fauna marinas.
- Para conservar el patrimonio cultural que pudiera aparecer, se notificará el cominezo de los trabajos a la autoridad competente y se realizará un control arqueológico en draga.
- En cuanto al impacto sobre la pesca, se propone la redacción de un programa de vigilancia ambiental que lleve a cabo el estudio periódico de los recursos pesqueros, evaluando la incidencia real de la actividad.

9.1.2 Consideraciones ambientales para la regeneración de playas

El correspondiente proyecto de regeneración que desarrolle la solución descrita en el presente trabajo deberá contar con un Estudio de Impacto Ambiental. La Dirección General de Costas en su documento de Directrices sobre actuaciones en playas establece que deben estudiarse:

- Los posibles efectos ambientales de la actuación aún cuando no sea exigible someterla al procedimiento de evaluación de impacto ambiental.
- Las medidas preventivas, correctoras y compensatorias que procedan.
- La posibilidad de compatibilizarla con una mejora de sus condiciones como hábitat.
- La calidad de las arenas si se requiere alimentación artificial.

Puesto que no es objeto de este estudio el análisis de incidencia ambiental de la regeneración de las playas concretas del tramo P. Burriana – P. Sagunto, se describe esquemáticamente lo que debería incluir su Estudio de Impacto Ambiental.

- Antecedentes, objeto y descripción del proyecto.
- Inventario ambiental:

- Marco geográfico
- Clima
- Geología y morfología
- Hidrología
- Edafología
- Calidad atmosférica
- Calidad de las aguas
- Medio biótico
- Flora y vegetación
- Fauna
- Paisaje
- Espacios naturales protegidos
- Patrimonio cultural y arqueológico
- Cambio climático
- Medio socioeconómico

- Identificación y valoración de impactos de las obras de regeneración sobre los elementos enumerados previamente.
- Medidas preventivas, correctoras y compensatorias sobre los impactos de cara al control de sus efectos sobre la zona de actuación.

10. VALORACIÓN ECONÓMICA ESTIMATIVA DE LA SOLUCIÓN

El coste de los trabajos propuestos de regeneración artificial marina queda principalmente determinado por la draga de succión en marcha empleada para la ejecución de estos, así como por los trabajos de extendido en tierra y desmantelamiento de las obras de defensa.

Por ello se comienza mostrando la estructura de costes de una draga de succión en marcha y como se ha realizado el análisis económico de la extracción de arena (Alguacil Á., 2020) para el tramo del Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto:

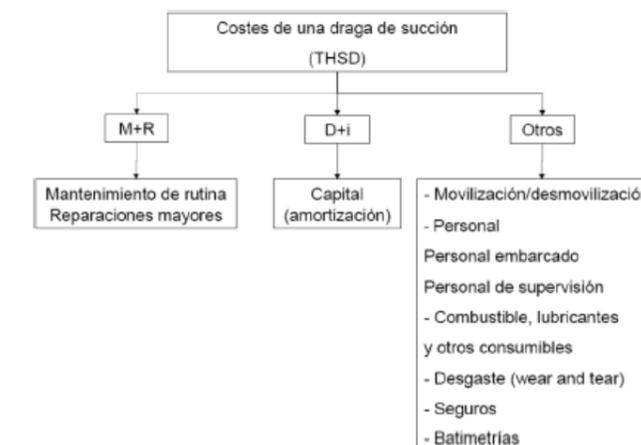


Figura 98. Costes de una draga de succión en marcha (Fuente: García y Moreno, 2010)

10.1 Análisis económico de la draga de succión en marcha

Toda la información relevante al análisis de la extracción de arena mediante la draga de succión en marcha tipo Jumbo es obtenido de Alguacil Á., 2020. Por ello se va a resumir a continuación el proceso seguido.

Costes de capital

Los equipos de dragado, en general, tienen un precio muy elevado, incrementándose si la magnitud de la draga es muy grande, como es el caso de la draga de succión en marcha tipo Jumbo considerada en este estudio. La amortización del capital invertido es uno de los conceptos más importantes del coste total de la obra. Este valor incluye la amortización del capital inicial y los intereses compensatorios de una inversión equivalente (Escalante, 2020). El periodo de amortización de una draga de succión en marcha grande es de 30 años.

A modo teórico, la cuota de capital o coste anual amortizable (CA) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$CA = (V_o - V_r) \cdot f_r + V_r \cdot i$$

Siendo:

- **CA:** Coste anual amortizable
- **V_o:** Capital inicial/8
- **V_r:** Valor residual (5% – 20%)
- **i:** Tasa de interés
- **f_r:** Factor de recuperación del capital para una vida útil (n) y tasa de interés (i) determinadas

$$f_r = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Movilización / Desmovilización

La movilización de equipos, personal y materiales necesarios para ejecutar una obra de dragado es una tarea específica de cada obra (Escalante, 2020). En caso de obras de gran magnitud como la del presente estudio, se ha de tener en cuenta que la movilización de los equipos necesarios deba realizarse desde largas distancias dado el bajo número de existencias y su uso a nivel internacional.

El coste de movilización comprende los costes directos de las operaciones necesarias para ello, incluyendo el coste de capital de los equipos en horas libres, seguros, costes de supervisión y los correspondientes a gastos generales. Al terminar los trabajos de dragado se desmovilizan todos los equipos y el personal. Este coste se calcula de forma análoga al de movilización.

Mantenimiento de rutina

Hace referencia a las tareas de mantenimiento y a las reparaciones diarias que lleva a cabo el personal de a bordo (jefe de máquinas, electricista, etc.) y su coste depende de las horas de funcionamiento. Puede realizarse una primera estimación del coste diario multiplicando el valor del equipo por un coeficiente K₁ que es función del tipo del mismo. En este caso, al tratarse de una draga de succión en marcha, se tiene K₁ = 0,000135 (Tabla 56).

