



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

TRABAJO DE 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.

Presentado por

Alguacil Jiménez, Ángela

Para la obtención del

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2020

Tutor: Josep Ramon Medina Folgado

Cotutor: M. Esther Gómez Martín



Resumen

La costa de la Comunidad Valenciana se ha mantenido estable durante siglos, con una gran playa que fluía desde el Delta del Ebro hasta el Puerto de Denia. Sin embargo, en las últimas décadas, muchas playas se han visto sometidas a intensos procesos erosivos artificiales cuya causa principal ha sido la construcción de numerosas barreras fluviales (presas) y litorales (puertos, espigones, etc.).

Por un lado, los embalses pierden capacidad por aterramiento e interrumpen el flujo de sedimentos fluviales hacia el mar, provocando una erosión generalizada. Por otro lado, las barreras litorales impiden el flujo a lo largo de la costa, lo que implica que en algunas zonas se acumule material (acreción) mientras en otras se pierde (erosión localizada). A estos problemas se debe añadir el calentamiento global, ya que lleva asociada una subida del nivel medio del mar que también favorece la erosión generalizada del litoral.

La existencia de un yacimiento de material sedimentario en aguas profundas frente a Cullera (DIA de 2013) permite plantear una regeneración a gran escala de las playas que conforman la costa valenciana. En la primera parte del trabajo se analiza la situación actual, lo que incluye el estudio del clima marítimo y de la dinámica litoral, así como la influencia del cambio climático. Además, se detallan las características del depósito de arena y la caracterización de sedimentos. Con relación al flujo sedimentario fluvial, se determina el aterramiento en los embalses. En la segunda parte se describe la propuesta de actuación, que se centra en los trabajos de dragado del material sedimentario, la regeneración de playas, y el planteamiento de programas de trasvase de arenas y desmantelamiento de obras de defensa. Todo ello supone el estudio completo de la *restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el delta del Ebro y el puerto de Denia*.

Palabras clave: playa, yacimiento, regeneración, restitución.

Resum

La costa de la Comunitat Valenciana s'ha mantingut estable durant segles, amb una gran platja que fluïa des del delta de l'Ebre fins el port de Dènia. No obstant això, en les últimes dècades, moltes platges s'han vist sotmeses a intensos processos erosius artificials la causa principal dels quals ha segut la construcció de nombroses barreres fluvials (preses) i litorals (ports, espigons, etc.).

D'un costat, els embassaments perden capacitat per l'aterrament e interrompen el flux de sediments fluvials fins el mar, provocant una erosió generalitzada. D'altra banda, les barreres litorals impedeixen el flux al llarg de la costa, el que implica que en algunes zones s'acumule material (acreció) mentre que en altres es perda (erosió localitzada). A aquests problemes cal anyadir el calfament global, que porta associada una pujada del nivell del mar que també afavoreix la erosió generalitzada del litoral.

L'existència d'un jaciment de material sedimentari en aigües profundes a la platja de Cullera (DIA de 2013) permet plantejar una regeneració a gran escala de les platges que conformen la costa valenciana. A la primera part del treball s'analitza la situació actual, el que inclou l'estudi del clima marítim i de la dinàmica litoral, així com la influència del canvi climàtic. A més, es detallen les característiques del dipòsit d'arena i la caracterització dels sediments. Amb relació al flux sedimentari fluvial, es determina l'aterrament dels embassaments. A la segona part, es descriu la proposta d'actuació, que es centra en els treballs de dragatge del material sedimentari, la regeneració de les platges i el plantejament de programes de transvasament i el desmantellament d'obres de defensa. Tot això suposa l'estudi complet de la *restitució del flux sedimentari fluvial i litoral de la costa valenciana entre el delta de l'Ebre i el port de Dènia*.

Paraules clau: platja, jaciment, regeneració, restitució.

Abstract

The coast of the Valencian Community has remained stable for centuries, with a large beach flowing from the Ebro Delta to the Port of Denia. However, in recent decades, many beaches have been subjected to intense artificial erosive processes whose main cause has been the construction of numerous river barriers (dams) and coastlines (ports, breakwaters, etc.).

On the one hand, reservoirs lose capacity due to silting and interrupt the flow of river sediments into the sea, causing widespread erosion. On the other hand, litoral barriers impede flow along the coast, which implies that material accumulates in some areas (accretion) while it is lost in other ones (localized erosion). Also, global warming must be considered, since it causes an increase of the mean sea level which also leads to the widespread erosion of the coast.

The existence of a sedimentary material deposit in deep water off Cullera (EIS 2013) enables to propose a large-scale regeneration of the beaches constituting the valencian coast. The first part of the work analyses the current situation, including the study of the maritime climate and coastal dynamics, as well as the influence of climate change. In addition, the characteristics of the sand deposit and the characterization of sediments are detailed. Regarding river sedimentary flow, the silting in the reservoirs is determined. The second part describes the action proposal, which focuses on the dredging of sedimentary material, beach regeneration, and the approach of sand transfer programs and dismantling of defence works.

All this involves the complete study of the *restitution of the fluvial and litoral sedimentary flow of valencian coast between the Ebro delta and the port of Denia.*

Key words: beach, deposit, regeneration, restitution.

Índice

1.	Introducción.....	14
2.	Análisis de la situación actual	15
2.1.	Bases de partida.....	15
2.2.	Yacimiento de material sedimentario.....	16
2.3.	Clima marítimo	18
2.3.1.	Climatología.....	19
2.3.2.	Fuentes de datos.....	19
2.3.3.	Caracterización del régimen medio.....	19
2.3.4.	Caracterización del régimen extremal.....	29
2.3.5.	Conclusiones.....	31
2.4.	Dinámica litoral.....	31
2.4.1.	Conceptos del transporte de sedimentos	32
2.4.2.	Profundidad de cierre.....	33
2.4.3.	Transporte longitudinal de sedimentos	34
2.4.4.	Evolución de la línea de costa entre 1956 y 2018.....	35
2.4.5.	Formulación para el cálculo teórico del transporte sólido litoral.....	41
2.4.6.	Transporte sólido litoral en la zona de actuación.....	43
2.4.7.	Conclusiones.....	44
2.5.	Influencia del cambio climático	44
2.5.1.	Escenarios de emisiones	45
2.5.2.	Elevación del nivel del mar.....	46
2.5.3.	Efecto de la subida del nivel del mar en las playas.....	48
2.6.	Caracterización de sedimentos	49
2.6.1.	Caracterización del yacimiento.....	50
2.6.2.	Caracterización de playas	51
2.6.3.	Conclusiones.....	52
2.7.	Transporte sedimentario fluvial	52
2.7.1.	Aterramiento en embalses.....	53
3.	Propuesta de actuación: restitución del flujo sedimentario litoral	55
3.1.	Volumen necesario para la regeneración de playas.....	55
3.1.1.	División por tramos	55
3.1.2.	Estimación del volumen de arena por tramos	55
3.2.	Estudio técnico de la extracción de arena	58
3.2.1.	Zona de dragado.....	58
3.2.2.	Equipo de dragado	59
3.2.3.	Procedimiento de dragado.....	62
3.2.4.	Seguimiento técnico de la extracción de arena	66
3.2.5.	Cálculo estimativo de la producción y tiempo de dragado	66
3.2.6.	Cálculo de la producción y tiempo de dragado en los diferentes tramos	71

3.2.7.	Conclusiones	75
3.3.	Estudio económico de la extracción de arena.....	75
3.3.1.	Costes de capital	76
3.3.2.	Movilización / Desmovilización	77
3.3.3.	Personal.....	77
3.3.4.	Combustible, lubricantes y otros consumibles.....	78
3.3.5.	Desgaste (wear and tear).....	78
3.3.6.	Seguros	78
3.3.7.	Levantamientos batimétricos	78
3.3.8.	Mantenimiento de rutina	79
3.3.9.	Reparaciones mayores	79
3.3.10.	Gastos generales y beneficio industrial.....	80
3.3.11.	Estimación del coste económico	80
3.4.	Alimentación y acondicionamiento de una playa.....	81
3.4.1.	Conceptos previos.....	81
3.4.2.	Perfil de diseño de la playa	82
3.4.3.	Actuaciones a realizar	82
3.5.	Planificación de trabajos	83
3.6.	Consideraciones ambientales	89
3.6.1.	Elementos ambientales significativos del entorno del yacimiento.....	90
3.6.2.	Condicionantes ambientales.....	91
3.6.3.	Valoración de impactos.....	92
3.6.4.	Medidas preventivas y correctoras.....	92
3.6.5.	Programa de vigilancia ambiental.....	93
3.6.6.	Consideraciones para la regeneración de playas.....	93
3.7.	Programa de trasvases de arena.....	94
3.8.	Desmantelamiento de obras de defensa.....	96
3.8.1.	Identificación de las obras de defensa existentes	97
3.8.2.	Usos del hormigón reciclado	99
4.	Conclusiones.....	101
5.	Referencias	103
Anexo 1.	Resultados de la capacidad de transporte longitudinal	106
Anexo 2.	Caracterización de playas de la costa valenciana	116
Anexo 3.	Zonificación por tramos	119
Anexo 4.	Programa de trabajos	129
Anexo 5.	Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	131

Índice de tablas

Tabla 1. Área de extracción y volumen de arena de cada polígono.....	17
Tabla 2. Volúmenes de material obtenidos en estudios anteriores.	18
Tabla 3. Volúmenes de material aptos para regeneración de cada polígono.	18
Tabla 4. Información relativa a los puntos SIMAR empleados.	20
Tabla 5. Frecuencia de alturas de ola superiores a 2 metros en el punto SIMAR 2083111.....	23
Tabla 6. Información relativa a los puntos empleados.....	33
Tabla 7. Valores de la profundidad de cierre en playas valencianas para periodos de retorno de 20 años.....	34
Tabla 8. Valores de la profundidad de cierre en distintos puntos de la zona de estudio.....	34
Tabla 9. Profundidad de cierre para un periodo de retorno de 50 años.....	34
Tabla 10. Parámetros de cálculo.	42
Tabla 11. Estimación de la capacidad de transporte longitudinal de sedimentos.	43
Tabla 12. Proyecciones del nivel del mar para los distintos escenarios RCP.	47
Tabla 13. Subida del nivel del mar en el siglo XXI.....	47
Tabla 14. Características granulométricas del árido del yacimiento.....	51
Tabla 15. Características del material granular.....	52
Tabla 16. Características del material granular en playas conformadas únicamente por arenas.....	52
Tabla 17. Situación de los embalses en 2003.....	53
Tabla 18. Situación en 2050.....	54
Tabla 19. Volumen de arena necesario para la regeneración de cada tramo.....	56
Tabla 20. Volumen de arena necesario para compensar la subida del nivel del mar.....	57
Tabla 21. Zonas de interés en la comunidad valenciana.	58
Tabla 22. Clasificación de dragas de succión en marcha.....	60
Tabla 23. Dragas tipo Jumbo.	61
Tabla 24. Tipos de cabezal y aplicación.	62
Tabla 25. Hipótesis de partida para determinar el ciclo de la draga.	66
Tabla 26. Factor de esponjamiento según el tipo de terreno.....	67
Tabla 27. Calificación del personal.....	70
Tabla 28. Volúmenes requeridos y distancia media de cada tramo.	71
Tabla 29. Características de una draga de succión en marcha tipo Jumbo – Cristóbal Colón (2008).72	
Tabla 30. Resumen de volumen necesario y tiempo de dragado para cada tramo.....	75
Tabla 31. Periodo de amortización de equipos.	76
Tabla 32. Mantenimiento de rutina – Coste por día.....	79
Tabla 33. Reparaciones mayores – Coste por día.	79
Tabla 34. Coste económico de extracción de arena para cada tramo.....	80
Tabla 35. Tiempo de dragado de cada tramo.	84
Tabla 36. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2090124 (Peñíscola).	107
Tabla 37. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto 2090124 (Peñíscola).....	107
Tabla 38. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2088123 (Arsilaga).	108



Tabla 39. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2088123 (Arsilaga).....	108
Tabla 40. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2084118 (Burriana).....	109
Tabla 41. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2084118 (Burriana).	109
Tabla 42. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2081115 (Puig).	110
Tabla 43. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2081115 (Puig).	110
Tabla 44. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2081114 (Malvarrosa).	111
Tabla 45. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2081114 (Malvarrosa).	111
Tabla 46. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2081112 (El Saler).....	112
Tabla 47. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2081112 (El Saler).....	112
Tabla 48. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2082110 (San Antonio).....	113
Tabla 49. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2082110 (San Antonio).	113
Tabla 50. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2083108 (Oliva).....	114
Tabla 51. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2083108 (Oliva).....	114
Tabla 52. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2085107 (Les Deveses).....	115
Tabla 53. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2085107 (Les Deveses).	115
Tabla 54. Caracterización de playas de la costa valenciana.....	117
Tabla 55. Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).	132

Índice de figuras

Figura 1. Puertos de la Comunidad Valenciana.....	15
Figura 2. Flujo natural de sedimentos.....	16
Figura 3. Ubicación del yacimiento.....	16
Figura 4. Polígonos de extracción.....	17
Figura 5. Localización de los puntos SIMAR empleados.....	20
Figura 6. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2083111.....	21
Figura 7. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2083111.....	22
Figura 8. Frecuencias anuales por altura de ola y dirección de procedencia en el punto SIMAR 2083111.....	22
Figura 9. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2083111.....	23
Figura 10. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2090124.....	23
Figura 11. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2090124.....	24
Figura 12. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2090124.....	25
Figura 13. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2081114.....	25
Figura 14. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2081114.....	26
Figura 15. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2081114.....	27
Figura 16. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2085107.....	27
Figura 17. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2085107.....	28
Figura 18. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2085107.....	29
Figura 19. Localización e información de la Boya de Valencia.....	29
Figura 20. Régimen extremal escalar del oleaje de la Boya de Valencia.....	30
Figura 21. Valores y parámetros del régimen extremal escalar del oleaje de la Boya de Valencia.....	30
Figura 22. Rosa de altura significativa de la Boya de Valencia.....	31
Figura 23. Esquema de descomposición del oleaje y del transporte de sedimentos generado.....	32
Figura 24. Localización de los puntos empleados.....	32
Figura 25. Variación del transporte longitudinal a lo largo del tiempo.....	35
Figura 26. Tipos de transporte longitudinal de sedimentos.....	35
Figura 27. Evidencias morfológicas del transporte sólido longitudinal.....	35
Figura 28. Evidencias morfológicas del transporte sólido longitudinal.....	36
Figura 29. Líneas de costa de los años 1956, 1997 y 2018 respectivamente.....	36
Figura 30. Evolución de la línea de costa en la playa Norte de Peñíscola (Peñíscola).....	37
Figura 31. Evolución de la línea de costa en la playa del Arenal (Burriana).....	37
Figura 32. Evolución de la línea de costa al sur del Puerto de Burriana (Burriana).....	38
Figura 33. Evolución de la línea de costa en la playa de Meliana (Meliana).....	38
Figura 34. Evolución de la línea de costa en la playa de La Malvarrosa (Valencia).....	39
Figura 35. Evolución de la línea de costa en la playa El Saler (Valencia).....	39

Figura 36. Evolución de la línea de costa la playa de Oliva-Pau Pi (Oliva).	40
Figura 37. Evolución de la línea de costa en la playa Les Deveses (Denia).	40
Figura 38. Relación de ángulos para el cálculo de transporte longitudinal.	43
Figura 39. Estimación de la capacidad de transporte longitudinal de sedimentos.	44
Figura 40. Emisiones antropogénicas anuales totales de GEI por gases, 1970-2010.	45
Figura 41. Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂).	45
Figura 42. Proyección de elevación del nivel medio global del mar en el siglo XXI.	46
Figura 43. Proyecciones probabilísticas del aumento global del nivel del mar (SLR) para ambos escenarios en relación con los niveles de 1986–2005.	47
Figura 44. Variables de la Regla de Bruun (1962).	48
Figura 45. Retroceso en playas debido a la subida del nivel del mar en el año 2040.	49
Figura 46. Clasificación de partículas de Rusell y Taylor.	50
Figura 47. Ejemplos de tipos de arena.	50
Figura 48. Muestra de arena del yacimiento.	51
Figura 49. Acumulación de sedimentos en embalses.	53
Figura 50. Transporte de sedimentos en la zona de actuación.	54
Figura 51. División en tramos de la costa.	55
Figura 52. Valores considerados para el cálculo del volumen de arena.	56
Figura 53. Regla de Bruun (1962).	57
Figura 54. Ejemplo de medida en QGIS.	57
Figura 55. Ubicación de las zonas de interés.	59
Figura 56. Clasificación de las dragas.	59
Figura 57. Draga de succión en marcha.	60
Figura 58. Partes del tubo de succión.	61
Figura 59. Fases del ciclo de dragado.	63
Figura 60. Ciclo de dragado.	63
Figura 61. Grado de llenado de la cántara.	64
Figura 62. Curvas de carga de una draga de succión en marcha.	68
Figura 63. Valor del parámetro f_e .	69
Figura 64. Situación del yacimiento.	71
Figura 65. Costes de una draga de succión en marcha.	76
Figura 66. Zonificación de las playas.	81
Figura 67. Perfil de la playa.	81
Figura 68. Perfiles de barra y de berma.	82
Figura 69. Criterio para el ancho de playa seca.	82
Figura 70. Maquinaria para extensión de arena.	83
Figura 71. Vertido y extensión de arena.	83
Figura 72. Resumen de volumen y distancia media de cada tramo considerado.	84
Figura 73. Zonas a regenerar en el Tramo 1.	85
Figura 74. Zonas a regenerar en el Tramo 2.	86

Figura 75. Zona a regenerar en el Tramo 3.	86
Figura 76. Zonas a regenerar en el Tramo 4.	87
Figura 77. Zonas a regenerar en el Tramo 5.	87
Figura 78. Zonas a regenerar en el Tramo 6.	88
Figura 79. Zonas a regenerar en el Tramo 7.	88
Figura 80. Zonas a regenerar en el Tramo 8.	89
Figura 81. Zona a regenerar en el Tramo 9.	89
Figura 82. Zonas LIC y ZEPA próximas al yacimiento.	91
Figura 83. Opciones para el trasvase de arena en el Puerto de Valencia.	95
Figura 84. Ejemplo de trasvase por vía terrestre.	95
Figura 85. Ubicación de los puertos donde se debe trasvasar arena.	96
Figura 86. Ejemplo de obras de defensa en El Puig.	96
Figura 87. Obras de defensa en la zona de Vinaroz.	97
Figura 88. Obras de defensa en las zonas de Torreblanca (izq.) y Benicasim (dcha.)	97
Figura 89. Obras de defensa en las zonas de Castellón (izq.) y Burriana (dcha.)	98
Figura 90. Obras de defensa entre el puerto de Sagunto y el puerto de Valencia.	98
Figura 91. Obras de defensa entre el puerto de Valencia y Cullera.	99
Figura 92. Obras de defensa entre en Les Deveses.	99
Figura 93. Vista general de una planta de reciclado de escombros.	100
Figura 94. Detalle 1 del Tramo 1.	120
Figura 95. Detalle 2 del Tramo 1.	120
Figura 96. Zonificación del Tramo 1.	120
Figura 97. Detalle 1 del Tramo 2.	121
Figura 98. Detalle 2 del Tramo 2.	121
Figura 99. Zonificación del Tramo 2.	121
Figura 100. Detalle 1 del Tramo 3.	122
Figura 101. Detalle 2 del Tramo 3.	122
Figura 102. Zonificación del Tramo 3.	122
Figura 103. Detalle 1 del Tramo 4.	123
Figura 104. Zonificación del Tramo 4.	123
Figura 105. Detalle 2 del Tramo 4.	123
Figura 106. Detalle 1 del Tramo 5.	124
Figura 107. Zonificación del Tramo 5.	124
Figura 108. Detalle 2 del Tramo 5.	124
Figura 109. Detalle 1 del Tramo 6.	125
Figura 110. Detalle 2 del Tramo 6.	125
Figura 111. Zonificación del Tramo 6.	125
Figura 112. Detalle 1 del Tramo 7.	126
Figura 113. Detalle 2 del Tramo 7.	126
Figura 114. Zonificación del Tramo 7.	126

Figura 115. Detalle 1 del Tramo 8.	127
Figura 116. Detalle 2 del Tramo 8.	127
Figura 117. Zonificación del Tramo 8.	127
Figura 118. Detalle 2 del Tramo 9.	128
Figura 119. Detalle 1 del Tramo 9.	128
Figura 120. Zonificación del Tramo 9.	128

Lista de acrónimos

Abreviatura	Significado
BOE	Boletín Oficial del Estado
CEM	Coastal Engineering Manual
DIA	Declaración de Impacto Ambiental
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
PNOA	Plan Nacional de Ortofotografía Aérea
SPM	Shore Protection Manual

1. INTRODUCCIÓN

Antes de la construcción de cientos de barreras fluviales (presas) y litorales (diques) a partir del S. XIX, la costa valenciana tenía una gran playa que fluía desde el Delta del Ebro al Puerto de Denia, haciendo crecer los campos dunares cada década, por ejemplo, El Saler. En la actualidad, las actuaciones antrópicas en la zona siguen provocando intensos procesos erosivos artificiales en muchas playas, mientras los embalses pierden capacidad por aterramiento. Los diques de abrigo de puertos y otras barreras litorales están provocando ondas erosivas graves en algunas playas, mientras producen y sustentan el crecimiento o la existencia de playas no naturales. La ocupación de espacios dunares con edificaciones, la extracción de sedimentos de cauces fluviales y litorales, así como otros problemas de carácter no natural tienden a agravar la situación. La subida del nivel medio del mar (unos milímetros al año) debida al calentamiento global, induce también una erosión de playas general que crece con ese aumento. Muchas playas muy valiosas han estado y siguen erosionándose porque no se aplica el principio sencillo de la sostenibilidad: permitir el progreso económico y social de la generación presente (embalses, puertos, etc.) sin comprometer el desarrollo de las generaciones futuras (erosiones sistemáticas). Esta es una situación que debe revertirse restituyendo el flujo sedimentario fluvial y litoral.