Tipo de equipo	K ₁
Draga de succión en marcha	0,000135
Draga de succión con cortador	0,000140
Draga tipo retroexcavadora	0,000140
Draga de cuchara	0,000130
Barcaza autopropulsada	0,000130
Barcaza no autopropulsada	0,000025
Remolcador	0,000145

Tabla 56. Mantenimiento de rutina - Coste por día (Fuente: Bray et al., 1996)

Para reparaciones mayores, Puede realizarse una primera estimación del coste diario multiplicando el valor del equipo por un coeficiente K₂ que es función del tipo del mismo. En este caso, al tratarse de una draga de succión en marcha, se tiene K₂ = 0,000275 (Tabla 57).

Tipo de equipo	K ₂
Draga de succión en marcha	0,000275
Draga de succión con cortador	0,000300
Draga tipo retroexcavadora	0,000300
Draga de cuchara	0,000250
Barcaza autopropulsada	0,000260
Barcaza no autopropulsada	0,000050
Remolcador	0,000300

Tabla 57. Reparaciones mayores - Coste por día (Fuente: Bray et al., 1996)

Gastos generales y beneficio industrial

El beneficio industrial es el margen de ganancias que se lleva la empresa que ejecuta las obras. El porcentaje de gastos generales varía entre un 13% - 17% y el beneficio industrial suele fijarse en un 6%, aplicándose ambos sobre el presupuesto de ejecución material (PEM).

10.2 Estimación del coste económico de la extracción de arena

Con lo expuesto anteriormente y estableciendo un precio medio de dragado, transporte y vertido del material de 9,76 €/m³ (Alguacil Á., 2020) para el tramo del Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto (12.139.000 m³; 6 meses), se estima un coste económico total de la actuación de **118.476.640 €**.

Para el estimar el coste de del proceso de desmantelamiento de los 30 espigones que se ubican en el tramo objeto de este estudio se van a obtener los precios unitarios de esta unidad de obra. Para ello, se usarán los precios de mano de obra, maquinaria y materiales expresados a continuación y que han sido obtenidos del programa informático PRESTO.

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO (€)
MO		Mano de obra	
MO001	h	Capataz	33,86
MO002	h	Oficial 1ª	32,45
MO003	h	Oficial 2ª	32,14
MO004	h	Peón especializado	31,45
MO005	h	Peón ordinario	30,75
MO006	h	Ayudante	31,81

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO (€)
MAQ		Maquinaria	
MAQ001	h	Compactador vibro 160 CV	50,65
MAQ004	h	Motoniveladora 130 CV	70,10
MAQ014	h	Camión 131/160 CV bañera	42,58
MAQ017	h	Camión 161/190 CV	47,26
MAQ019	h	Retroexcavadora oruga hidráulica 110 CV	57,52
MAQ020	h	Pala cargadora ruedas 131/160 CV	58,34
MAQ021	h	Pala cargadora oruga 101/130 CV	70,14

Tabla 58. Listado de precios (Fuente: PRESTO, 2021)

A continuación se expone en detalle el cuadro resumen de precios que simplifica el coste económico del ejercicio de desmantelamiento de obras de defensa. Para ello se ha estimado la cantidad de piezas de escollera a retirar en total, pero el cálculo exacto se encuentra fuera del alcance de estos trabajos.

CAPÍTULO 2. Trabajos de desmantelamiento de obras de defensa

U. O. 01 t Retirada de escolleras a acopio

Extracción de piezas de escollera, con pesos comprendidos entre 1.4 y 4 t en formación de estructuras marinas, hasta una profundidad máxima de 3.5 metros bajo el nivel del mar, carga en camión, transporte y descarga en en acopio intermedio a una distancia menor de 1 kilómetro.

CÓDIGO	CANTIDAD / UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL
MO002	0,010 h	Oficial 1ª	32,45	0,32
MO004	0,100 h	Peón especializado	31,45	3,15
MAQ017	0,065 h	Camión 161/190 CV	47,26	3,07

MAQ019	0,095 h	Retroexcavadora oruga hidráulica 110 CV	57,52	5,46
--------	---------	---	-------	------

Suma partida..... 12,00 €
Costes indirectos (8%)..... 0,96

TOTAL PARTIDA.....12,96 €

CÓDIGO	UD.	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	PRECIO (€)	IMPORTE (€)
U.O.01	t	Extracción de piezas de escollera, con pesos comprendidos entre 1.4 y 4 t en formación de estructuras marinas, hasta una profundidad máxima de 3.5 metros bajo el nivel del mar, carga en camión, transporte y descarga en en acopio intermedio a una distancia menor de 1 kilómetro.	342.000	12,96	4.432.320

Según la estimación económica realizada para el desmantelamiento de un total de 30 obras de defensa en el tramo objeto de estudio, se concluye un coste económico total de la actuación de **4.432.320 €**.

CAPÍTULO 3. Terrazas lúdicas con material de desmantelamiento

Colocación de material de procedencia marítima formando el grueso de una estructura a modo de elevación sobre el nivel del mar, incluida carga, transporte hasta emplazamiento de las obras, vertido y posterior perfilado de la estructura según planos.

CÓDIGO	CANTIDAD / UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL
MO002	0,005 h	Oficial 1ª	32,45	0,16
MO004	0,050 h	Peón especializado	31,45	1,57
MAQ017	0,020 h	Camión 161/190 CV	47,26	0,95
MAQ020	0,044 h	Pala cargadora ruedas 131/160 CV	58,34	2,57

Suma partida..... 5,25 €
Costes indirectos (8%)..... 0,42

TOTAL PARTIDA.....5,67 €

CÓDIGO	UD.	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	PRECIO (€)	IMPORTE (€)
U.O.02	t	Colocación de material de procedencia marítima formando el grueso de una estructura a modo de elevación sobre el nivel del mar, incluida carga, transporte hasta emplazamiento de las obras, vertido y posterior perfilado de la estructura según planos.	171.000	5,67	969.570

Teniendo en cuenta el valor estimativo que se ha dado a los volúmenes de material a tratar sobre el desmantelamiento y la ejecución de las “terrazas lúdicas”, el resultado de esta valoración económica es meramente orientativo.

Con lo cual, el coste total de la alimentación artificial de las playas y el desmantelamiento de las obras de defensa así como la ejecución de las terrazas lúdicas propuestas; para la regeneración artificial de las playas entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto, asciende a **123.868.530€**; CIENTO VEINTITRÉS MILLONES OCHOCIENTOS SESENTA Y OCHO MIL QUINIENTOS TREINTA EUROS (sin IVA).

11. CONCLUSIONES

La fuerte regresión que ha sufrido la costa valenciana en las últimas décadas ha provocado la intervención continua en las playas mediante la construcción de obras de protección y aportaciones de sedimentos para hacer frente a la problemática y minimizar la velocidad de la erosión. Concretamente, el tramo costero comprendido entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto es un claro ejemplo de costa morfológicamente inestable con evidencias de fuerte recesión en sus playas y grandes acumulaciones de sedimentos al norte de los puertos que conforman el tramo.

Esta erosión generalizada se produce principalmente a la presencia de diversos puertos que suponen una barrera al transporte sólido litoral, así como a los embalses y la correspondiente disminución de material sedimentario procedente de los ríos y barrancos que desembocan en la costa, además de otras causas locales (ocupación de campos dunares, extracción de sedimentos de cauces fluviales y playas, incidencias meteorológicas, etc.).

Actualmente, a estos hechos que se han dado por causantes fundamentales de la erosión de la costa, se le añade el efecto del cambio climático en la misma, que inducirá una subida considerable del nivel del mar y con ello la inmediata regresión generalizada de la costa.

Se ha analizado que En el escenario de emisiones más favorable, para el siglo XXI se prevé una tasa de elevación en torno a 4 mm/año, lo que supone un incremento de entre 0.28 a 0.97 metros en el nivel del mar para el año 2100. Este hecho provocará la necesidad de aportación de cierto volumen de arena para restablecer el perfil original de las playas, por lo que se ha convertido en una causa relevante para la regeneración de la costa.

El presente trabajo consta en la realización de una propuesta de actuaciones a medio-largo plazo para la regeneración artificial del tramo de costa objeto de estudio, teniendo en cuenta todas las causas que provocan la erosión de la misma. Concretamente la ejecución de una regeneración artificial marina de la costa erosionada a partir de la obtención de sedimentos del yacimiento marino de arena ubicado en Cullera cuya granulometría y características físicas y biológicas se han analizado y resulta un sedimento adecuado para la regeneración de playas y cuya extracción cuenta con la Declaración de Impacto Ambiental favorable. El cálculo del volumen de arena necesario para la recuperación de los volúmenes de arena de playas erosionadas en las últimas décadas es de 12.139.000 m³.

La extracción de arena se propone mediante una draga de succión por arrastre tipo Jumbo que transporta el material hasta aproximadamente 2 km de la costa, donde se conecta mediante tubería a la misma y realiza el vertido; tras lo que se ejecutará un reperfilado de la arena vertida mediante medios terrestres.

El aporte de sedimentos se hará de manera estratégica según la dirección que sigue la dinámica litoral, creando una reserva de arena en el tramo más al norte que funcionará como aporte de sedimentos en las playas al sur mediante el trascurso natural del flujo sedimentario.

Como causa principal de la inestabilidad de la costa se tiene a las numerosas obras de protección que se ubican en las playas, por ello la alternativa escogida propone su retirada y reutilización del material procedente del desmantelamiento generando unas terrazas elevadas respecto al nivel del mar que además faciliten la adquisición de material de protección en caso de emergencia. Alcanzada la situación de estabilidad se proponen los trabajos de trasvase de arena acumulada al norte de los puertos de Siles y Sagunto mediante bypass fijo, garantizando así que se preserve el trascurso natural del flujo.

Se trata de una solución que busca devolver la línea de costa a su situación original previa a la construcción del Puerto de Sagunto, que es uno de los mayores ejemplos de barrera total al transporte de sedimentos de este país, y restituir el flujo sedimentario natural de la costa eliminando aquellos obstáculos construidos durante estos años, para que la costa se vuelva estable en si misma poco a poco.

Las playas son elementos muy valiosos a nivel medioambiental, social y económico por lo que se deben recuperar y preservar de forma sostenible, es decir, permitiendo la conservación y progresión en el presente pero sin comprometer a las generaciones futuras. Por ello se ha escogido la regeneración artificial mediante sedimentos marinos, desmantelamiento de obras de defensa y reutilización de material y bypass de sedimentos como la base para la restitución y estabilización del flujo sedimentario entre los puertos de Burriana y Sagunto.

Como última reflexión, añadir por parte de la autora que este trabajo se ha basado en la teoría de “trabajar conjuntamente con la naturaleza, y no en contra de ella”.

Bárbara Herrero Rodríguez



Valencia, Septiembre de 2021

Referencias

ADA, 1988. *Atlas diques de abrigo en España*. Dirección General de Puertos y Costas del MOPU.

Alguacil Á., 2020. *Estudio de la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia*. Trabajo Fin de Máster. Valencia. Accedido Junio 2021.

Aragonés, L., Pagán, J.I., López, M.P., Serra, J.C., 2019. *Cross-shore sediment transport quantification on depth of closure calculation from profile surveys*. Coastal Engineering 151, 64-77.

ROM 3.1-99, 1992. *Recomendaciones para Obras Marítimas. Anejo I. Clima Marítimo en el Litoral Español*. Dirección General de Puertos. [Online] Disponible en: <http://www.puertos.es/es-es/ROM>.

Accedido 29 Abril 2021

Aragonés, L., Pagán, J.I., López, I., Serra, J.C., 2018. *Depth of closure: New calculation method based on sediment data*. International Journal of Sediment Research 33(2018)198-207.

Bonanata, R., Medina, R., Silveira, L., Benedet, L., 2010. *Metodología para la caracterización del clima marítimo en un punto cerca de la costa a partir de una serie de datos en aguas profundas*. En: VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria Seminario Latinoamericano "Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina".