Este trabajo tiene por objeto el estudio de la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia como solución global a los graves problemas erosivos de múltiples playas valencianas. La existencia de un yacimiento de material sedimentario en aguas profundas frente a la costa de Cullera que cuenta con una DIA de 2013 (BOE núm 237, 3-10-2013, Sec. III 81334-81357) permite plantear una regeneración a gran escala de las playas que conforman la costa.

Se ha obtenido información de la zona, en particular del clima marítimo, para planificar adecuadamente el programa de trabajos teniendo en cuenta las limitaciones que puedan tener los equipos. También se ha estudiado la dinámica litoral, con el fin de tener una idea general de cómo se producirá el transporte de sedimentos a lo largo de una costa sin barreras. Además, se ha estudiado la caracterización de sedimentos de forma que se asegure que el material utilizado para la regeneración tiene características similares y es afín al material existente en cada zona.

Este documento incluye el estudio técnico de la extracción de arena del banco de arena de aguas profundas de Cullera y la gestión de los dragados, así como una planificación de los trabajos de extracción, transporte y regeneración que serán continuos durante un largo periodo de tiempo. Además, también forman parte del estudio aspectos medioambientales para asegurar que el impacto ambiental del proyecto es compatible o, al menos, reversible con el paso del tiempo.

Finalmente, con base en los resultados de la evolución de la línea de costa en las últimas décadas y el transporte de sedimentos, se estudia qué obras marítimas pueden desmantelarse, puesto que muchas de ellas se construyeron como una solución a corto plazo a la erosión de la costa. En el caso de barreras al transporte de carácter importante, como pueden ser los puertos, se planifican trasvases de arena que permitan mantener el flujo de sedimentos. Todo este conjunto de actuaciones requiere una programación en el espacio y el tiempo, también objeto de este estudio, para maximizar los beneficios económicos, sociales y ambientales, minimizando los costes.

El estudio analiza también el problema del aterramiento de los embalses. Los deltas de cola de los embalses están reteniendo grandes volúmenes de sedimentos que deberían circular hacia la costa y alimentar las playas, además de perder capacidad de regulación. Por ello, resulta evidente que debe restituirse el flujo sedimentario fluvial a largo plazo, planteándose la posibilidad de efectuar trasvases de sedimentos sistemáticos.

2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Bases de partida

La subida del nivel medio del mar, la erosión del litoral y el gran número de puertos existentes en la costa valenciana han sido factores importantes en la evolución litoral del levante español. La zona costera de Castellón y Valencia, entre Peñíscola y el Cabo de San Antonio, se encuentra en regresión debido a la disminución de los sedimentos de los ríos y a la interrupción de la dinámica por la construcción de infraestructuras portuarias (IHCantabria, 2014).

Actualmente, existe un total de 40 puertos en la Comunidad Valenciana, de los cuales 5 son de carácter estatal y 35 pertenecen a la Generalitat. De estos últimos, 16 de ellos son gestionados directamente por el organismo y 19 se encuentran en concesión. En el tramo de estudio, comprendido entre el delta del Ebro y el puerto de Denia, el número de puertos existentes es de 17, incluyendo desde el puerto de Vinaroz hasta el de Denia.

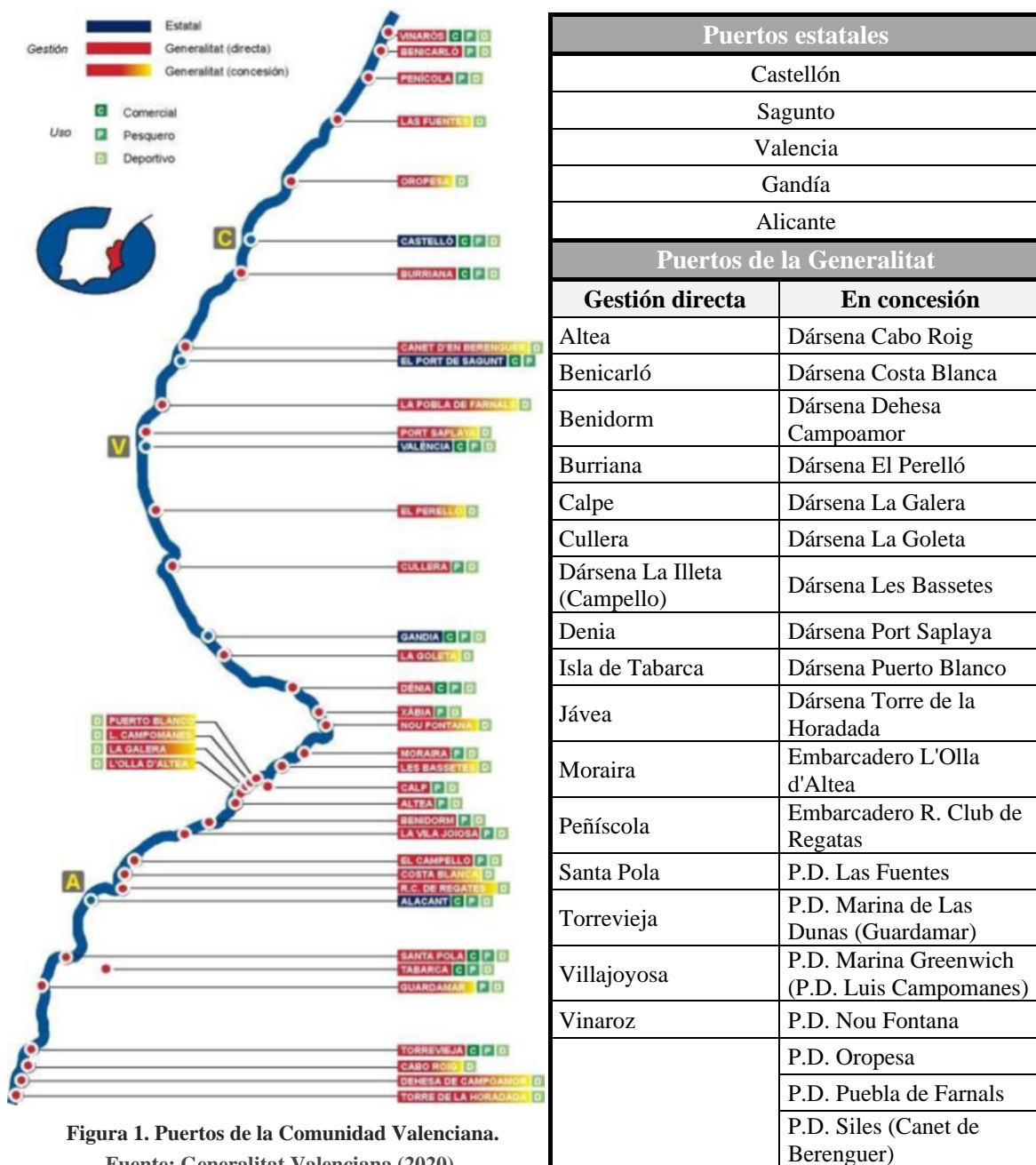


Figura 1. Puertos de la Comunidad Valenciana.
Fuente: Generalitat Valenciana (2020).

Las playas son elementos muy valiosos a nivel medioambiental, social y económico por el turismo, y las estamos perdiendo en los últimos años. Por ello, se considera necesaria una regeneración artificial marina a gran escala que restituya el flujo sedimentario y permita preservar estas playas en las mejores condiciones. En la Figura 2, se detalla el flujo natural de sedimentos que se pretende restablecer. Una vez realizada la aportación de arena en los lugares oportunos, el propio flujo hará que se reparta.



Figura 2. Flujo natural de sedimentos.

2.2. Yacimiento de material sedimentario

En la Zona 15 de Valencia, frente a Cullera y a unos 10 km de la costa, se encuentra un yacimiento marino de sedimentos 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). La DIA se debe volver a tramitar puesto que las extracciones previstas no se iniciaron en los siete años posteriores a su aprobación. Esto permite realizar a corto y medio plazo una regeneración a gran escala que restituya el flujo sedimentario litoral en el área de estudio.

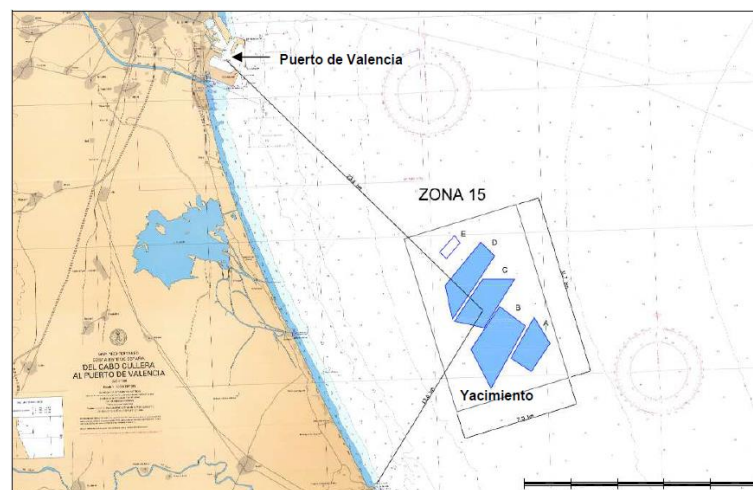


Figura 3. Ubicación del yacimiento.

Fuente: García y Moreno (2010).

El banco de arena tiene una superficie de 25,5 km² y un volumen de arena aproximado de 90 millones de m³. Está formado en su mayoría por arenas medias con una calidad y tamaño de grano adecuados para la regeneración de playas. En general, está cubierto por una capa de finos de espesor variable con un valor frecuente de 0,5 metros, aunque en algunos puntos es incluso nula. 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.

La Zona 15 de Valencia se divide por polígonos (A, B, C, D, E), sin embargo, no se plantea la extracción de material del polígono E por presentar un porcentaje de finos más elevado que el resto. La caracterización del área de estudio se realiza conforme se observa en la Figura 4.

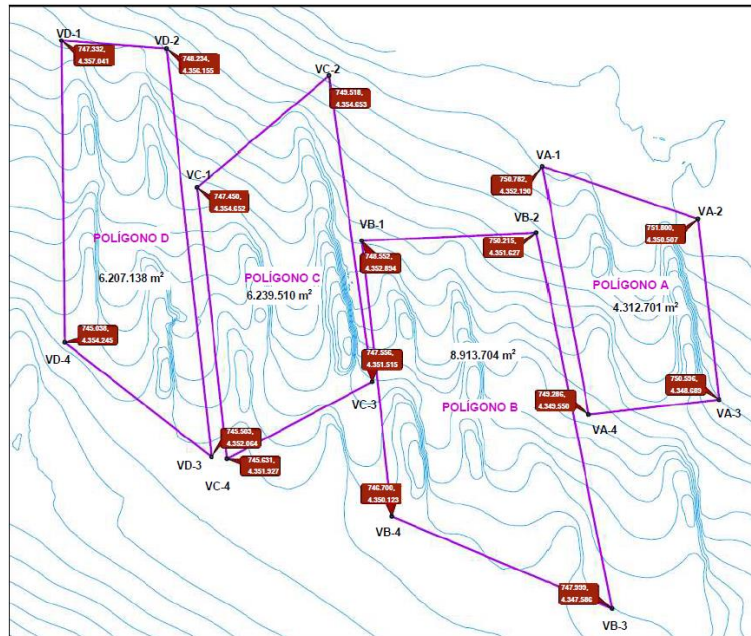


Figura 4. Polígonos de extracción.

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.

Tabla 1. Área de extracción y volumen de arena de cada polígono.

	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
Polígono C	6.239.510	25
Polígono D	6.207.138	22,5
Total		88,5

Fuente: García y Moreno (2010).

Los documentos que el estudio de extracción ha utilizado 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 2). La proporción media de material fino del yacimiento es del 22 %.

Tabla 2. Volúmenes de material obtenidos en estudios anteriores.

	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

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 3).

Tabla 3. Volúmenes de material aptos para regeneración de cada polígono.

	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

Fuente: García y Moreno (2010).

Se determina que el yacimiento de sedimentos de Cullera dispone de material adecuado y en cantidad suficiente para el comienzo de los trabajos de regeneración de playas a lo largo de la costa valenciana. Si bien se ha centrado la solución en este depósito de arenas por contar con una DIA de 2013, cabe decir que existen otros bancos de material en la zona cuyo estudio podría permitir que se utilizaran con el mismo fin en caso necesario.

2.3. Clima marítimo

El estudio del clima marítimo es muy importante para garantizar la funcionalidad y calidad de las actuaciones realizadas en las zonas costeras. Su vida útil puede abarcar varias décadas, por lo que es necesario el conocimiento del clima marítimo en diferentes escalas de tiempo, incluyendo su variabilidad natural. 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 oceanografía, el clima marítimo se define a partir de la descripción estadística de la variación en el dominio del tiempo de los estados de mar en un área determinada (Massel, 1996).

En este apartado se describe brevemente la climatología y se caracterizan los regímenes medio y extremal en el área de estudio. Los datos del régimen medio se utilizan para el posterior cálculo del transporte de sedimentos y para una 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.

2.3.1. 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.

2.3.2. Fuentes de datos

Toda la información necesaria para la caracterización del clima marítimo en la costa valenciana se obtiene del banco de datos oceanográficos que ofrece la página web de Puertos del Estado (www.puertos.es). En este caso se utilizan dos redes de datos que se describen a continuación.

Red REDEXT

El conjunto de datos REDEXT está formado por las medidas procedentes de la Red de Boyas de Aguas Profundas (Red Exterior). Esta red unifica, amplía 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.

Red SIMAR

El conjunto de datos SIMAR 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. La ventaja de la red SIMAR frente a la REDEXT es que sus medidas son continuas en el tiempo, por lo que son de gran de utilidad para el cálculo del régimen medio. Sin embargo, no se recomienda para régimen extremal, ya que en ese caso es preferible el uso de los valores históricos y reales que ofrecen las boyas.

2.3.3. Caracterización del régimen medio

La caracterización del régimen medio se lleva a cabo a partir de los datos obtenidos de nodos SIMAR. Se han elegido cuatro de ellos como representación del área de estudio: zonas norte, centro y sur de la costa y la zona de extracción de arenas. La Figura 5 muestra la localización de cada uno de los puntos.



Figura 5. Localización de los puntos SIMAR empleados.

Fuente: Google Earth (2020).

La información relativa a estos puntos se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Información relativa a los puntos SIMAR empleados.

Nodo SIMAR 2090124		Nodo SIMAR 2081114	
Nombre	Peñíscola	Nombre	Malvarrosa
Código B.D.	2090124	Código B.D.	2081114
Longitud	0.500 E	Longitud	-0.250 E
Latitud	40.333 N	Latitud	39.500 N
Profundidad indefinida		Profundidad indefinida	
Nodo SIMAR 2083111		Nodo SIMAR 2085107	
Nombre	Cullera	Nombre	Les Deveses
Código B.D.	2083111	Código B.D.	2085107
Longitud	-0.083 E	Longitud	0.083 E
Latitud	39.250 N	Latitud	38.917 N
Profundidad indefinida		Profundidad indefinida	

Fuente: Puertos del Estado (2020).

La serie de datos analizada comprende desde enero de 1956 hasta mayo de 2017. Los resultados que se muestran son los siguientes:

- Distribución conjunta del periodo pico (Ts) y altura significativa (Hs).
- 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 de extracción de arenas – Cullera (SIMAR 2083111)

Las frecuencias de cada altura de ola y su periodo pico asociado se muestran en la Figura 6.

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	-	1.069	10.928	9.448	11.261	11.145	6.191	2.724	0.905	0.320	0.032	54.025
1.0	-	-	1.371	4.305	4.880	8.279	8.049	4.117	1.621	0.509	0.114	33.246
1.5	-	-	0.002	0.166	0.902	1.460	1.923	1.785	1.151	0.580	0.178	8.147
2.0	-	-	-	0.002	0.070	0.352	0.658	0.592	0.485	0.324	0.153	2.636
2.5	-	-	-	-	0.002	0.034	0.267	0.300	0.211	0.148	0.111	1.075
3.0	-	-	-	-	0.001	0.003	0.038	0.179	0.113	0.094	0.044	0.472
3.5	-	-	-	-	-	-	0.002	0.090	0.089	0.056	0.016	0.253
4.0	-	-	-	-	-	-	-	0.009	0.041	0.020	0.015	0.085
4.5	-	-	-	-	-	-	-	0.001	0.014	0.010	0.010	0.036
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	0.008	0.003	0.014
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.010	0.010
Total	-	1.070	12.301	13.922	17.117	21.275	17.129	9.796	4.634	2.069	0.687	100 %

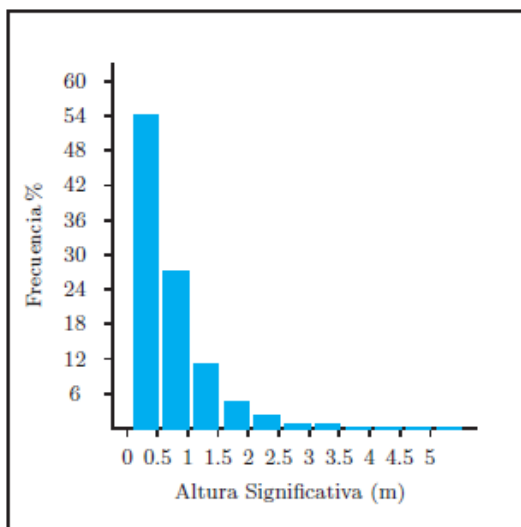
Figura 6. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2083111.