Olcina, J., 2009. *Cambio climático y riesgos climáticos en España*. Investigaciones Geográficas, nº 49 (2009) pp. 197-220.

IPCC, 2014. *Cambio climático 2014. Informe de síntesis*. [Online] Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf. Accedido Mayo 2021.

Bray, R., Bates, A. and Land, J., 1996. *Dredging: A Handbook for Engineers*.

Bruun, P., 1962. *Sea-level rise as a cause of shore erosion*. Journal of Waterways and Harbours Division, 88, WW1, 1, 17-130.

CEDEX, 2010. *5 Evaluación Preliminar de Riesgos de Inundación en las Zonas Costeras de la Demarcación Hidrográfica del Júcar*. Madrid. [Online] Disponible en: https://www.chj.es/es-es/medioambiente/GestionRiesgosInundacion/Documents/ANEJO_5.pdf. Accedido Mayo 2021.

CEDEX, 2013. *Materiales de dragado*. [Online] Disponible en: http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_MATERIALESDERAGADODIC2013.pdf. Accedido 25 Abril 2021.

SPM, 1984. *Shore Protection Manual*. Coastal Engineering Research Center. Capítulo 1. Vicksburg, Mississippi. 337 págs. [Online] Disponible en: <http://ft-sipil.unila.ac.id/dbooks/S%20P%20M%201984%20volume%201-1.pdf>. Accedido Abril 2021.

CEDEX, 2015. *Estudios de dinámica litoral, defensa y propuestas de mejora en las playas con problemas erosivos, considerando los efectos del cambio climático: Estrategia de actuación del tramo de costa*

comprendido entre el Puerto de Castellón y el Puerto de Sagunto (Castellón sur). Informe final. Madrid, 129 pág. (Clave CEDEX: : 22-414-5-002). [online] Disponible en:

https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccioncosta/estrategiaactuacioncastellonsurfinalmemoriared1b_tcm30-163216.pdf. Accedido 15 abril 2021.

De la Peña, J.M., Sánchez, J.F., 2018. *Respuesta de la costa a las variaciones del nivel del mar: efecto sobre las playas en España*. Ingeniería Civil 191/2018.

Escalante, R., 2019. Ingeniería de dragado. *Draga de succión por arrastre*. [Online] Disponible en:

http://www.graduadosportuaria.com.ar/descarga/vias_Navegables/ingenieria_dragado/DR_A_T9.pdf. Accedido Julio 2021.

Fatorić, S. y Chelleri, L., 2011. *Vulnerability to the effects of climate change and adaptation: The case of the Spanish Ebro Delta*. Ocean Coastal Management, 60, 1-10.

García, A., Moreno, L., 2010. *Proyecto de extracción de arena en aguas profundas de Valencia para alimentación de playas y Estudio de Impacto Ambiental*. Ministerio de Medio Ambiente.

Hallermeier, R.J., 1981. *A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate*. Coastal Engineering, 4: 253-277.

Ibarra Marinas, A.D., Belmonte Serrato, F., Rubio Iborra, J., 2016. *El impacto territorial del uso agrícola y turístico del litoral: evolución de los cambios de uso del suelo en las cuencas litorales del sur de la Región de Murcia (1956-2013)*. Boletín de la A.G.E., 72 (en prensa).

Ibarra Marinas, A.D., Belmonte Serrato, F., 2017. *Comprendiendo el litoral: Dinámica y procesos*. Murcia. 67 págs. [Online] Disponible en: <https://www.age-geografia.es/site/wp-content/uploads/2017/12/IbarraBelmonte.pdf>. Accedido 29 Abril 2021.

IH Cantabria, 2011. *Asistencia técnica para el estudio integral de alternativas de actuación en el tramo de costa comprendido entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto*. Ministerio de Medio Ambiente. Documento final. 62pp. [online] Disponible en:

https://www.miteco.gob.es/images/es/docadicionalalestudioimpambiental_red_tcm30-442970.pdf. Accedido Mayo 2021.

Kraus, N.C., Larson, M., Wise, R.A., 1998. *Depth of closure in beach-fill design*. Coastal Engineering Technical Note CETN II-40, 3/98. Vicksburg, MS: U.S.

Losada, I., Izaguirre, C. & Diaz, P. 2014. *Cambio climático en la costa española*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 133 pág. [online] Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2014%20INFORME%20C3E%20final_tcm30-178459.pdf. Accedido 30 abril 2021.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (2008). *“Directrices sobre actuaciones en playas”*. Madrid. [Online] Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/costas/publicaciones/directrices_sobre_playas_tcm30-161257.pdf. Accedido Junio 2021.

MMA, 2007. *Estrategia para la sostenibilidad de la Costa*. Documento de inicio. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Costas, Madrid. 21 pp. [online] Disponible en: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0721771.pdf>. Accedido 2 de mayo 2021

MOP. DIRECCIÓN GENERAL DE PUERTOS Y SEÑALES MARÍTIMAS (1970). *Guía para la redacción de avances de planes de ordenación general de playas*. 21 pp.

Simulaciones y Proyectos, 2020. *Clasificación climática mundial Según Köppen Geiger - Simulaciones y Proyectos*. [online] Disponible en: <https://www.simulacionesyproyectos.com/blog-ingenieria-arquitectura/clasificacionclimatica/>. Accedido 20 abril 2021.

PTGVA, 2020. Información general Puerto de Burriana. Política Territorial Generalitat Valenciana. Puertos GV. [Online] Disponible en: <https://politicaterritorial.gva.es/es/web/puertos/puertos-cv/puertos-gv/burriana/informacion-general>. Accedido Mayo 2021.

PATLCV, 2005. *Plan de Acción Territorial del Litoral de la Comunidad Valenciana. Documento de información*. Conselleria de Territorio y Vivienda. [Online] Disponible en: <https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0556809.pdf>. Accedido 5 Mayo 2021.

PATRICOVA. *Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana*. Visor cartográfico web. Generalitat Valenciana. [Online] Disponible en: <https://politicaterritorial.gva.es/es/web/planificacion-territorial-e-infraestructura-verde/patricova-plan-de-accion-territorial-de-caracter-sectorial-sobre-prevencion-del-riesgo-de-inundacion-en-la-comunitat-valenciana>. Accedido 20 Abril 2021.

Puertos.es., 2021. Página Inicio | Puertos.es. [Online] Disponible en: <http://www.puertos.es/>. Accedido Abril 2021.

SIERRA, J.P. Y LO PRESTI, A. (1998). *Estudio comparativo de criterios de rotura del oleaje regular*. [Online] Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/2977/51article2.pdf>. Accedido Junio 2021.

Taal, M.D (Deltares); Löffler, M.A.M. (Landwijzer); Vertegaal, C.T.M. (Vertegaal ecologisch advies); Wijsman, J.W.M. (Imares); Van der Valk, L.; Tonnon, P.K. (Deltares), 2016. *Ontwikkeling van de Zandmotor*. Holanda. 62 págs. [Online] Disponible en: <https://dezandmotor.nl/app/uploads/2020/10/monitoring-en-evaluatierapport-zandmotor-ned.pdf>. Accedido 15 Junio 2021.

Anejo 1. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Relación del TFM “Estudio de soluciones para la regeneración artificial de las playas entre el Puerto de Buriana y el Puerto de Sagunto” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.		X		
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.			X	
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.		X		
ODS 12. Producción y consumo responsables.				X
ODS 13. Acción por el clima.		X		
ODS 14. Vida submarina.	X			
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.		X		
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.			X	

Tabla 59. Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

El presente TFM propone la regeneración artificial de un gran tramo de costa (28 km), por lo que la actuación afectará directa e indirectamente al trabajo y crecimiento de la zona, es decir, se incrementará el ámbito laboral y el valor turístico de las playas.