Fuente: Puertos del Estado (2020).

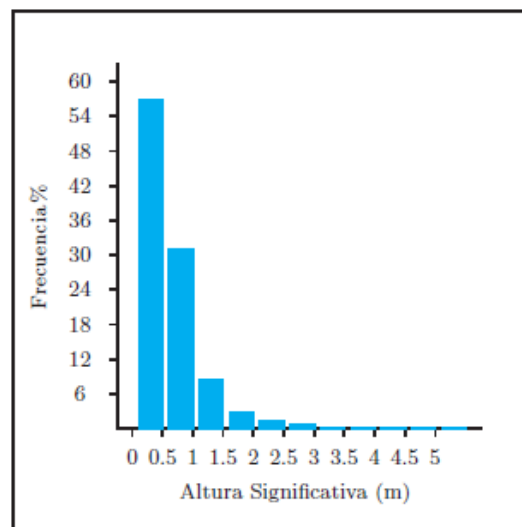
Analizando la tabla se establece que la de mayor ocurrencia es una altura de ola menor a 0,5 metros y de periodo 5 segundos. En general, no se trata de una zona que presente grandes alturas de ola de manera habitual.

En la Figura 7 se observa que en invierno se dan alturas de ola mayores con mayor frecuencia, aunque la diferencia no es realmente significativa.

Diciembre - Febrero



Marzo – Mayo



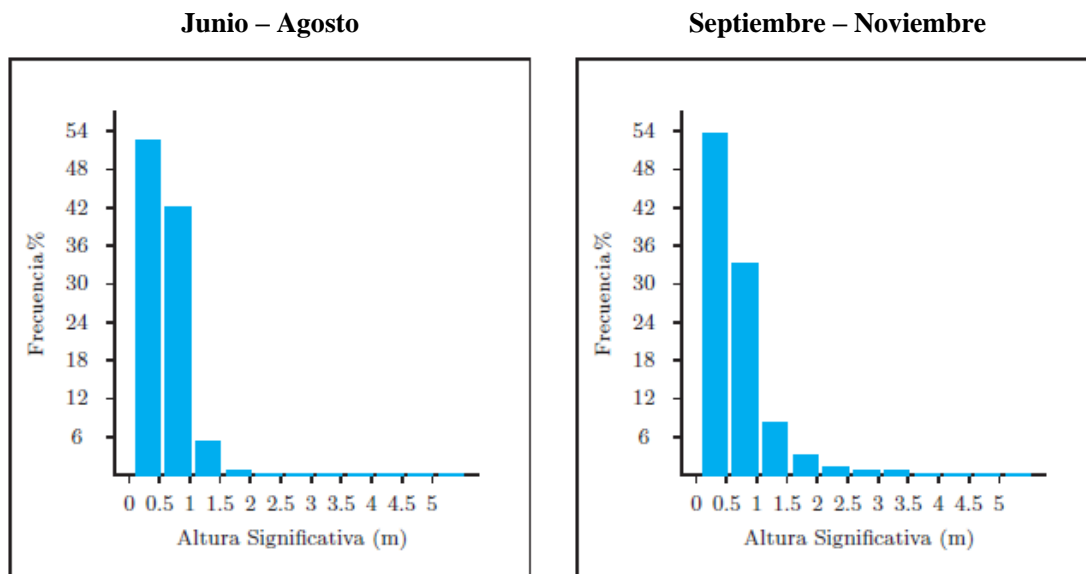


Figura 7. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2083111.

Fuente: Puertos del Estado (2020).

En esta zona es importante determinar cuántos días al año podrían superarse olas de altura superior a 2 metros, puesto que este valor define el límite de operatividad de una draga de succión en marcha. Se tiene que la frecuencia anual es del 4,6 %, es decir, unos 17 días (Figura 8).

Dirección	Hs (m)												Total	
	≤ 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0		
CALMAS	11.754													11.754
N 0.0		.489	.301	.061	.041	.012	.002	-	-	-	-	-	-	.906
NNE 22.5		.917	.898	.255	.095	.028	.008	.009	-	-	-	-	-	2.212
NE 45.0		4.676	6.610	2.378	.782	.349	.166	.086	.031	.014	.008	.007	-	15.108
ENE 67.5		7.092	9.498	3.698	1.360	.578	.260	.148	.053	.020	.006	.003	-	22.718
E 90.0		6.219	4.752	.806	.235	.086	.024	.006	-	-	-	-	-	12.129
ESE 112.5		7.403	4.579	.336	.033	.007	.003	-	-	-	-	-	-	12.364
SE 135.0		5.804	3.594	.177	.016	-	-	-	-	-	-	-	-	9.591
SSE 157.5		1.186	.399	.026	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	1.614
S 180.0		.506	.121	.008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.635
SSW 202.5		.422	.083	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.508
SW 225.0		.597	.117	.003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.717
WSW 247.5		1.011	.228	.009	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	1.250
W 270.0		2.633	.919	.099	.014	.002	-	.001	-	-	-	-	-	3.669
WNW 292.5		2.148	.624	.181	.024	.002	.003	-	-	-	-	-	-	2.983
NW 315.0		.848	.237	.047	.009	.001	.001	-	-	-	-	-	-	1.143
NNW 337.5		.439	.198	.038	.016	.006	.001	-	-	-	-	-	-	.698
Total	11.754	42.391	33.160	8.126	2.629	1.072	.471	.252	.084	.036	.014	.010	-	100 %

Figura 8. Frecuencias anuales por altura de ola y dirección de procedencia en el punto SIMAR 2083111.

Fuente: Puertos del Estado (2020).

Para una correcta planificación de los trabajos, a partir de tablas similares, se establece la frecuencia de ocurrencia de manera estacional. Durante los meses de invierno, cuando el clima es más desfavorable, las alturas de ola son mayores (Tabla 5).

Tabla 5. Frecuencia de alturas de ola superiores a 2 metros en el punto SIMAR 2083111.

Meses	Frecuencia (%)	Frecuencia (días)
Diciembre – Febrero	7,80	7
Marzo – Mayo	4,75	4
Junio – Agosto	0,712	1
Septiembre – Noviembre	5,06	5
Total		17

Fuente: Puertos del Estado (2020).

La rosa de oleaje (Figura 9) muestra que la dirección de oleaje predominante es la ENE (22,718 %), seguida de la NE (15,108 %). El porcentaje de calmas es del 11,75 %. La probabilidad de superar alturas de ola superiores a 2,5 metros es muy pequeña.

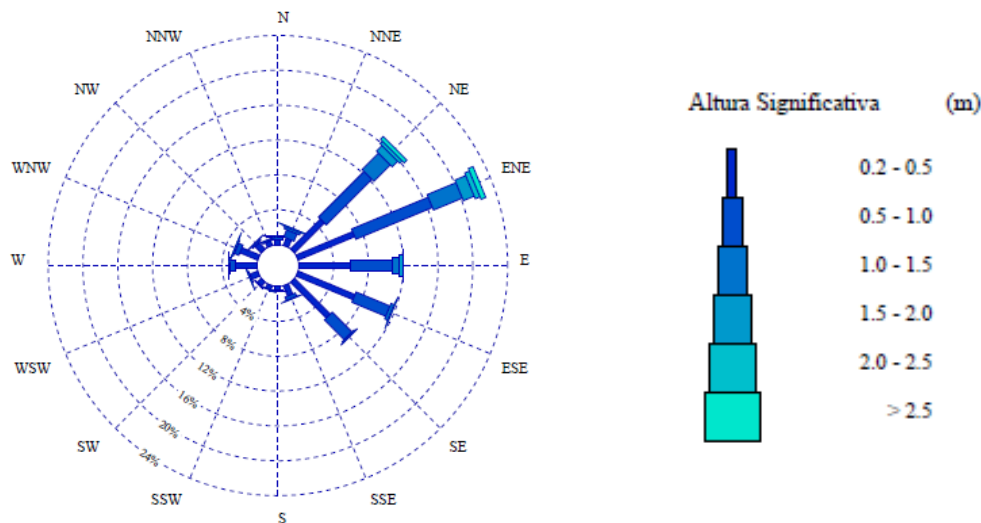


Figura 9. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2083111.

Fuente: Puertos del Estado (2020).

Zona norte – Peñíscola (SIMAR 2090124)

En este caso, la altura de ola más probable es la inferior a 0,5 metros con un periodo pico de 4 segundos (Figura 10).

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	-	0.510	9.984	15.711	12.971	9.958	5.048	2.296	0.857	0.238	0.041	57.613
1.0	-	-	1.718	3.302	7.501	7.575	6.013	3.277	1.585	0.681	0.182	31.833
1.5	-	-	0.002	0.163	0.782	1.755	1.576	1.296	0.839	0.442	0.193	7.048
2.0	-	-	-	0.005	0.145	0.218	0.657	0.479	0.321	0.252	0.152	2.228
2.5	-	-	-	-	0.013	0.038	0.165	0.260	0.148	0.124	0.064	0.812
3.0	-	-	-	-	-	0.016	0.005	0.115	0.093	0.055	0.032	0.316
3.5	-	-	-	-	-	-	-	0.010	0.048	0.023	0.020	0.102
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.010	0.013	0.006	0.029
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006	0.009	0.015
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.004	0.004
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	0.511	11.704	19.181	21.413	19.559	13.464	7.732	3.900	1.833	0.703	100%

Figura 10. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2090124.

Fuente: Puertos del Estado (2020).

De la Figura 11 se deduce que en los meses entre diciembre y febrero se dan alturas de ola de hasta 3 metros, sin embargo, en los meses de verano es muy poco probable que se den alturas superiores a 1,5 metros.

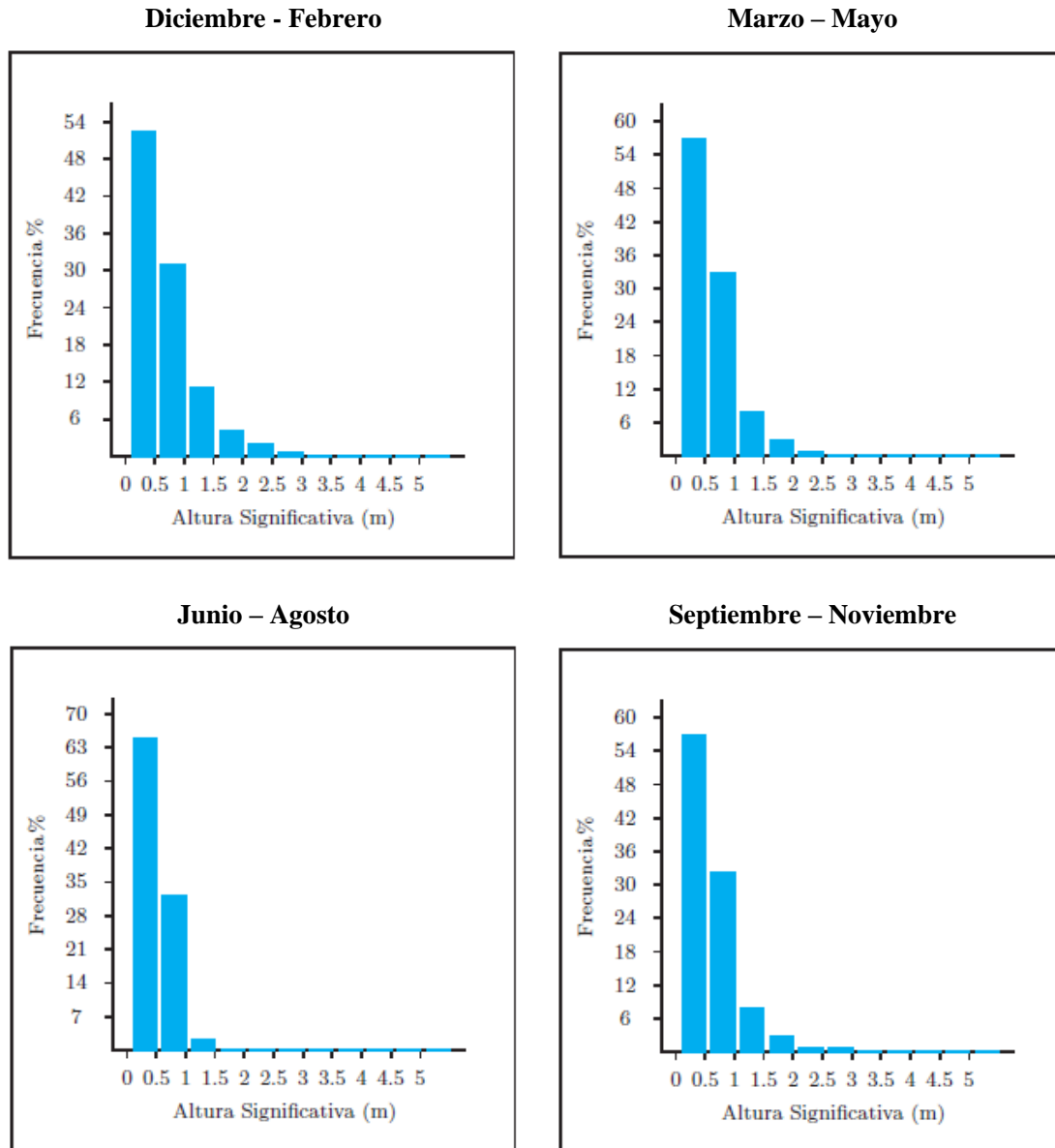


Figura 11. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2090124.

Fuente: Puertos del Estado (2020).

En la zona norte de la costa valenciana el oleaje predominante viene desde el este (17,168 %), seguido de olas con dirección sur (15,158 %), como puede observarse en la Figura 12. El porcentaje de calmas es del 11,67 %.

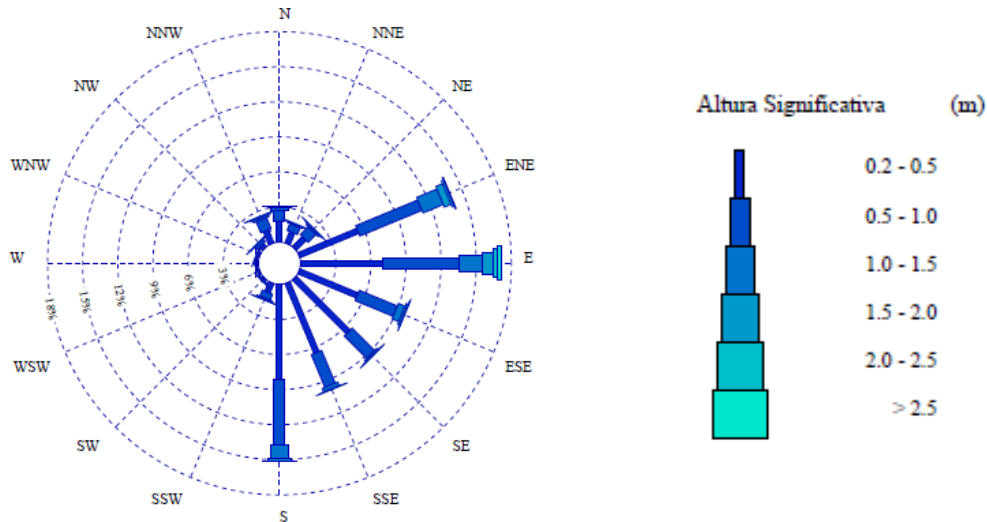


Figura 12. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2090124.

Fuente: Puertos del Estado (2020).

Zona centro – Valencia (SIMAR 2081114)

La distribución anual del periodo pico (T_p) y la altura significativa (H_s) en el área próxima a la ciudad de Valencia 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	-	2.032	9.381	12.039	12.829	13.674	8.497	4.939	2.510	0.929	0.174	67.005
1.0	-	-	0.582	2.505	3.425	5.497	6.296	4.371	2.101	0.738	0.210	25.724
1.5	-	-	-	0.066	0.226	0.724	1.363	1.142	0.840	0.491	0.183	5.035
2.0	-	-	-	-	0.030	0.057	0.432	0.477	0.308	0.174	0.126	1.603
2.5	-	-	-	-	0.002	0.005	0.032	0.171	0.194	0.075	0.018	0.498
3.0	-	-	-	-	-	-	-	0.027	0.075	0.018	0.002	0.123
3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.007	0.005	-	0.011
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	2.032	9.963	14.610	16.513	19.956	16.620	11.128	6.035	2.430	0.712	100 %

Figura 13. Relación anual del periodo pico (T_p) y la altura significativa (H_s) en % en el punto SIMAR 2081114.

Fuente: Puertos del Estado (2020).

Las alturas de ola más frecuentes son las inferiores a 0,5 metros y periodo pico 6 segundos. De nuevo, en el periodo invernal pueden darse alturas de ola mayores, aunque su frecuencia sigue siendo bastante baja.

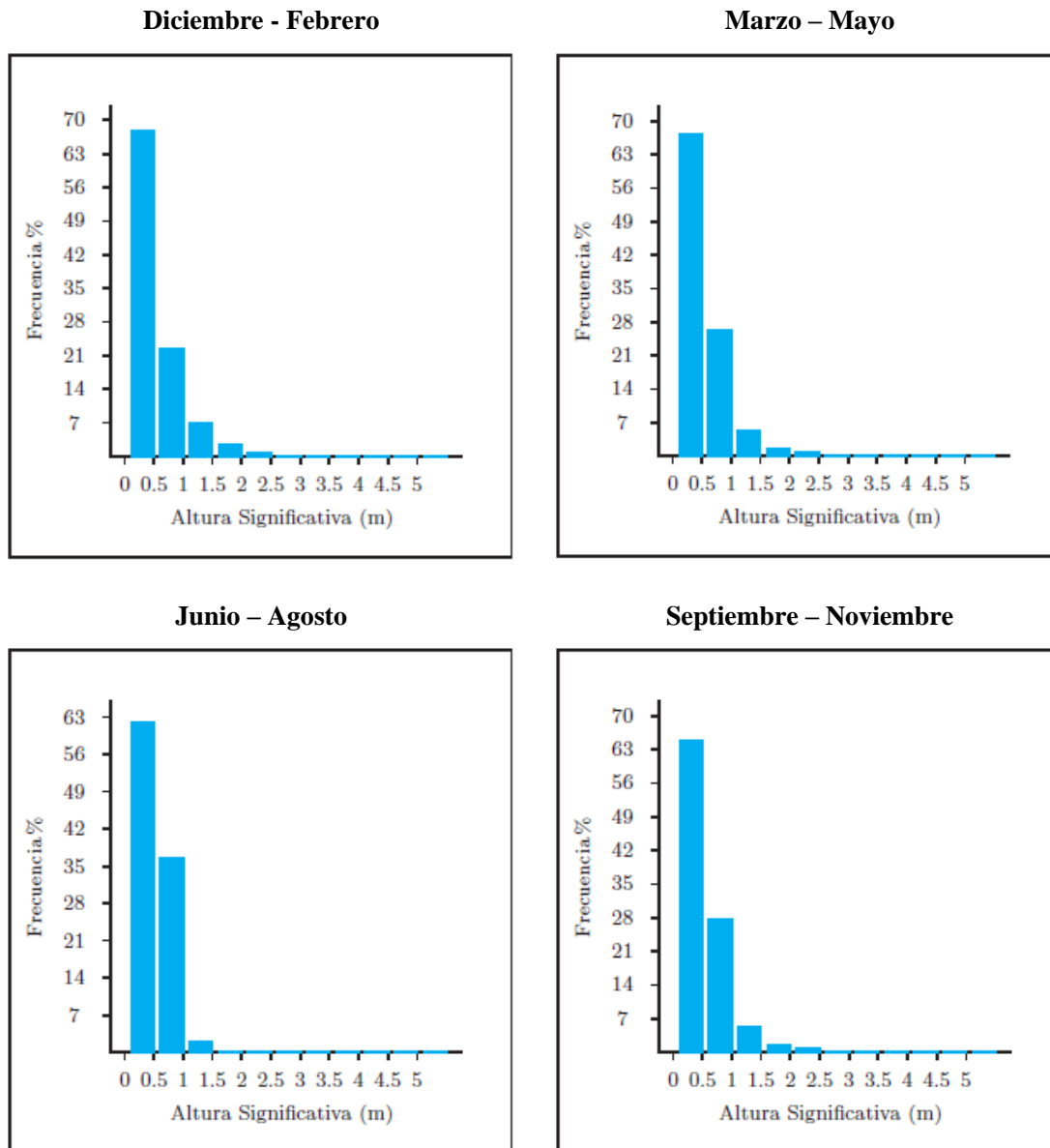


Figura 14. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2081114.
 Fuente: Puertos del Estado (2020).