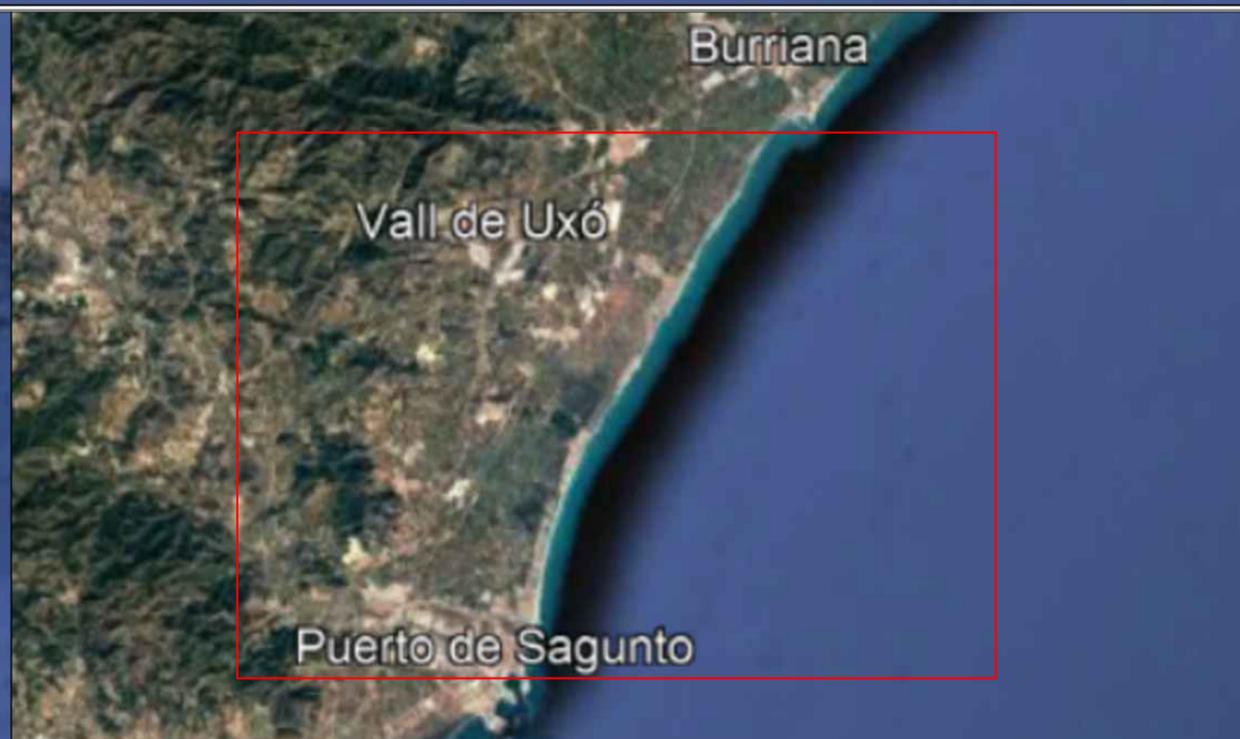
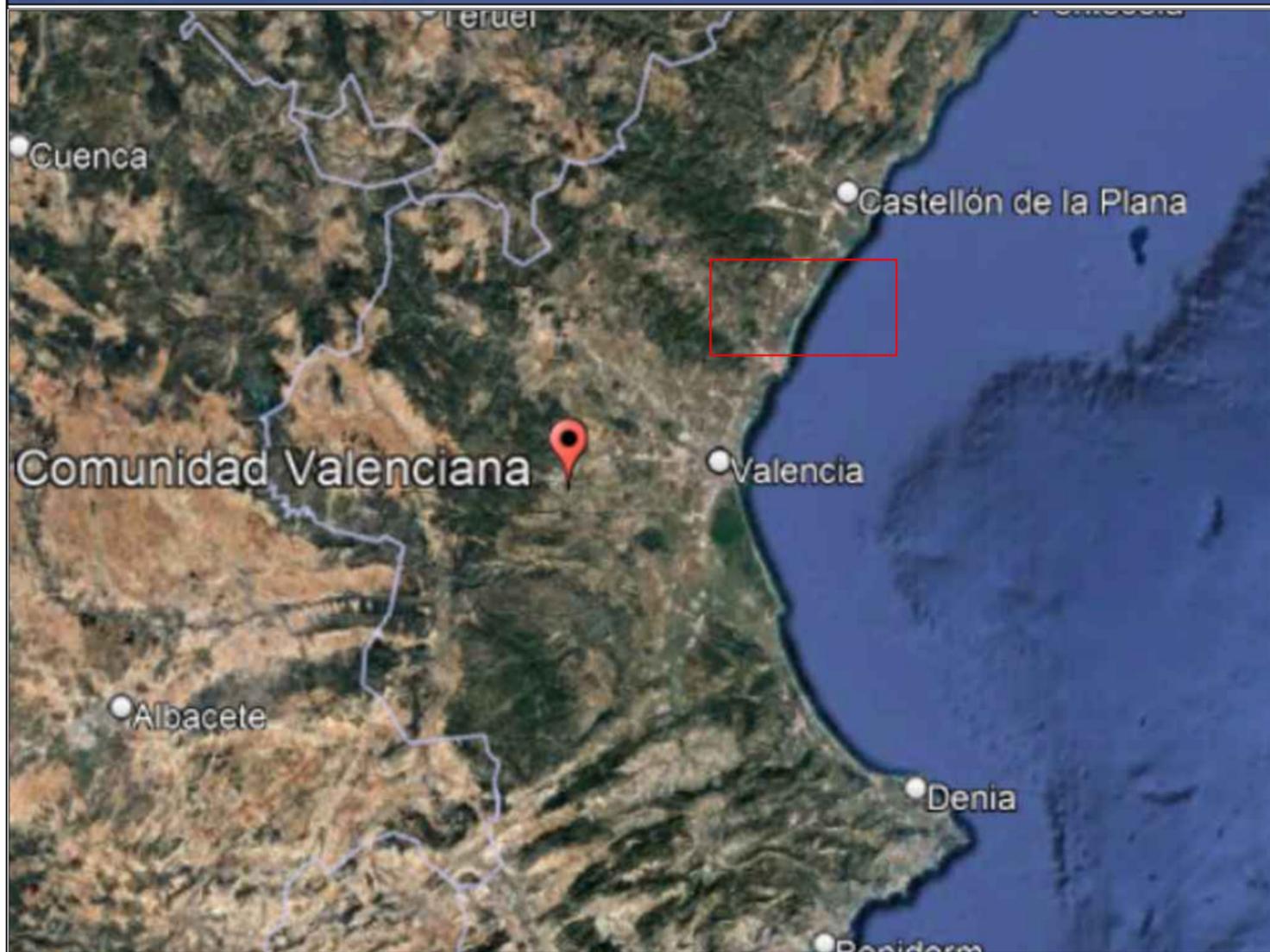
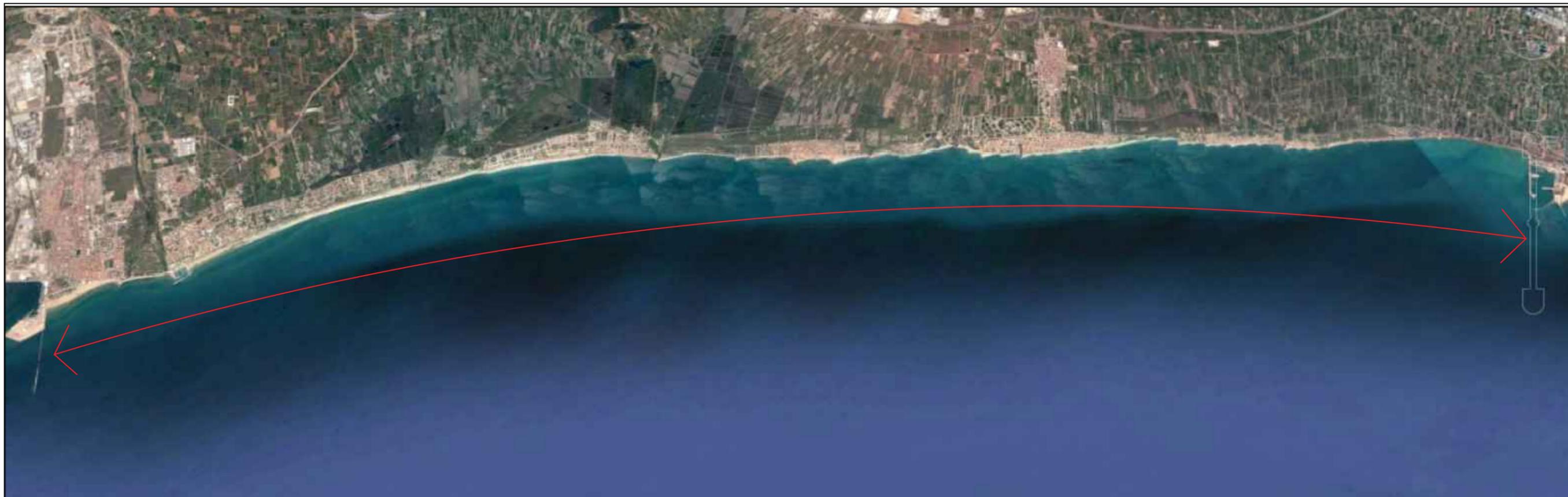
Por otro lado, se propone el desmantelamiento de las obras de defensa, hecho que supone una innovación ya que, por lo general, se tiene a construir obras en la costa y no a realizar lo contrario. Con este hecho y la estrategia de regeneración propuesta en este trabajo se busca aportar una solución efectiva y sostenible para evitar que se estén ejecutando trabajos de mantenimiento continuos en las playas, y que, a pesar de ser una alternativa que requiere grandes recursos económicos, se beneficien de esta actuación tanto las generaciones presentes como las futuras.

En cuanto al clima, se ha estudiado el efecto del calentamiento global y el cambio climático y la correspondiente subida del nivel del mar, por lo que se ha tomado una medida preventiva en función de lo que puede retroceder la línea de costa en un escenario dentro de 50 y 100 años, para combatirlo y poder garantizar la sostenibilidad de las actuaciones realizadas.

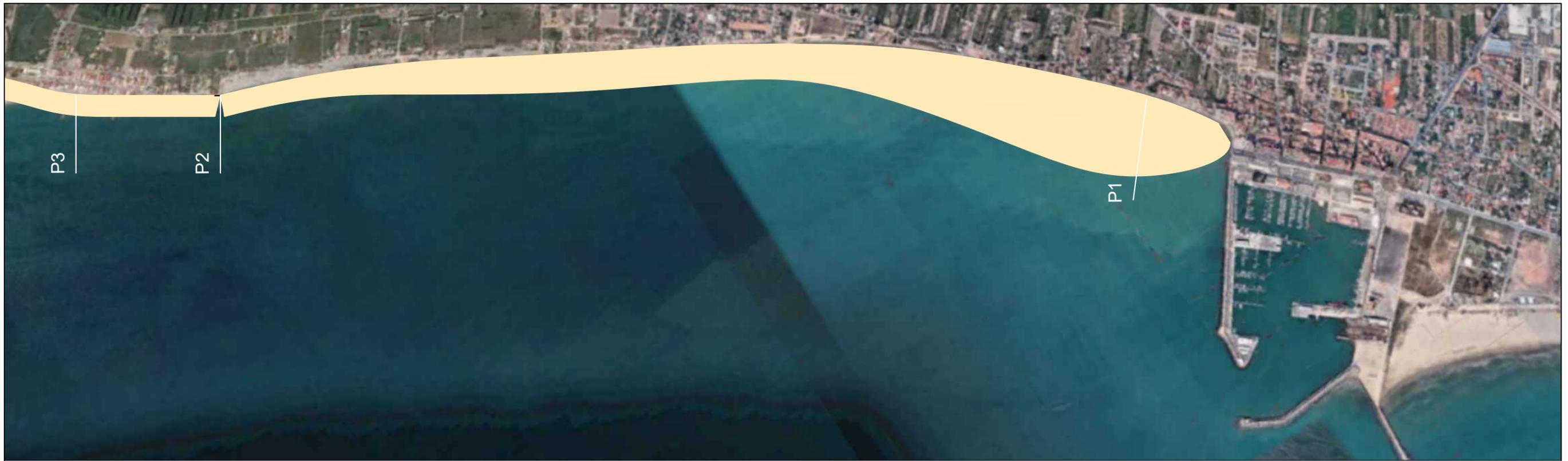
Es evidente que las actuaciones de regeneración y restitución del flujo sedimentario estarán altamente relacionadas con la biodiversidad marina y con el ecosistema terrestre de las playas. Los trabajos de dragado del depósito marino de Cullera pueden suponer ciertos riesgos ambientales y que generarán un impacto sobre el ecosistema marino. Por ello, se debe realizar un estudio de impacto ambiental que garantice la protección de espacios naturales y de las comunidades marinas (vegetales y animales) existentes. Los posibles impactos negativos deberán ser nulos o, al menos, reversibles con el tiempo, y se propondrán las medidas correctoras y compensatorias oportunas. Lo mismo ocurre con la biodiversidad terrestre que ocupa la costa.

Por último, todas las partes que participen en el desarrollo de esta actuación deberán comprometerse con la Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible para asegurar su consecución desde el inicio de los trabajos.

Anejo 2. PLANOS



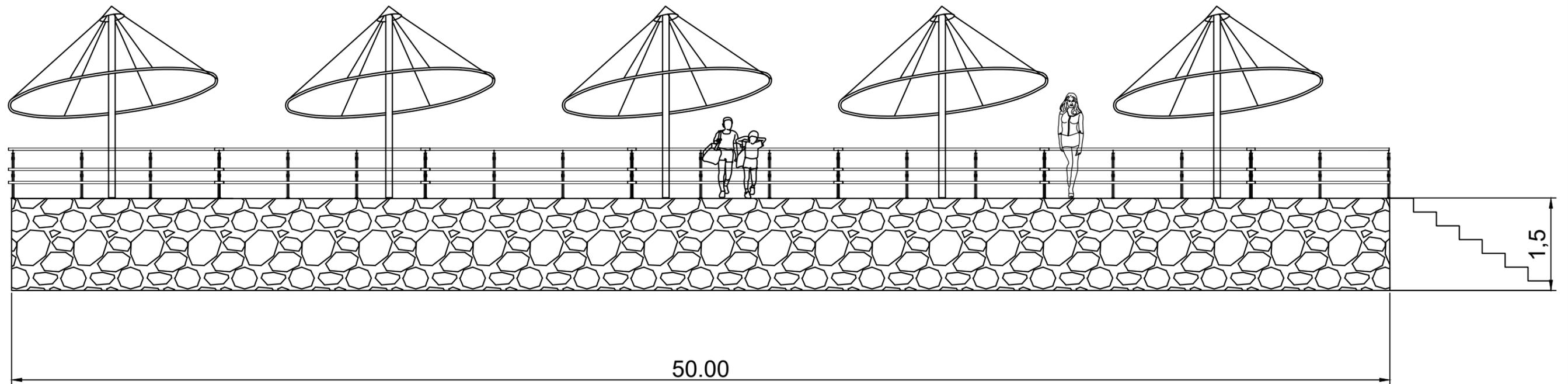
TÍTULO Localización		ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LAS PLAYAS ENTRE EL PUERTO DE BURRIANA Y EL PUERTO DE SAGUNTO
Nº PLANO 1		
AUTOR Bárbara Herrero Rodríguez	FECHA Septiembre 2021	
TUTOR Josep Ramon Medina Folgado	FIRMA 	