En este caso, el porcentaje de calmas es del 18,26 %, el mayor de los nodos SIMAR analizados. En la Figura 15 puede observarse que el oleaje predominante tiene una dirección ENE (24,250 %), coincidiendo con los resultados de la zona de extracción dada su proximidad.

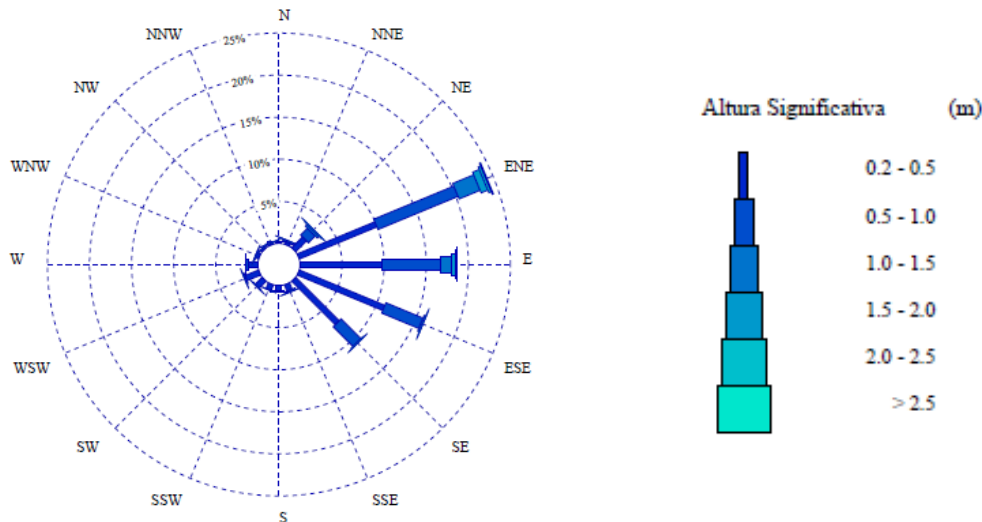


Figura 15. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2081114.
 Fuente: Puertos del Estado (2020).

Zona sur – Denia (SIMAR 2085107)

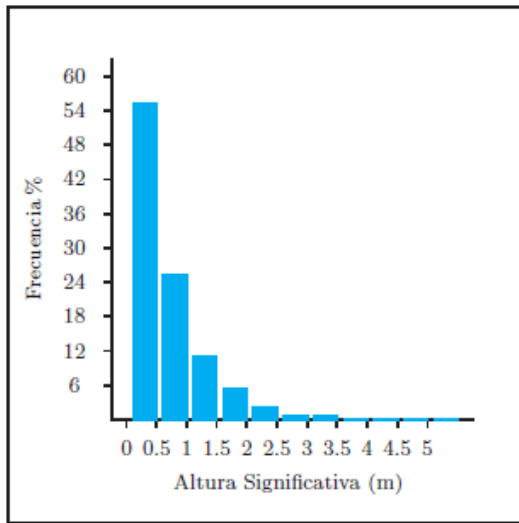
La altura de ola más probable es inferior a 0,5 metros con un periodo pico asociado de 5 segundos (Figura 16).

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	-	0.888	8.878	9.604	13.902	12.656	6.993	3.205	1.195	0.408	0.068	57.798
1.0	-	0.002	0.258	2.845	4.190	8.477	7.194	3.794	1.700	0.540	0.112	29.112
1.5	-	-	0.001	0.030	1.001	1.750	1.970	1.627	1.115	0.597	0.206	8.296
2.0	-	-	-	-	0.040	0.512	0.762	0.564	0.477	0.290	0.167	2.813
2.5	-	-	-	-	-	0.042	0.312	0.316	0.192	0.152	0.118	1.132
3.0	-	-	-	-	-	0.001	0.041	0.173	0.119	0.076	0.056	0.466
3.5	-	-	-	-	-	-	0.001	0.067	0.085	0.064	0.020	0.236
4.0	-	-	-	-	-	-	-	0.005	0.042	0.028	0.016	0.091
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.008	0.012	0.014	0.034
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.005	0.005	0.011
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.012	0.012
Total	-	0.890	9.138	12.480	19.134	23.438	17.272	9.751	4.933	2.172	0.792	100%

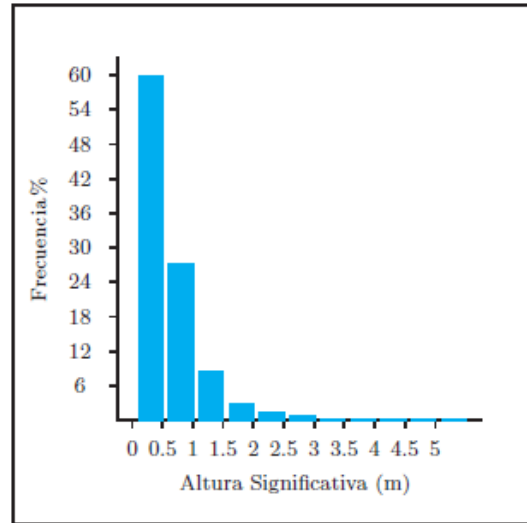
Figura 16. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2085107.
 Fuente: Puertos del Estado (2020).

La diferencia estacional entre las alturas de ola no es realmente significativa, como puede observarse en la siguiente figura.

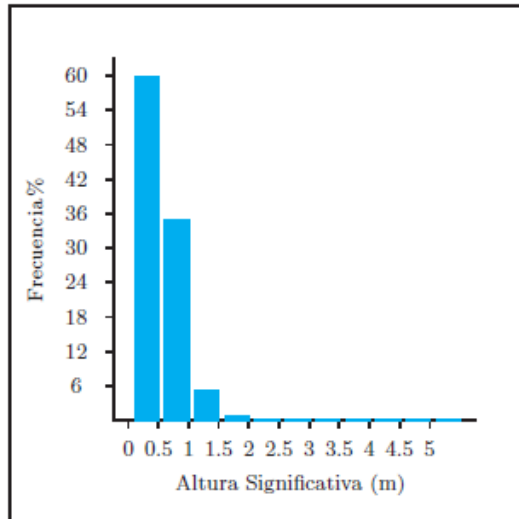
Diciembre - Febrero



Marzo – Mayo



Junio – Agosto



Septiembre – Noviembre

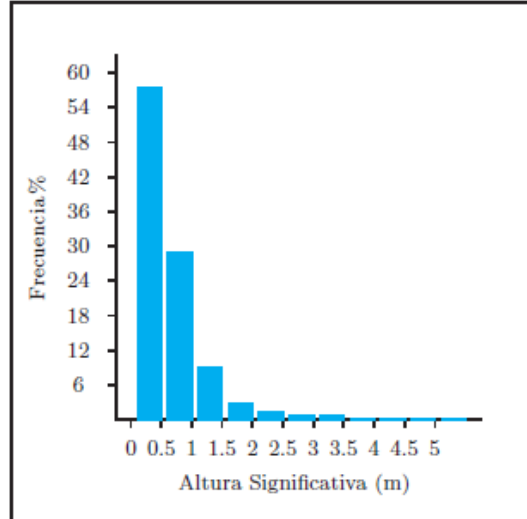


Figura 17. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2085107.

Fuente: Puertos del Estado (2020).

La dirección del oleaje con mayor representación en la zona sur es, con diferencia, la NE (27,341 %). El porcentaje de calmas es del 16,06 %.

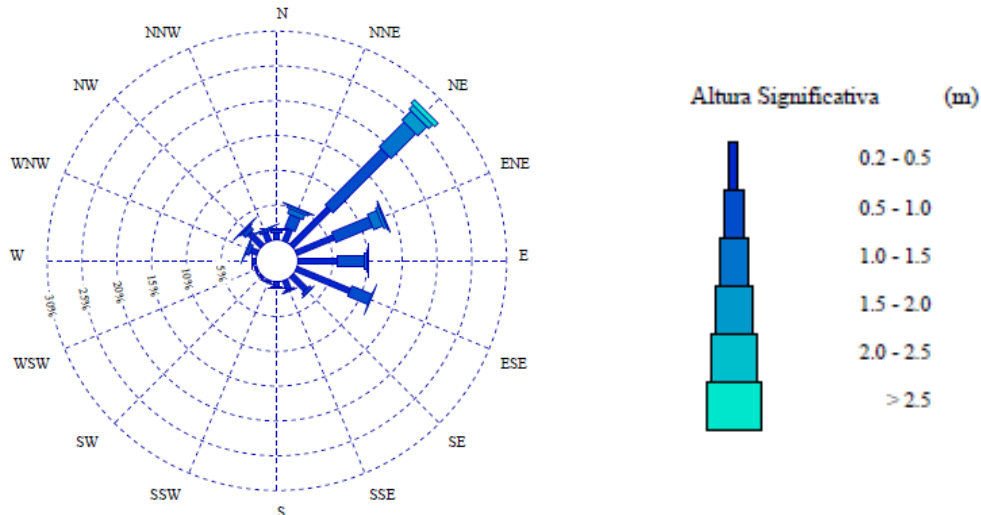


Figura 18. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2085107.

Fuente: Puertos del Estado (2020).

2.3.4. Caracterización del régimen extremal

La caracterización del régimen extremal es conveniente llevarla a cabo a través de los datos reales ofrecidos por las boyas. Por ello, se ha utilizado la Boya de Valencia perteneciente a la red REDEXT, cuya información se muestra a continuación.

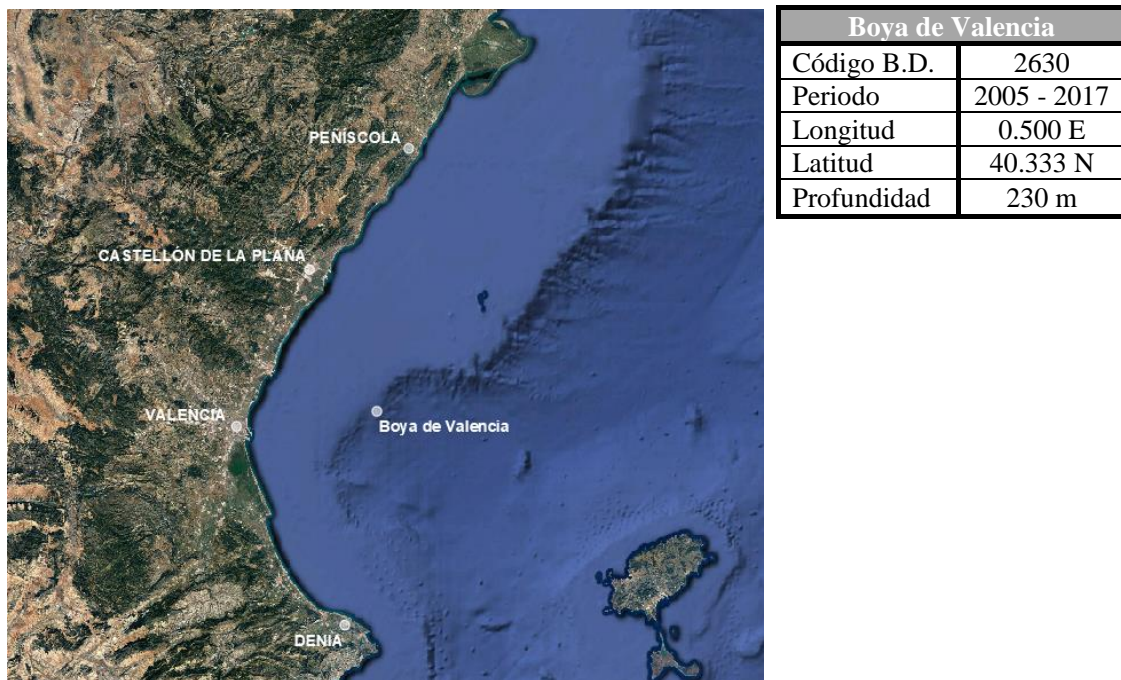


Figura 19. Localización e información de la Boya de Valencia.

Fuente: Google Earth / Puertos del Estado (2020).

En la Figura 20 se muestra la probabilidad de excedencia anual de una altura de ola para un periodo de retorno dado. Teniendo en cuenta el tipo de actuación a realizar, se considera un periodo de retorno mínimo de 50 años.

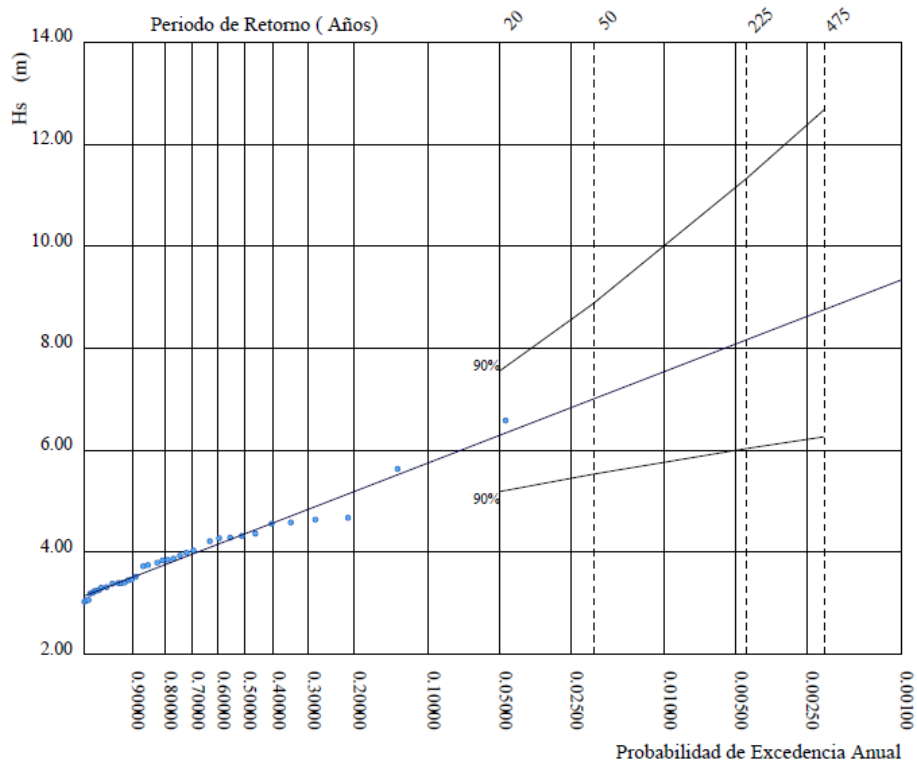


Figura 20. Régimen extremal escalar del oleaje de la Boya de Valencia.

Fuente: Puertos del Estado (2020).

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	Alfa = 3.13
Num. Mín. de Dias Entre Picos	5.00	Distribucion Weibull	Beta = 0.67
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	4.13	de Excedencias	Gamma = 0.95

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

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

Figura 21. Valores y parámetros del régimen extremal escalar del oleaje de la Boya de Valencia.

Fuente: Puertos del Estado (2020).

Para el periodo de retorno considerado $T = 50$ años, la altura de ola es de 7,01 metros y su periodo de pico asociado 11,9 segundos.

En cuanto a las direcciones del oleaje, en la Figura 22 se observa que las más importantes son NE, E y SE, predominando alturas de ola de hasta 2 metros. El porcentaje de calmas es del 0,67 %.

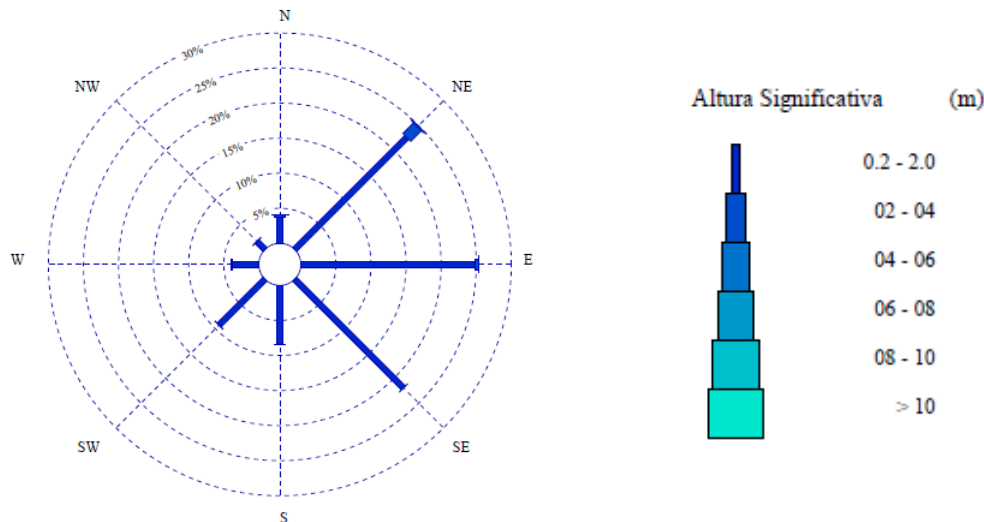


Figura 22. Rosa de altura significativa de la Boya de Valencia.
Fuente: Puertos del Estado (2020).

2.3.5. Conclusiones

A partir de toda la información estudiada sobre los distintos nodos SIMAR, se puede concluir que, en líneas generales, la costa valenciana no es una zona que presente elevadas alturas de ola, siendo ligeramente mayores en los meses de invierno. Estos resultados se necesitan para planificar una correcta ejecución de los trabajos, ya que pueden afectar a la operatividad de los equipos. Por ejemplo, en el caso de la extracción de arenas, el límite de operatividad estimado para una draga de succión es la presentación de olas superiores a 2 metros. En ese sentido, se determina que en la zona de actuación la frecuencia de ocurrencia es de un 4,568%, es decir, unos 17 días al año. Por otra parte, dada la climatología de la zona, se considera que uno de los fenómenos que puede alterar la programación es la gota fría, por sus lluvias concentradas e intensas.

2.4. Dinámica litoral

La dinámica litoral es el resultado de la interacción, en la zona litoral, de viento, oleaje, corrientes, mareas, sedimentos y otros fenómenos (SPM, 1984), pudiendo dar lugar a la modificación de la costa con el paso del tiempo. Este apartado se centra en el transporte de sedimentos que se produce en la zona litoral, abarcando desde la línea de costa hasta superar la zona de rompientes. La causa principal de este fenómeno es el oleaje, ya que las diferentes alturas de ola y sus respectivos periodos influyen en el movimiento de material. En este sentido, una mayor altura de ola generará un mayor movimiento de arena. 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. Es por ello que el conocimiento del oleaje es esencial para un adecuado entendimiento de la dinámica litoral en cualquier área.

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 ya 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, lugares donde se pierda material y zonas donde este quede retenido. Las barreras pueden clasificarse según el grado de interrupción que provocan, a saber: parciales, si dejan pasar parte de los sedimentos; totales, si el paso es nulo.

Se define como unidad morfodinámica el tramo de costa en el que el transporte sólido litoral longitudinal es continuo, es decir, el espacio comprendido entre dos barreras totales. Además, si el tramo no es completamente independiente, pero existe algún elemento que causa un comportamiento distinto aguas arriba y aguas abajo del mismo, también se considerarán unidades morfodinámicas diferentes.

2.4.1. Conceptos del transporte de sedimentos

Existen dos tipos de transporte de sedimentos: el transporte longitudinal, paralelo a la costa, y el transporte transversal, cuya dirección es perpendicular a la misma (Figura 23). El primero puede cambiar de sentido en función de la dirección del oleaje; el segundo simplemente oscila entre la costa y el mar. En general, ambos son significativos en zonas próximas a la orilla, pero solo el transversal adquiere importancia en aguas más profundas (SPM, 1984). Atendiendo a la zona de transporte, los sedimentos pueden moverse por arrastre o en suspensión. En el primer caso, los sedimentos se movilizan arrastrándose sobre el fondo marino; en el segundo caso, se levantan y se transportan suspendidos en el agua. Se puede distinguir una tercera forma de transporte, denominada transporte laminar, que corresponde a una situación intermedia entre las dos anteriores (Horikawa, 1988).

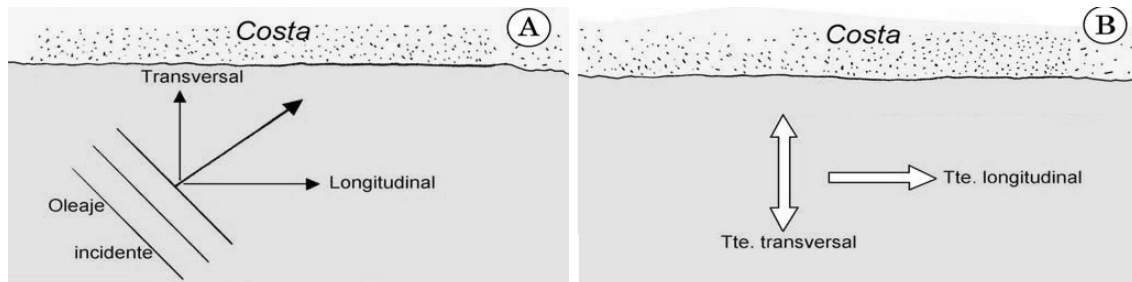


Figura 23. Esquema de descomposición del oleaje y del transporte de sedimentos generado.

Fuente: De la Peña (2007).

Otro concepto a tener en cuenta es la profundidad de cierre, puesto que en ingeniería de costas es una herramienta fundamental ya que representa el límite imaginario que define el área donde tienen lugar multitud de procesos litorales, como puede ser el transporte transversal de sedimentos (Aragonés et al., 2019). Kraus et al. (1998) definen 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. Además, este punto coincide con un cambio en la tendencia de los sedimentos. El valor D_{50} de la arena disminuye desde la orilla hasta la profundidad de cierre, a partir de la cual su diámetro vuelve a aumentar (Aragonés et al., 2019).

METODOLOGÍA

Dada la extensa longitud de la costa se han elegido nueve puntos como representativos de la misma (Figura 24). La profundidad de cierre y el transporte longitudinal de sedimentos se calculan en apartados posteriores empleando los datos de oleaje del régimen medio y extremal que ofrecen estos puntos SIMAR y la Boya de Valencia situados en la zona.



Figura 24. Localización de los puntos empleados.

Fuente: Google Earth (2020).

La información de cada uno de estos puntos se detalla a continuación.

Tabla 6. Información relativa a los puntos empleados.

Nodo SIMAR 2090124		Nodo SIMAR 2088123		Nodo SIMAR 2084118	
Nombre	Peñíscola	Nombre	Arsilaga	Nombre	Burriana
Código B.D.	2090124	Código B.D.	2088123	Código B.D.	2084118
Longitud	0.500 E	Longitud	0.333 E	Longitud	0.000 E
Latitud	40.333 N	Latitud	40.250 N	Latitud	39.833 N
Profundidad indefinida		Profundidad indefinida		Profundidad indefinida	
Nodo SIMAR 2081115		Nodo SIMAR 2081114		Nodo SIMAR 2081112	
Nombre	Puig	Nombre	Malvarrosa	Nombre	El Saler
Código B.D.	2081115	Código B.D.	2081114	Código B.D.	2081112
Longitud	-0.250 E	Longitud	-0.250 E	Longitud	-0.250 E
Latitud	39.583 N	Latitud	39.500 N	Latitud	39.333 N
Profundidad indefinida		Profundidad indefinida		Profundidad indefinida	
Nodo SIMAR 2083108		Nodo SIMAR 2085107		Boya de Valencia	
Nombre	Oliva	Nombre	Les Deveses	Código B.D.	2630
Código B.D.	2083108	Código B.D.	2085107	Periodo	2005 - 2017
Longitud	-0.083 E	Longitud	0.083 E	Longitud	0.500 E
Latitud	39.000 N	Latitud	38.917 N	Latitud	40.333 N
Profundidad indefinida		Profundidad indefinida		Profundidad	230 m

Fuente: Puertos del Estado (2020).

2.4.2. Profundidad de cierre

Determinar la profundidad de cierre es necesario como criterio de evaluación para el diseño y posterior acreditación de proyectos de regeneración de playas (Hanson et al., 2002). Puede calcularse utilizando fórmulas propuestas por diversos autores (Hallermeier, 1978, 1980; Birkemeier, 1985; Nicholls et al., 1996, 1998), aunque todas ellas se basan en la ecuación propuesta por Hallermeier en 1978.

Hallermeier:

$$d = 2,28H_{12} - 68,90(H_{12}^2/gT^2) \quad \text{Ecuación 1}$$

Birkemeier:

$$d = 1,75H_{12} - 57,90(H_{12}^2/gT^2) \quad \text{Ecuación 2}$$

Siendo:

- d_1 Profundidad de cierre (m)
- H_{12} Altura de ola significativa excedida doce horas en régimen medio (m)
- g Aceleración gravitacional (m/s^2)
- T Periodo del oleaje (s)

Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado otros métodos que permiten determinar esta profundidad con mayor fiabilidad. Así pues, Aragonés et al. (2019) analizaron 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. Para un periodo de análisis de 20 años, su valor es de 5,92 metros (ejemplo playa La Dehesa).

En otro estudio realizado en las playas valencianas, también estudiando periodos de hasta 20 años, Aragonés et al. (2018) compararon los resultados obtenidos mediante el análisis de datos sedimentológicos y los obtenidos mediante las fórmulas descritas previamente. Los valores se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores de la profundidad de cierre en playas valencianas para periodos de retorno de 20 años.

	Sedimentología	Hallermeier	Birkemeier
Profundidad de cierre (m)	4 - 6	7,7 – 8,7	5,8 – 6,6

Fuente: Aragonés et al. (2018).

Se determina también que la diferencia entre considerar periodos inferiores a un año y veinte años es de aproximadamente 2 metros. Extrapolando esta información a un periodo de retorno de 50 años, se podría suponer que la profundidad de cierre será unos 5 metros mayor a la actual, quedando entre 9 y 11 metros para el año 2070.

Este estudio en concreto calcula la profundidad de cierre utilizando la fórmula de Birkemeier (Ecuación 2), puesto que los resultados anteriores determinan que se ajusta bastante bien a la realidad. Para este cálculo en régimen medio, los parámetros necesarios (H_{12} , T) se obtienen de los datos ofrecidos por el régimen medio de los puntos SIMAR descritos previamente. En la Tabla 8 se muestran los resultados.

Tabla 8. Valores de la profundidad de cierre en distintos puntos de la zona de estudio.

	Hs₁₂ (m)	T (s)	Profundidad de cierre d (m)
Peñíscola - SIMAR 2090124	3,0	8,0	4,4
Arsilaga - SIMAR 2088123	2,2	8,0	3,4
Burriana - SIMAR 2084118	2,9	9,0	4,4
Puig - SIMAR 2081115	2,0	9,0	3,2
Malvarrosa - SIMAR 2081114	2,6	8,0	3,9
El Saler - SIMAR 2081112	2,9	8,0	4,3
San Antonio - SIMAR 2082110	3,2	8,0	4,7
Oliva - SIMAR 2083108	3,1	8,0	4,6
Les Deveses - SIMAR 2085107	3,5	9,0	5,2

Se observa que las zonas norte y sur presentan profundidades de cierre mayores que la parte central de la costa, dándose el valor máximo en las proximidades de Denia.

Estos valores corresponden a temporales habituales (corto plazo) y, de cara al cálculo de aportación de arena para la regeneración de playas, podrían utilizarse para obtener el volumen mínimo imprescindible. Sin embargo, para actuaciones a largo plazo, la cantidad de material necesario será mayor. En ese sentido, teniendo en cuenta que la actuación se plantea para un periodo de retorno de 50 años, se puede aplicar la fórmula de Birkemeier para el régimen extremal. Utilizando los datos de la Boya de Valencia (2.3. *Clima marítimo*), se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 9. Profundidad de cierre para un periodo de retorno de 50 años.

	Hs (m)	T (s)	Profundidad de cierre d (m)
Boya de Valencia	7,01	11,9	10,2

Comparando este valor con la extrapolación realizada (9-11 metros) se considera que una profundidad de cierre de 10,2 metros es acertada y representativa para toda el área de estudio.

2.4.3. Transporte longitudinal de sedimentos

En este estudio a gran escala se considera necesario determinar únicamente el transporte sólido longitudinal.

El transporte longitudinal de sedimentos es fluctuante a lo largo del tiempo y su sentido, también variable, es función de la dirección del oleaje.

$$Q_{l,neto} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} Q_l(t) dt \quad Q_{l,bruto} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} |Q_l(t)| dt$$



Figura 25. Variación del transporte longitudinal a lo largo del tiempo.

Fuente: CEM (1998).

El transporte bruto expresa la cantidad total de material movilizado a lo largo de la costa independientemente del sentido. 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 asocia un transporte neto positivo al movimiento que se produce de norte a sur y negativo cuando es de sur a norte.

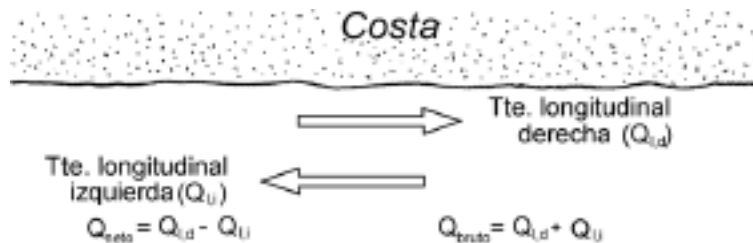


Figura 26. Tipos de transporte longitudinal de sedimentos.

Fuente: De la Peña (2007).

El cálculo del transporte longitudinal puede realizarse mediante cuatro procedimientos, cuyo uso dependerá de la información que se posea:

- Campaña de toma de datos.
- Evidencias morfológicas de la costa.
- Evolución de la línea de costa.
- Cálculo teórico.

En este caso, se analizarán la evolución de la línea de costa y las evidencias costeras y se realizará el cálculo teórico a partir de la formulación correspondiente.

2.4.4. Evolución de la línea de costa entre 1956 y 2018

La existencia de barreras al transporte, ya sean paralelas o perpendiculares a la orilla, pueden modificar la línea de costa (Figuras 27 y 28).

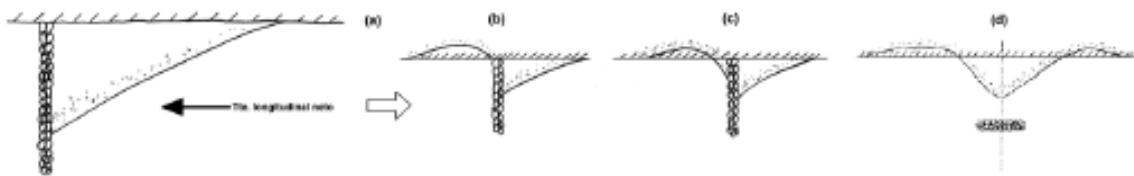


Figura 27. Evidencias morfológicas del transporte sólido longitudinal.

Fuente: De la Peña (2007).

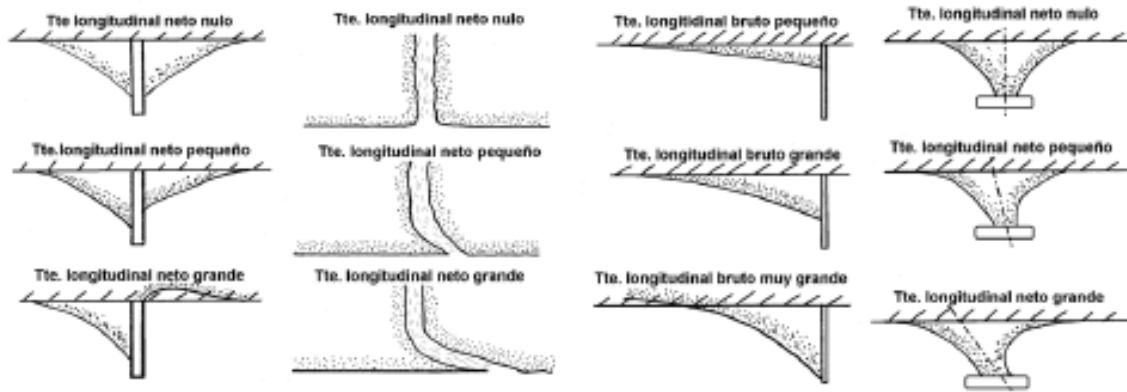


Figura 28. Evidencias morfológicas del transporte sólido longitudinal.

Fuente: De la Peña (2007).

METODOLOGÍA

La evolución de la línea de costa se analiza mediante el uso de ortofotos georreferenciadas obtenidas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA, 2020). Para realizar la comparación se han utilizado las imágenes correspondientes a los años 1956, 1997 y 2018, seleccionando estas fechas en función de la disponibilidad de datos históricos y actuales fiables.

En la década de los 50 se realizó el «Vuelo Americano (serie B)» al que corresponden las ortofotos AMS (B) 1956-1957, años en los que se llevó a cabo el primer levantamiento de precisión de la línea de costa que permite medir los efectos de las acciones antrópicas en las últimas seis décadas. Las imágenes del año 1997 pertenecen al vuelo OLISTAT Oleícola y han servido como referencia intermedia, ya que todavía no se había llevado a cabo la construcción de muchas obras marítimas de abrigo. Finalmente, las ortofotos más recientes del PNOA de Máxima Actualidad en el área de estudio pertenecen al año 2018. La línea de costa en los diferentes años se ha dibujado introduciendo las ortofotos en el programa QGIS de forma independiente, para luego exportarlas a un mismo archivo y realizar la comparación. Analizando el litoral en conjunto, se determina que existen zonas en las que la erosión o acreción de la playa son mucho más significativas. A continuación, se exponen algunos ejemplos de ello.



Figura 29. Líneas de costa de los años 1956, 1997 y 2018 respectivamente.

Fuente: PNOA (2020).

Peñíscola – Playa Norte de Peñíscola



Figura 30. Evolución de la línea de costa en la playa Norte de Peñíscola (Peñíscola).

Fuente: PNOA (2020).

Se puede observar que en el periodo estudiado la costa ha ido ganando terreno al mar, hasta un máximo de 38 metros. En la zona situada más al norte el cambio en los primeros años es prácticamente nulo, siendo notorio a partir de 1997.

Burriana – Playa del Arenal al norte del Puerto de Burriana



Figura 31. Evolución de la línea de costa en la playa del Arenal (Burriana).

Fuente: PNOA (2020).

La zona norte del Puerto de Burriana es una de las partes donde más evidente es el cambio en la línea de costa. La ampliación del puerto y la construcción de espigones provocó un aumento del ancho de playa de hasta 250 metros en 1997. Entre esa fecha y la actualidad, la diferencia ha sido menos

significativa, aunque como puede observarse en la Figura 31, en algunos puntos se ha seguido ganando bastante terreno al mar.

Burriana – Sur del Puerto de Burriana



Figura 32. Evolución de la línea de costa al sur del Puerto de Burriana (Burriana).

Fuente: PNOA (2020).

En el sur del Puerto de Burriana la evolución ha sido contraria al caso anterior. En los primeros 40 años la línea de costa retrocedió hasta 130 metros con la ampliación del puerto, variando muy poco hasta la actualidad.

Meliana - Playa de Meliana



Figura 33. Evolución de la línea de costa en la playa de Meliana (Meliana).

Fuente: PNOA (2020).

La variación del ancho de playa a lo largo de la misma es distinta, siendo evidente la influencia de la construcción de espigones en la zona. En algunos puntos, las obras provocaron un aumento de la playa que posteriormente sufrió una regresión; en otros puntos, el comportamiento ha sido el opuesto.

Valencia – Playa de La Malvarrosa



Figura 34. Evolución de la línea de costa en la playa de La Malvarrosa (Valencia).

Fuente: PNOA (2020).

En esta playa situada al norte del puerto de Valencia se observa cómo esta obra marítima actúa de barrera al transporte de sedimentos, acumulándose el material aguas arriba de la misma y provocando la acreción de la playa en unos 220 metros en el periodo de 62 años.

Valencia – Playa El Saler

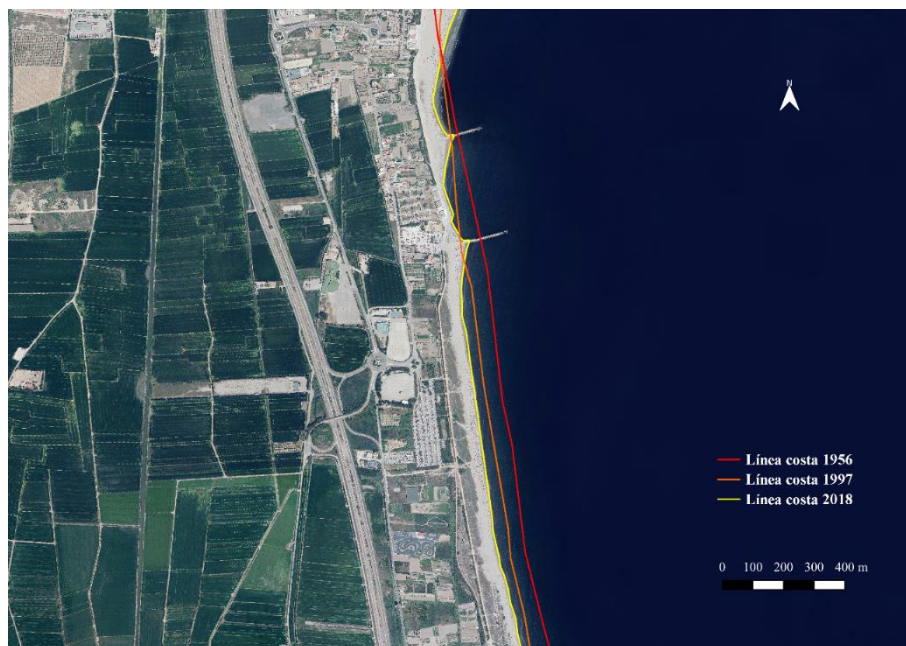


Figura 35. Evolución de la línea de costa en la playa El Saler (Valencia).

Fuente: PNOA (2020).

La playa El Saler es un claro ejemplo de zona con pérdida de arena. Al situarse aguas abajo del puerto de Valencia el transporte de sedimentos hacia el sur se ve impedido. Con la construcción de espigones se ha conseguido acumular cierta cantidad de material, pero la diferencia con respecto a situaciones anteriores sigue siendo evidente.

Oliva – Playa de Oliva-Pau Pi



Figura 36. Evolución de la línea de costa la playa de Oliva-Pau Pi (Oliva).

Fuente: PNOA (2020).