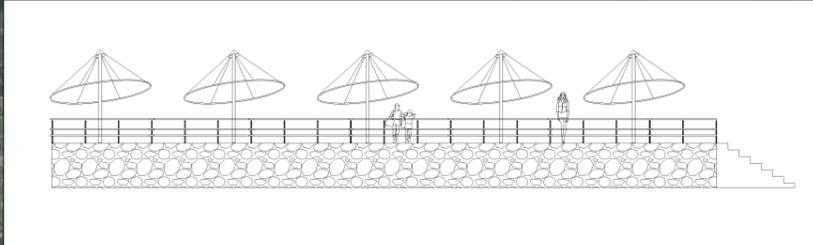
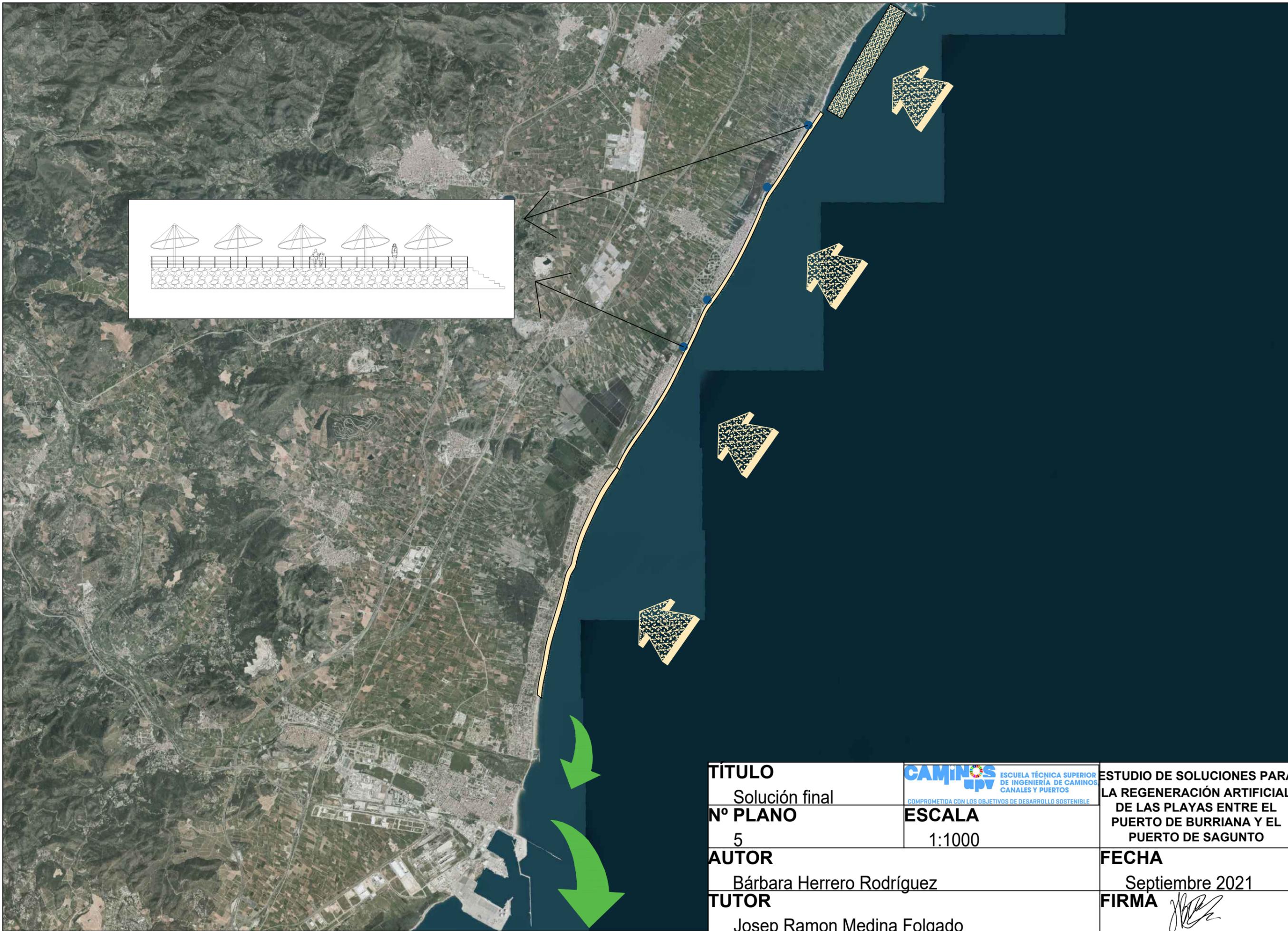
TÍTULO Perfiles (1-14) en planta		ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LAS PLAYAS ENTRE EL PUERTO DE BURRIANA Y EL PUERTO DE SAGUNTO
Nº PLANO 2		
AUTOR Bárbara Herrero Rodríguez	FECHA Septiembre 2021	
TUTOR Josep Ramon Medina Folgado	FIRMA 	



TÍTULO Perfiles (15-32) en planta	 <small>ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS CANALES Y PUERTOS</small> <small>COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE</small>	ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LAS PLAYAS ENTRE EL PUERTO DE BURRIANA Y EL PUERTO DE SAGUNTO
Nº PLANO 3		
AUTOR Bárbara Herrero Rodríguez	FECHA Septiembre 2021	
TUTOR Josep Ramon Medina Folgado	FIRMA 	



TÍTULO Alzado terraza		ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LAS PLAYAS ENTRE EL PUERTO DE BURRIANA Y EL PUERTO DE SAGUNTO
Nº PLANO 4		
AUTOR Bárbara Herrero Rodríguez		FECHA Septiembre 2021
TUTOR Josep Ramon Medina Folgado		FIRMA



TÍTULO Solución final		ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LAS PLAYAS ENTRE EL PUERTO DE BURRIANA Y EL PUERTO DE SAGUNTO
Nº PLANO 5		
AUTOR Bárbara Herrero Rodríguez	FECHA Septiembre 2021	
TUTOR Josep Ramon Medina Folgado	FIRMA 	