En este caso, la construcción del puerto y el sentido sur-norte del transporte de sedimentos produjeron la acumulación de arena a ambos lados de la obra y el crecimiento de la playa. Sin embargo, en los últimos años la línea de costa ha vuelto a retroceder.

Denia – Playa Les Deveses



Figura 37. Evolución de la línea de costa en la playa Les Deveses (Denia).

Fuente: PNOA (2020).

La playa Les Deveses ha sufrido una pérdida de material que ha supuesto el decrecimiento del ancho de playa entre unos 20 y 30 metros hasta el día de hoy. Sin embargo, debido a la construcción de obras de abrigo posteriores a 1997, se ha producido una acumulación de material al sur de la misma.

2.4.5. 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:

$$P_1 = (E \cdot c_g)_b = \frac{\rho g H_b^2}{8} \cdot c_{g_b} \quad \text{Ecuación 3}$$

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_1 , es:

$$P_1 = P \cdot \cos \alpha_b \cdot \sin \alpha_b = \frac{\rho g H_b^2}{8} \cdot c_{g_b} \cdot \cos \alpha_b \cdot \sin \alpha_b \quad \text{Ecuación 4}$$

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:

$$P_1 = \frac{\rho g H_b^2}{16} \cdot c_b \cdot \sin 2\alpha_b \quad \text{Ecuación 5}$$

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):

$$C_g \cong C = \sqrt{2gH_b} \quad \text{Ecuación 6}$$

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:

$$H_b = k_s \cdot k_r \cdot H_0 \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

k_s Coeficiente de asomeramiento. Se considera constante: $k_s^{1/2} = 1,14$

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

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

Se considera $(\cos \alpha_b)^{\frac{1}{4}} = 1$

La ecuación de la altura de ola en rotura puede reescribirse como:

$$H_b^{1/2} = 1,14 \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot H_0^{1/2} \quad \text{Ecuación 8}$$

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

$$P_l = 0,05 \cdot \rho \cdot g^{3/2} \cdot H_{S0}^{5/2} \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot \sin 2\alpha_0 \quad \text{Ecuación 9}$$

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 es la siguiente:

$$I_l = (\rho_s - \rho)g(1 - n)Q_l \quad \text{Ecuación 10}$$

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:

$$I_l = K \cdot P_l \quad \text{Ecuación 11}$$

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, $H_{b,rms}$.

$$K_{SPM,rms} = 0,92$$

Convirtiéndola a altura de ola significativa, se tiene:

$$K_{SPM,s} = 0,92 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^{5/2} = 0,39$$

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

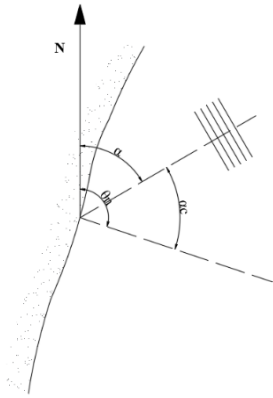
$$Q_l = \frac{K}{(\rho_s - \rho)g(1 - n)} \cdot P_l = \frac{K \cdot 0,05 \cdot \rho \cdot g^{3/2} \cdot H_{S0}^{5/2} \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot \sin 2\alpha_0}{(\rho_s - \rho)g(1 - n)} \quad \text{Ecuación 12}$$

Los valores supuestos son los siguientes:

Tabla 10. Parámetros de cálculo.

K	g (m/s ²)	ρ (kg/m ³)	ρ _s (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.



- 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 38. 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.

Así pues, la ecuación queda:

$$Q_l = \sum (2,027 \cdot 10^6 \cdot H_0^{5/2} \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot \sin 2\alpha_0 \cdot K_p \cdot K_g) \quad \text{Ecuación 13}$$

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

2.4.6. Transporte sólido litoral en la zona de actuación

Cálculo teórico

Aplicando la formulación expuesta anteriormente se obtiene para cada punto SIMAR la capacidad de transporte en las distintas direcciones. Los resultados detallados se encuentran en el *Anexo I - Resultados de la capacidad de transporte longitudinal*.

A modo de resumen, se expone en la Tabla 11 la capacidad de transporte en dos sentidos (norte-sur y viceversa) y el transporte neto. Se incluyen también los valores máximos y mínimos de esta capacidad dado que la fórmula utilizada puede inducir un error del 50%.

Tabla 11. Estimación de la capacidad de transporte longitudinal de sedimentos.

	N-S (m ³ /año)	S-N (m ³ /año)	TRANSPORTE NETO (m ³ /año)	Transp. Máx.* (m ³ /año)	Transp. Mín.* (m ³ /año)
Peñíscola SIMAR 2090124	700.000	294.000	406.000	1.050.000	147.000
Arsilaga SIMAR 2088123	476.000	154.000	322.000	714.000	77.000
Burriana SIMAR 2084118	917.000	124.000	793.000	1.375.500	62.000
Puig SIMAR 2081115	261.000	127.000	134.000	391.500	63.500
Malvarrosa SIMAR 2081114	397.000	270.000	127.000	595.500	135.000
El Saler SIMAR 2081112	353.000	275.000	78.000	529.500	137.500
Oliva SIMAR 2083108	267.000	351.000	-83.000	526.500	133.500

	N-S (m ³ /año)	S-N (m ³ /año)	TRANSPORTE NETO (m ³ /año)	Transp. Máx.* (m ³ /año)	Transp. Mím.* (m ³ /año)
Les Deveses SIMAR 2085107	67.000	1.209.000	-1.142.000	1.813.500	33.500

*Fórmula 50% error

Estos resultados se muestran de manera visual en la siguiente figura.

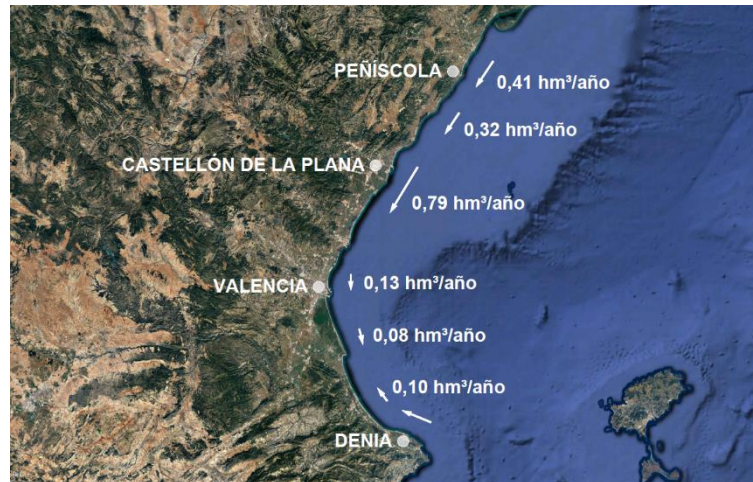


Figura 39. Estimación de la capacidad de transporte longitudinal de sedimentos.

2.4.7. Conclusiones

De los resultados obtenidos se determina que existe un mayor transporte de sedimentos en las zonas norte y sur. La reducción de la intensidad del transporte conforme se avanza hacia el sur y su posterior cambio de sentido en la parte de Denia se debe a la diferencia en la alineación de la costa. Se observa también que en líneas generales el transporte neto de sedimentos se realiza de norte a sur, excepto en el tramo de Oliva a Denia, donde se produce en sentido opuesto. Cabe mencionar que el tramo de costa de la zona de Denia difiere mucho de las hipótesis de partida. La batimetría está lejos de ser recta y paralela y, además, la costa es corta y cuenta con diversas obras marítimas, por lo que el transporte de sedimentos se ve modificado.

2.5. Influencia del cambio climático

España es uno de los espacios geográficos de Europa más afectados por los peligros de la naturaleza. En concreto, 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). Así pues, el cambio climático puede influir de manera indirecta por su relación con los fenómenos que suponen tales amenazas. La causa principal de este fenómeno es la emisión de gases de efecto invernadero.

En concreto, en la región Mediterránea tendrá lugar:

- 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. Las precipitaciones se reducirán fuertemente en los meses estivales.
- Un aumento de los extremos relacionados con precipitación de origen tormentoso.

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).

2.5.1. Escenarios de emisiones

Los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos 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 (N₂O) y los gases fluorados.

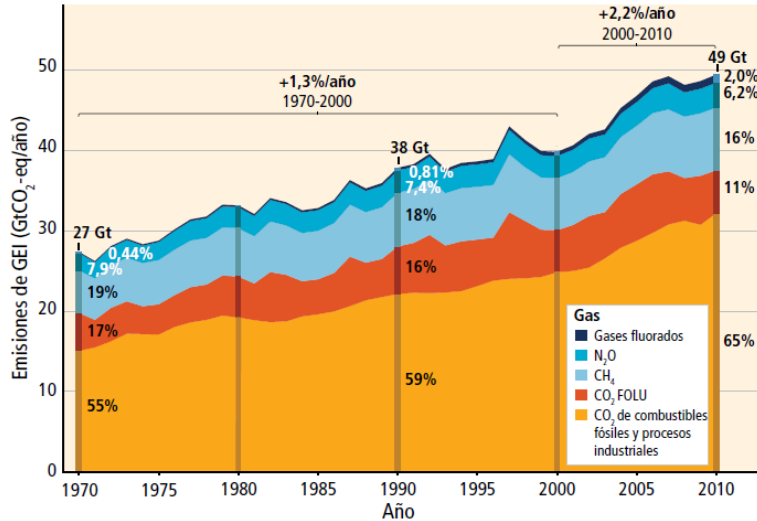


Figura 40. Emisiones antropogénicas anuales totales de GEI por gases, 1970-2010.
Fuente: IPCC (2014).

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. En la Figura 41, se muestran los valores de emisiones que presenta cada escenario.

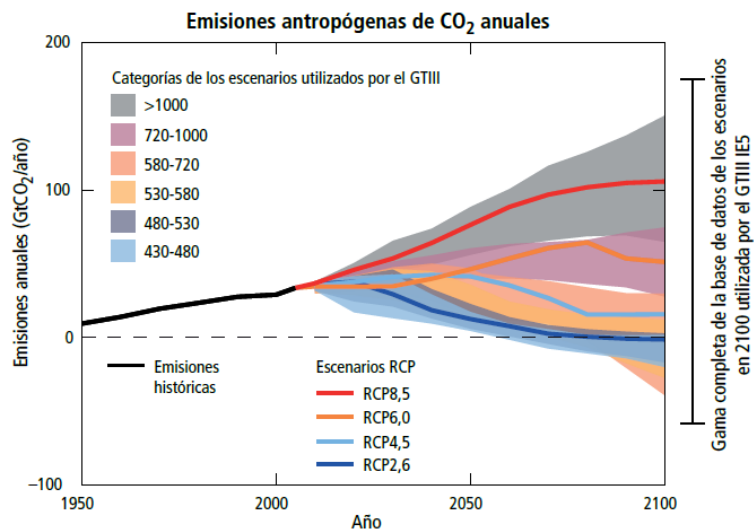


Figura 41. Emisiones de dióxido de carbono (CO₂).
Fuente: IPCC (2014).

- **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.

A pesar de la evaluación de diversos escenarios favorables o desfavorables, en general todos ellos son bastante optimistas. Existen políticas para reducir la emisión de gases y mitigar los impactos del efecto invernadero, sin embargo, la realidad es que para conseguir tal disminución se necesita un compromiso a nivel social y económico, individual y colectivo, mucho mayor al existente hoy día.

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.

2.5.2. Elevación del nivel del mar

Uno de los efectos inmediatos del cambio climático provocado por el efecto invernadero en nuestro planeta es la subida del nivel del mar (De la Peña, 2018).

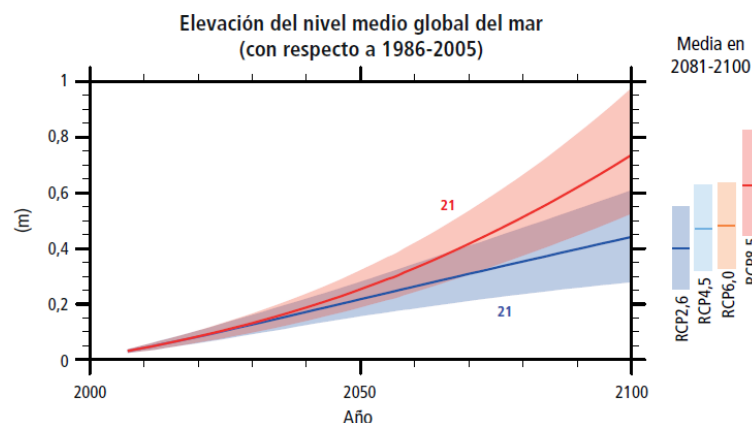


Figura 42. Proyección de elevación del nivel medio global del mar en el siglo XXI.

Fuente: IPCC (2014).

A lo largo de los años se han ido realizando diferentes informes del IPCC en los que las predicciones sobre la subida del nivel del mar han ido cambiando. Por ejemplo, en 2001 se preveía una tasa de elevación entre 1 y 2 mm/año para el siglo XXI; sin embargo, la subida podría alcanzar valores superiores a 4 mm/año. Las proyecciones de nivel del mar para los distintos escenarios RCP con sus bandas de confianza se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12. Proyecciones del nivel del mar para los distintos escenarios RCP.

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]

Fuente: IPCC (2014).

Hacia mitad de siglo, el aumento del nivel del mar es similar en todos los escenarios, variando entre 0,17 y 0,38 metros sobre el nivel de referencia (periodo 1980-2000). Sin embargo, la diferencia entre escenarios a finales del siglo XXI es realmente significativa, pudiendo ir desde 0,28 a 0,97 metros. Además, Schleussner et al. (2016) seleccionaron dos escenarios de emisiones que suponían un aumento global de temperatura de 1,5°C y 2°C, respectivamente, para determinar el aumento del nivel del mar a lo largo del siglo XXI. En ambos escenarios las proyecciones se basan en el modelo climático MAGICC (Meinshausen et al., 2011) y se calibran de acuerdo al equilibrio en la sensibilidad climática evaluado en el IPCC (2014). Las proyecciones de aumento se muestran en la siguiente figura.

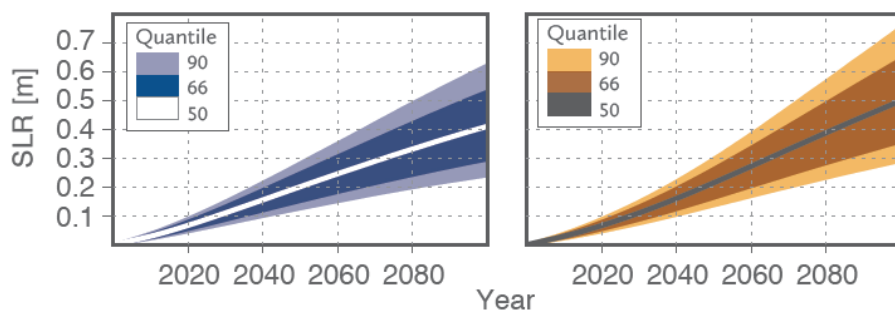


Figura 43. Proyecciones probabilísticas del aumento global del nivel del mar (SLR) para ambos escenarios en relación con los niveles de 1986-2005.

Fuente: Schleussner et al. (2016).

En el segundo escenario (2°C), se proyecta una subida media del nivel del mar de unos 50 cm hasta el año 2100, con una tasa de elevación de 5,6 mm/año. En el primer escenario (1,5°C), la proyección para el mismo año es un 20% menor (10 cm) y la tasa de elevación es un 30% inferior hacia final de siglo. Los resultados obtenidos por Schleussner et al., (2016) se muestran detallados en la Tabla 13.

Tabla 13. Subida del nivel del mar en el siglo XXI.

	1,5°C	2°C
SLR 2081-2100 (m)	0,37 [0,27 - 0,48]	0,44 [0,32 - 0,57]
SLR 2100 (m)	0,41 [0,29 - 0,53]	0,5 [0,36 - 0,65]
Rate of SLR 2041-2060 (mm/año)	4,6 [3,2 - 5,8]	5,6 [4,0 - 7,0]
Rate of SLR 2081-2100 (mm/año)	4,0 [2,7 - 5,5]	5,6 [3,8 - 7,7]

Scheleussner et al. (2016).

El aumento de temperatura influye también en la reducción de agua disponible y en los periodos de sequía. Este factor es especialmente importante en la región mediterránea dada su vulnerabilidad a la escasez de agua (Schellnhuber et al., 2014). De hecho, la reducción en la disponibilidad de agua varía de un 9 a un 17% entre 1,5°C y 2°C y los periodos de sequía de un 7 a un 11%.

Cabe mencionar que en todos los escenarios considerados el nivel del mar continúa aumentando más allá del 2100. Estudios de modelado llevados a cabo por Levermann et al. (2013) indican que no se debe descartar una subida del nivel del mar de hasta 9 metros para un calentamiento de 2°C en escalas de tiempo multimilenarias.

2.5.3. Efecto de la subida del nivel del mar en las playas

Los procesos erosivos o de acreción en la costa dependen, a nivel general, de los cambios en el nivel medio del mar, cambios en la dirección del oleaje y cambios en el transporte de sedimentos (IHCantabria, 2014). En condiciones de equilibrio, el perfil y la forma en planta de una playa atienden al balance de sedimentos originado por el oleaje. La elevación del nivel del mar y, con ello, la modificación de la línea de costa, suponen cambios en el clima marítimo y el transporte de sedimentos. Ante esta situación, el perfil de la playa se ve 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 tasa de retroceso de la playa depende del nivel del mar, la altura de la berma, el transporte de sedimentos y los posibles aportes de sedimentos fluviales en estuarios o ríos cercanos. De manera teórica, se propone para este cálculo la 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. Este método considera que la costa está en equilibrio cuantitativo y, por tanto, la cantidad de material que entra es igual a la que sale; el perfil se mueve sin cambiar su forma y no requiere una forma específica para el perfil de equilibrio (De la Peña et al., 2018). Los parámetros que intervienen son los siguientes:

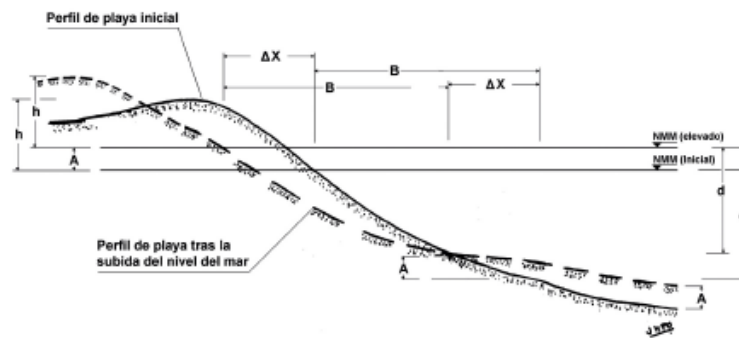


Figura 44. Variables de la Regla de Bruun (1962).

$$AB = \Delta X (h + d)$$

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

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
$\tan \theta$	Pendiente promedio sobre el perfil activo

El área dada por $\Delta X (h + d)$ representa la cantidad de arena necesaria por metro lineal para restablecer el perfil original.

IH Cantabria asume diversas simplificaciones a lo largo de la costa para trabajar en grandes áreas: mismo tamaño de grano en todo el litoral; berma de 1 metro. El retroceso de la línea de costa debido al aumento del nivel del mar para el año 2040 puede observarse en la Figura 45. Este se encuentra en un rango de 50 – 100 metros por cada metro de subida del nivel del mar.

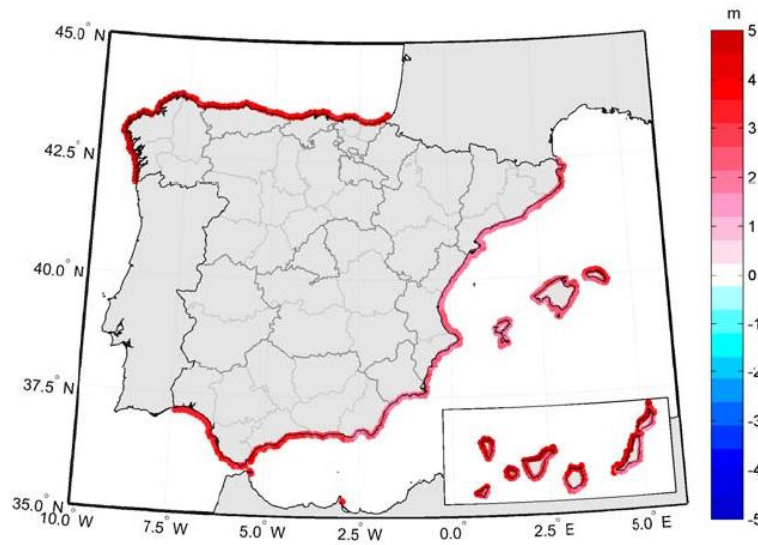


Figura 45. Retroceso en playas debido a la subida del nivel del mar en el año 2040.
 Fuente: IH Cantabria (2014).

La proyección de retroceso de las playas en la costa valenciana para 2040, de acuerdo a las previsiones climáticas de los modelos IPCC, es de 1,5 a 2 metros. La cota de inundación en el litoral mediterráneo presenta aumentos del 2 al 3%.

2.6. Caracterización de sedimentos

La caracterización de sedimentos tanto del yacimiento de material granular como 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).

Los depósitos de arena presentan diferente dragabilidad en función de la granulometría y compacidad del suelo. La estructura del suelo puede ser homogénea o estar entremezclada con capas de limos o arcillas, en cuyo caso pueden producirse depósitos muy compactos.

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). En la Figura 46 se muestra el método de clasificación de Russell y Taylor.

5 4 3 2 1	Names of classes	Degree of roundness	Description
	E Angular	0 - 0.15	Sharp corners sharply defined. Large embayments with numerous equally sharply defined embayments
	D sub-angular	0.15 - 0.25	Incipient rounding of corners. Large embayments preserved, small embayments smoother and less numerous.
	C sub-rounded	0.25 - 0.40	Corners well rounded, large embayments weakly defined, small embayments few in number and gently rounded
	B rounded	0.40 - 0.60	Original corners are gently rounded, large embayments are only suggested, small embayments absent
	A well-rounded	0.60 - 1.00	Original corners and large embayments are no longer recognizable. Uniformly convex outline (subordinate planar sections possible)

Figura 46. Clasificación de partículas de Rusell y Taylor.

Fuente: García y Moreno (2010).

A continuación, se muestran ejemplos generales de tipos de arena.



Figura 47. Ejemplos de tipos de arena.

Fuente: García y Moreno (2010).

Las arenas procedentes de operaciones de dragado pueden aparecer inicialmente descoloridas y visualmente poco atractivas debido a la presencia de pequeñas cantidades de finos. Esta apariencia suele cambiar de forma rápida tras su colocación en la playa. 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).

2.6.1. Caracterización del yacimiento

La información necesaria se ha obtenido del «Estudio de extracción de arena en aguas profundas de Valencia para alimentación de playas» (García y Moreno, 2010). La penetración media obtenida en la zona fue de 4,80 metros y la recuperación media de 4,30 metros. En la Figura 48 se observa una muestra de arena del yacimiento.

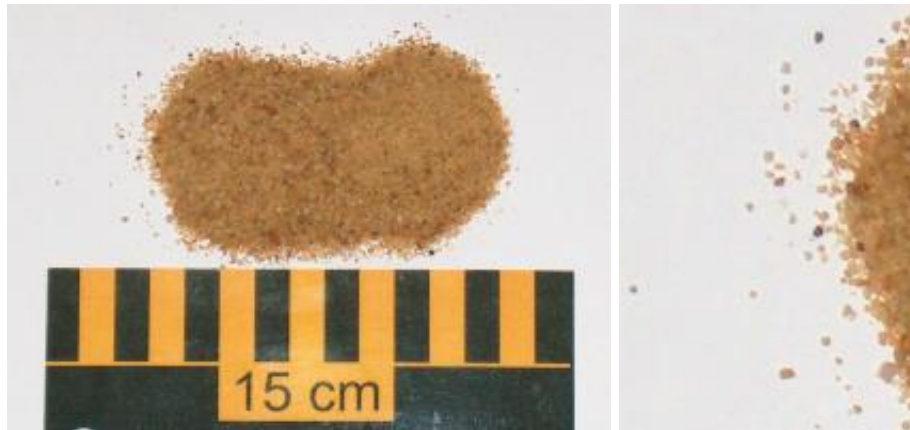


Figura 48. Muestra de arena del yacimiento.

Fuente: García y Moreno (2010).

Con base en el estudio geofísico y los sondeos realizados (un total de 279) en la zona de extracción de arenas, se exponen en la Tabla 14 las características granulométricas medias de las muestras analizadas.

Tabla 14. Características granulométricas del árido del yacimiento.

Zona del yacimiento	D ₅₀ con conchas (mm)	D ₅₀ sin conchas (mm)
Polígono A	0,43	0,43
Polígono B	0,36	0,35
Polígono C	0,33	0,33
Polígono D	0,29	0,28
Promedio	0,32	0,32

Fuente: García y Moreno (2010).

La gran extensión del yacimiento favorece que el material del mismo varíe su granulometría de una zona a otra, siendo la proporción de finos del 22%. Puede deducirse también que la presencia de conchas no influye significativamente, ya que el diámetro de la arena se mantiene igual o es muy parecido.

2.6.2. Caracterización de 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. Entre otros documentos, consta de los siguientes estudios:

- Ecocartografía del litoral de las provincias de Alicante y Valencia (2006).
- Ecocartografía del litoral de la provincia de Castellón (2009).

En el *Anexo 2 – Caracterización de playas de la costa valenciana*, se muestra una tabla con información más detallada de cada una de ellas. Los datos que se incluyen son:

- Nombre de la playa.
- Tipo de playa.
- Tipo de sedimento.
- Diámetro medio del material granular (D₅₀).

La Tabla 15 muestra de forma resumida los diámetros medios del material presente en las playas analizadas.

Tabla 15. Características del material granular.

Diámetro medio del material granular (mm)	
D ₅₀ mínimo	0,10
D ₅₀ máximo	3,66
D ₅₀ promedio	0,50

Fuente: Plan de Ecocartografías del litoral español (2006).

El elevado valor del diámetro máximo se debe a que muchas de las playas o calas no están formadas únicamente por arenas, sino que también se combinan con gravas o bolos. Influyen en ello también los procesos erosivos, ya que han provocado la pérdida del material más fino. Se han discretizado aquellas playas que solo disponen de arenas y los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 16. Características del material granular en playas conformadas únicamente por arenas.

Diámetro medio de las arenas (mm)	
D ₅₀ mínimo	0,14
D ₅₀ máximo	1,65
D ₅₀ promedio	0,30

Fuente: Plan de Ecocartografías del litoral español (2006).

Puede observarse cómo los valores son mucho más pequeños en este caso, alcanzando incluso una diferencia de más del 50 % en el diámetro máximo.

2.6.3. Conclusiones

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 los resultados se concluye que, en líneas generales, el valor promedio del D₅₀ del yacimiento (0,32 mm) es superior al D₅₀ promedio de las playas analizadas (0,30 mm). Además, el propio yacimiento consta de arenas con distinta granulometría, lo que favorece su uso. Con todo ello, se considera que el material a dragar es apto para las actuaciones de regeneración de las playas valencianas, aprovechando todo el material dragado sin diferenciar el material fino de la arena.

2.7. Transporte sedimentario fluvial

Los sedimentos que los ríos aportan al mar en su curso natural son de especial importancia para mantener una línea de costa estable, ya que estos se suman al transporte sedimentario litoral. Si el transporte fluvial se ve impedido y se reduce la cantidad de sedimentos que llegan a la costa, se producirá una erosión generalizada de las playas.

Este problema erosivo se presenta actualmente en la costa y su causa principal es el aterramiento en los embalses. En el momento en que un curso de agua entra en contacto con agua embalsada, los materiales transportados más gruesos precipitan rápidamente formando un depósito denominado «delta de cola», y las fluctuaciones del agua en el embalse influyen en ellos. Si las aportaciones de agua se reducen y estos quedan en contacto con la atmósfera, pueden consolidarse y aumentar su densidad en poco tiempo. Al reanudarse los aportes, estos sedimentos serán difícilmente erosionables y pueden actuar como una especie de barrera que retiene el material nuevo (Cobo, 2008).

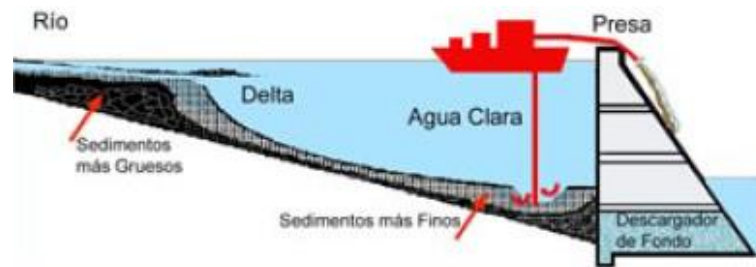


Figura 49. Acumulación de sedimentos en embalses.

Fuente: Google (2020).

Además, la acumulación de sedimentos en los embalses influye negativamente en la capacidad para regular el suministro de agua y reducir el riesgo de inundaciones. Se necesita una gestión sostenible de los sedimentos de forma que se preserven los beneficios de los embalses para las generaciones futuras y reducir los impactos ambientales (Abderrezzak1 et al., 2020).

2.7.1. Aterramiento en embalses

El Inventario de Presas Españolas (1991) determina que en España existen 1.133 presas en servicio que conforman 1.040 embalses con un volumen total de 56 km³ y que el 98% de la capacidad total se concentra en 300 embalses con un volumen superior a 10 hm³.

Se ha evaluado la pérdida de capacidad en 121 de ellos, calculando el volumen de sedimentos por la diferencia entre el valor inicial del embalse y el actual (Cobo, 2008). Los resultados se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Situación de los embalses en 2003.

Cuenca hidrográfica	Capacidad inicial (hm ³)	Aterramiento en 2003 (hm ³)
Norte	*	*
Duero	7.667	496,09
Tajo	11.135	430,88
Guadiana	9.619	1.228,40
Guadalquivir	8.867	796,65
Med. Andaluza	1.319	74,20
Segura	1.223	124,97
Júcar	3.349	188,32
Ebro	7.702	917,50
C.I. Cataluña	772	77,90
Total	51.653	4.335

*No se han tenido en cuenta los embalses de la C.H. del Norte porque el número estudiado no tiene la suficiente representatividad.

Fuente: Cobo (2008).

La mayoría de los embalses (98%) tienen una pérdida de capacidad anual inferior al 1%. Dada el área de estudio del presente trabajo, son de interés las cuencas hidrográficas del Júcar y del Ebro. Se determina que se ha perdido una aportación de sedimentos hacia el mar de unos 200 hm³ en el primer caso y de casi 1.000 hm³ en el segundo.

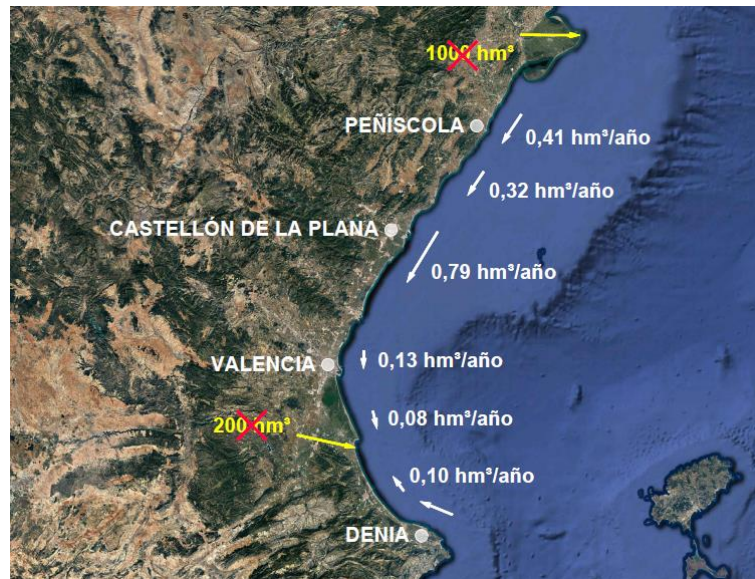


Figura 50. Transporte de sedimentos en la zona de actuación.

Estos datos pueden a lo largo del siglo XXI para estimar la pérdida de capacidad que presentarán las distintas cuencas hidrográficas. Para ello se consideran las siguientes hipótesis de partida:

- Los embalses estudiados son representativos de la cuenca hidrográfica.
- El régimen de explotación de los embalses no variará significativamente.
- El aporte de sedimentos se mantiene a lo largo de todo el periodo.

El cambio climático puede influir en esta pérdida por la posible disminución de aportes hídricos y, por tanto, el menor aporte sedimentario, aunque esto puede verse compensado por la mayor intensidad de los procesos (R. Cobo, 2018). En la Tabla 18 se muestran los resultados para el año 2050.

Tabla 18. Situación en 2050.

Cuenca hidrográfica	Capacidad inicial (hm ³)	Aterramiento en 2050 (hm ³)
Norte	*	*
Duero	7.667	943,33
Tajo	11.135	884,30
Guadiana	9.619	2.652,82
Guadalquivir	8.867	1.542,96
Med. Andaluza	1.319	216,44
Segura	1.223	194,77
Júcar	3.349	419,14
Ebro	7.702	1.822,72
C.I. Cataluña	772	166,89
Total	51.653	8.843

*No se han tenido en cuenta los embalses de la C.H. del Norte porque el número estudiado no tiene la suficiente representatividad.

Fuente: Cobo (2008).

El aterramiento en los embalses es continuo y progresivo con el paso del tiempo. Hacia mitad de siglo la cuenca hidrográfica del Júcar retendrá unos 420 hm³ y la del Ebro, 1.800 hm³, valores que suponen un aumento en torno al 50%. Resulta evidente que, como solución a largo plazo, se deben plantear trasvases de arena en los embalses. De esta manera se restituye el flujo sedimentario fluvial y estos aportes son capaces de llegar al mar, evitando procesos de erosión generalizada a lo largo de la costa. Sin embargo, esta actuación es muy compleja, sobre todo a nivel medioambiental, y requiere un estudio en profundidad en el ámbito de la ingeniería fluvial.

3. PROPUESTA DE ACTUACIÓN: RESTITUCIÓN DEL FLUJO SEDIMENTARIO LITORAL

3.1. Volumen necesario para la regeneración de playas

La restitución del flujo sedimentario se basa en la regeneración masiva de las playas que comprende el litoral valenciano. El propósito de las aportaciones de arena es restablecer el equilibrio sedimentario previo a la construcción de las numerosas barreras al transporte de sedimentos. También se realiza una estimación de la cantidad de arena necesaria para compensar la subida del nivel medio del mar del siglo XXI.

3.1.1. División por tramos

Para preservar el restablecimiento del equilibrio sedimentario y proteger el litoral, se ha dividido la costa en nueve tramos siguiendo la delimitación de las unidades morfodinámicas de la zona (Figura 51).

- **Tramo 1.** Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola.
- **Tramo 2.** Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón.
- **Tramo 3.** Puerto de Castellón – Puerto de Burriana.
- **Tramo 4.** Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto.
- **Tramo 5.** Puerto de Sagunto – Puerto de Valencia.
- **Tramo 6.** Puerto de Valencia – Puerto de Cullera.
- **Tramo 7.** Puerto de Cullera – Puerto de Gandía.
- **Tramo 8.** Puerto de Gandía – P.D. La Goleta (Oliva).
- **Tramo 9.** P.D. La Goleta (Oliva) – Puerto de Denia.



Figura 51. División en tramos de la costa.

Fuente: Google Earth (2020).

En el Anexo 3 – Zonificación por tramos se esquematizan las zonas erosionadas, en acreción y rocosas, y se muestran algunos ejemplos de ello.

3.1.2. Estimación del volumen de arena por tramos

La determinación de los volúmenes de aportación necesarios se ha llevado a cabo a través de los siguientes trabajos:

- Análisis de la evolución de la línea de costa.
- Cálculo de la capacidad de transporte longitudinal de sedimentos.
- Subida del nivel medio del mar debido al cambio climático.

Por un lado, la comparación de las líneas de costa permite establecer las zonas erosionadas y determinar el volumen de arena mínimo que cubra las necesidades actuales. Por otra parte, considerar la subida del nivel medio del mar posibilita la estimación de la cantidad de arena necesaria que compense esta subida en el siglo XXI, de manera que las actuaciones de regeneración sean eficientes a largo plazo. Además, precisar cómo se produce el transporte de sedimentos a lo largo de la costa facilita la planificación de las actuaciones, puesto que el flujo natural de sedimentos hará que la arena se reparta.

Volumen necesario para erosiones localizadas

Se ha calculado el volumen de arena requerido en cada uno de los nueve tramos considerando únicamente las áreas erosionadas en el periodo estudiado (1956-2018) y descontando también las zonas rocosas.

El valor del área retrocedida se determina por la diferencia entre las líneas de costa de los años mencionados. El volumen de arena se obtiene multiplicando este valor por la altura correspondiente a la suma de la profundidad de cierre (d) y la altura de la berma (h) (Figura 52).

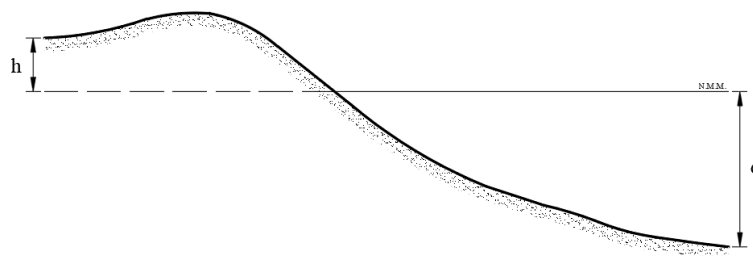


Figura 52. Valores considerados para el cálculo del volumen de arena.

En este caso, se ha establecido en el subapartado 2.4.2 *Profundidad de cierre* una profundidad de cierre de 10,2 metros. La altura media de berma considerada para todos los tramos es de 2 metros.

El yacimiento dispone de arenas gruesas y medias aptas para regeneración de playas mezcladas con material fino, por lo que se debe extraer un volumen de sedimentos mayor al necesario teniendo en cuenta esta proporción de finos. Su valor se establece en un 22% (*apartado 2.2 Yacimiento de material sedimentario*). De forma resumida se tiene:

Tabla 19. Volumen de arena necesario para la regeneración de cada tramo.

Tramo	Volumen requerido (m ³)	Volumen de extracción (m ³)
Tramo 1. Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola	856.000	1.098.000
Tramo 2. Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón	5.549.000	7.117.000
Tramo 3. Puerto de Castellón – Puerto de Burriana	2.919.000	3.743.000
Tramo 4. Puerto de Burriana - Puerto de Sagunto	9.465.000	12.139.000
Tramo 5. Puerto de Sagunto - Puerto de Valencia	3.927.000	5.036.000
Tramo 6. Puerto de Valencia - Puerto de Cullera	7.407.000	9.499.000
Tramo 7. Puerto de Cullera - Puerto de Gandía	3.368.000	4.320.000
Tramo 8. Puerto de Gandía - P.D. La Goleta (Oliva)	810.000	1.038.000
Tramo 9. P.D. La Goleta (Oliva) – Puerto de Denia	710.000	910.000
Total	35.011.000	44.900.000

Las zonas que han experimentado procesos erosivos más intensos son la ubicada entre Burriana y Sagunto y la situada al sur del Puerto de Valencia, ya que este supone una gran barrera al transporte de sedimentos. La cantidad de arena necesaria para las actuaciones a realizar en toda el área de estudio es de unos 35.011.000 m³, lo que implica que el yacimiento tiene un volumen de material apto en torno a 2,7 veces superior al imprescindible para cubrir las necesidades actuales de regeneración de estas playas. Esto supone la extracción de 44,9 millones de m³ de material del yacimiento.

Volumen necesario para erosión generalizada

La erosión generalizada hace referencia a la producida por la subida del nivel medio del mar, por lo que afecta a toda la costa sin diferenciar las zonas que actualmente se encuentren en erosión o acreción. Tampoco se han considerado en este cálculo los tramos de costa rocosos. Se ha estimado la cantidad de arena necesaria para compensar la elevación del nivel del mar hasta el año 2070, puesto que el periodo considerado para la actuación es de 50 años. Con base a lo expuesto en el subapartado 2.5.2. *Elevación del nivel del mar*, se toma un valor medio de 0,30 metros. El volumen de sedimentos se calcula a partir de la Regla de Bruun (1962) descrita previamente.

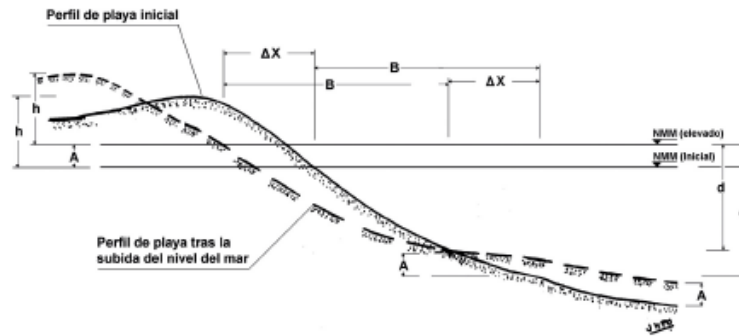


Figura 53. Regla de Bruun (1962).

Los datos necesarios son los siguientes:

- A Subida del nivel del mar. De forma general se considera un aumento de 0,30 metros hasta el año 2070.
- B Distancia entre la línea de orilla y la profundidad de cierre. La profundidad de cierre se establece en 10,2 metros. Puesto que la batimetría difiere mucho de un punto a otro, se ha obtenido un valor medio para cada tramo estudiado mediante el software QGIS.
- AB Cantidad de material por unidad de longitud necesaria para restablecer la elevación del fondo sobre una distancia B. Se obtiene multiplicando los valores anteriores.

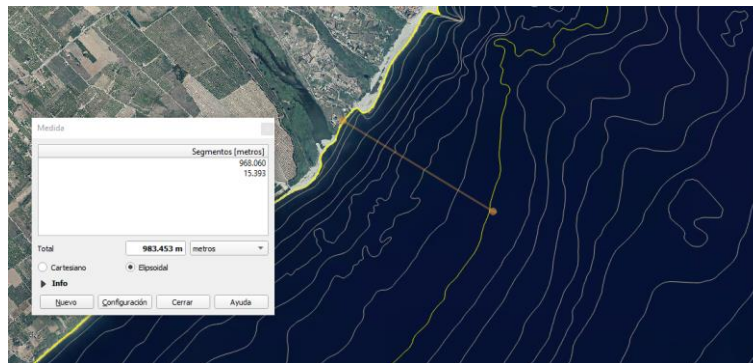


Figura 54. Ejemplo de medida en QGIS.

La cantidad de arena final resulta de multiplicar el área AB por la longitud correspondiente de cada tramo, que también pueden medirse en QGIS. Se considera nuevamente la proporción de finos. Los resultados se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Volumen de arena necesario para compensar la subida del nivel del mar.

Tramo	Distancia B (m)	Volumen requerido (m ³)	Volumen de extracción (m ³)
Tramo 1. Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola	900	4.618.000	5.911.000
Tramo 2. Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón	1020	11.101.000	14.209.000
Tramo 3. Puerto de Castellón – Puerto de Burriana	1160	4.125.000	5.280.000

Tramo	Distancia B (m)	Volumen requerido (m ³)	Volumen de extracción (m ³)
Tramo 4. Puerto de Burriana - Puerto de Sagunto	1080	7.412.000	9.487.000
Tramo 5. Puerto de Sagunto - Puerto de Valencia	1150	6.388.000	8.177.000
Tramo 6. Puerto de Valencia - Puerto de Cullera	1000	8.355.000	10.694.000
Tramo 7. Puerto de Cullera - Puerto de Gandía	1080	7.474.000	9.567.000
Tramo 8. Puerto de Gandía - P.D. La Goleta (Oliva)	970	2.523.000	3.229.000
Tramo 9. P.D. La Goleta (Oliva) – Puerto de Denia	1160	7.265.000	9.299.000
Total		59.261.000	75.853.000

El tramo que requerirá mayor cantidad de arena para compensar la elevación del mar es el correspondiente al de Peñíscola – Castellón. El volumen total para equilibrar el efecto del cambio climático sobre la costa es de 59 millones de m³ de arena, lo que implica la extracción de casi 76 millones de m³ de material del yacimiento.

3.2. Estudio técnico de la extracción de arena

3.2.1. Zona de dragado

La «Ampliación del Estudio Geofísico marino en la costa de Valencia y Alicante hasta la profundidad de 80 metros» y «Complementario n°1 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.

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.

Así pues, mediante el análisis de los datos y muestras obtenidos, se establecieron 5 zonas de interés (Tabla 21). Su ubicación se detalla en la Figura 55.

Tabla 21. Zonas de interés en la comunidad valenciana.

Provincia	Zonas de interés
Alicante	A1, A4, A6
Valencia	V13, V5

Fuente: García y Moreno (2010).

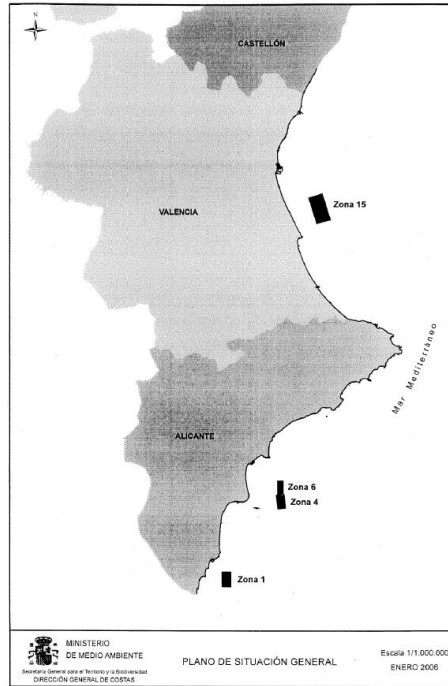


Figura 55. Ubicación de las zonas de interés.
 Fuente: García y Moreno (2010).

En este caso, la zona de interés considerada para comenzar los trabajos de regeneración del litoral valenciano 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.

3.2.2. Equipo de dragado

Existen diversos equipos de dragado cuya elección es función del tipo de actuación a realizar. La clasificación de las dragas se muestra a continuación.



Figura 56. Clasificación de las dragas.
 Fuente: Escalante (2019).

Los condicionantes a tener en cuenta para la elección del equipo son los siguientes:

- Situación del yacimiento en zona desprotegida.
- Profundidad de dragado.
- Tipo de material a dragar.
- Limitaciones en el espesor del estrato a dragar.

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).

Dragas de succión en marcha o de arrastre

Una draga hidráulica de succión en marcha o de arrastre es una embarcación autopropulsada y autoportante que draga de forma continua volúmenes de material en aguas profundas, incluso admitiendo condiciones marítimas desfavorables (Yepes, 2016). Este tipo de dragas representan menos de la cuarta parte del parque mundial de dragas hidráulicas.



Figura 57. Dragas de succión en marcha.

Fuente: Yepes (2016).

El material se aspira mediante una tubería con cabezal de succión que desagrega los sólidos del fondo marino. La bomba de dragado, sumergible (instalada en la tubería de succión) o a bordo, crea el vacío necesario para poner en suspensión en el agua los materiales sueltos y la mezcla agua-producto es aspirada y depositada en la cántara de la propia draga, pudiendo ser transportada a grandes distancias. La descarga del mismo puede realizarse por apertura de fondo o bombeo.

La principal ventaja de este tipo de maquinaria es su capacidad para realizar el transporte y vertido de los materiales dragados.

A continuación, se detallan los diferentes subtipos y sus principales características, de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.

Tabla 22. Clasificación de dragas de succión en marcha.

Tamaño	Medio - Grande	Grande - Jumbo	Jumbo - Mega
Cántara (m ³)	6.000 – 10.000	10.000 – 17.000	17.000 – 45.000
Profundidad (m)	50	70-80	70 - 140
Calado (m)	8 – 9	9 – 12	12 – 16
Tubería descarga (mm)	Ø 800 / 900	Ø 1.000 / 1.200	Ø > 1.200
Número dragas	18	11	15

Fuente: García y Moreno (2010).

A lo largo de los años se han ido construyendo dragas con mayor capacidad de cántara, aumentando hasta casi el triple en cuestión de una década.

Dada la profundidad a la que se encuentra el yacimiento será necesaria una draga de succión de arrastre tipo Jumbo. En la Tabla 23 se muestran algunas de las dragas consideradas para la extracción del material sedimentario.

Tabla 23. Dragas tipo Jumbo.

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

Fuente: Escalante (2015).

Actualmente existe un número reducido de dragas capaces de llevar a cabo este tipo de trabajo. El coste económico de su movilización es muy elevado, por lo que se debe plantear una regeneración de playas masiva para que sea rentable.

Componentes del sistema de dragado

La draga de succión en marcha tiene un sistema de dragado con los siguientes componentes:

- 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.

Bombas de dragado

Normalmente el número de bombas para succionar el material es de 1 o 2 unidades por buque. Pueden situarse en la sala de máquinas o en el tubo de aspiración (sumergidas). Cada vez se utiliza más la segunda opción ya que permite alcanzar mayores profundidades de dragado sin disminuir la capacidad de succión, además de obtener un mayor peso específico de la mezcla y uniformidad en el proceso de succión. La eficiencia de succión de la bomba depende de la profundidad a la que esta se encuentre y de la profundidad de dragado, de la velocidad de la mezcla, del diámetro de la tubería y del material a dragar.

Tubos de succión o aspiración

El tubo de succión es una tubería articulada que permite movimientos horizontales y verticales, vinculando el fondo a dragar con la cántara. Durante la navegación se lleva a bordo y, una vez en la zona de dragado, se baja mediante grúas. Si las bombas están en la sala de máquinas se conectan por debajo de la línea de flotación a través de la abertura en el casco; si están en el tubo de aspiración, la conexión superior puede ser fija.

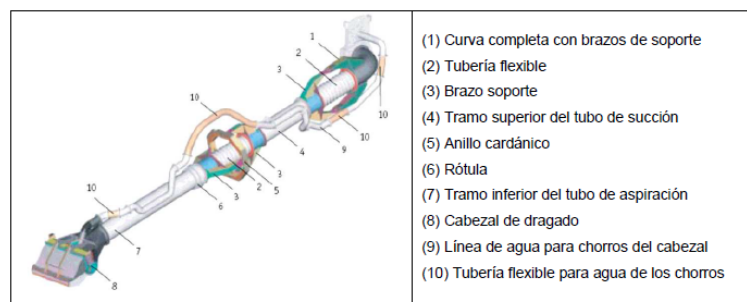


Figura 58. Partes del tubo de succión.

Fuente: Escalante (2019).

La longitud del tubo de succión debe ser acorde a la profundidad de dragado y ello conlleva un aumento en el peso asociado a tener en cuenta en la capacidad de los pórticos y la potencia de las grúas que lo manejan. Se han diseñado bombas sumergidas de gran magnitud capaces de llenar la cántara por sí solas, sin necesidad de estar conectada a una bomba ubicada a bordo. El diámetro de los tubos

se establece en función de la potencia de las bombas y el volumen de la cántara, variando desde 300 mm a 1.400 mm, según la capacidad de la draga. Además, se suelen colocar indicadores que permiten un mayor control del proceso de dragado, como pueden ser indicadores de caudal o medidores de fibra óptica de depósitos en tubería.

Cabezal de dragado

El cabezal de dragado es el enlace entre el tubo de succión y el material a dragar. Para una correcta operación de dragado con flujo óptimo se debe prestar especial atención a su diseño, calidad y resistencia. La función del cabezal es maximizar la concentración de sólidos que se extraen del fondo mientras se minimiza el desgaste que se produce en el mismo. La productividad depende del ancho del cabezal, la profundidad de penetración y la velocidad de dragado. Su elección atiende al tipo de material a dragar, distinguiéndose los siguientes tipos:

Tabla 24. Tipos de cabezal y aplicación.

Tipo	Aplicación
Fruhling	Arcillas blandas y arenas sueltas
Sedimento	Sedimentos
Californiano	Arenas compactas
Venturi	Arenas
Inyector de agua	Arenas compactas y arcillas de dureza media
Activa	Arcillas duras, compactas y de dureza media

Fuente: García y Moreno (2010).

Cántara

La cántara es el componente en el que se deposita el material succionado del fondo marino. Cuenta con un sistema denominado ALMOB (Automatic Light Mixture OverBoard) que permite devolver al mar aquel material dragado con densidad inferior a la deseada. Conforme se va llenando la cántara con la mezcla, los sólidos van sedimentando y el agua excedente puede descargarse mediante un vertedero o rebalse (proceso de rebase). La altura de este vertedero varía según el tipo de actuación y del material a dragar. De acuerdo a lo expuesto previamente, los equipos de dragado se clasifican con base en la capacidad de su cántara.

3.2.3. 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 59:

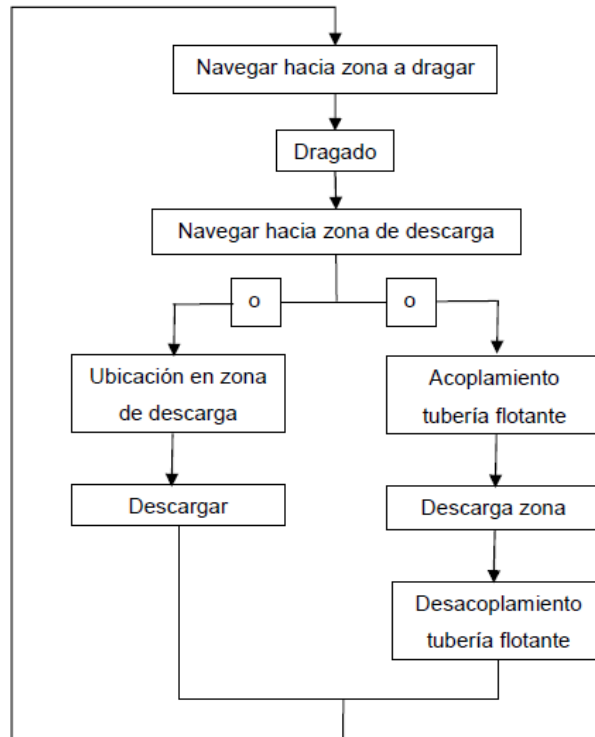


Figura 59. Fases del ciclo de dragado.

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.

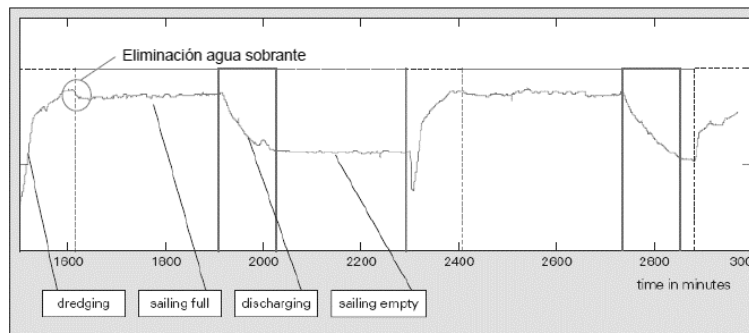


Figura 60. Ciclo de dragado.

Fuente: Hahlbrock (1998).

1. Carga de la draga.

Se sitúa la draga en la zona de actuación y se vacía el agua de lastre de la cántara. A continuación, se bajan los tubos de succión hasta que queden en contacto con el fondo marino mientras la draga navega a una velocidad entre 1 y 5 nudos. Es importante que la velocidad respecto al suelo sea positiva para evitar que los tubos se apoyen en dirección opuesta. La velocidad de navegación durante la operación es menor que la de crucero, concentrándose la acción en la zona elegida. Para mantener la posición durante la operación se utilizan hélices y/o toberas en proa y popa, aunque las dragas más modernas están dotadas de posicionamientos dinámicos. Tras un periodo de dragado, la concentración de partículas sólidas de la mezcla está en torno al 20-30% y, según el tipo de material, se decide o no continuar con la operación.

2. Llenado de la cántara.

La capacidad de succión de la bomba se maximiza para llenar la cántara con la mezcla de agua y material sedimentario en el menor tiempo posible. La máxima concentración de sólidos se obtiene adecuando la velocidad de la draga y el tipo y presión de los cabezales al suelo sobre el que se trabaja. El control continuo de los diferentes parámetros (producción, posicionamiento, posición del cabezal, ángulo de succión, etc.) se lleva a cabo a través de sistemas informáticos capaces también de almacenar toda esta información. El comportamiento de los sólidos en la cántara depende del material que se trate, diferenciándose, por ejemplo, el del material granular y los finos.

Material granular

A medida que se llena la cántara, los materiales granulares tienden a decantar rápidamente mientras que la parte con mayor contenido de agua queda por encima. Cuando se llega al nivel del vertedero, se sigue dragando de manera que la mezcla con poca cantidad de sólidos sale y se reemplaza por una de mayor concentración. Este proceso se mantiene hasta que se alcanza el valor máximo de carga admisible por el equipo. En este sentido, el diseño de la cántara y la colocación del vertedero se realizan de forma que no se pueda exceder tal peso.

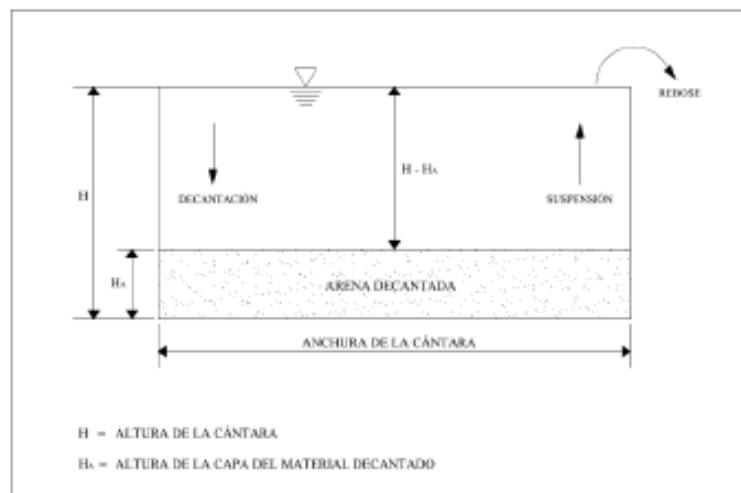


Figura 61. Grado de llenado de la cántara.

Fuente: García y Moreno (2010).

Materiales finos

Los materiales finos permanecen en suspensión un tiempo mayor al de la operación de dragado, por lo que cuando se llena la cántara, la concentración del material que entra y la del que sale es similar. Se debe parar el dragado en cuanto se llene la cántara y proceder a su transporte y descarga en el lugar correspondiente. En este caso, se coloca el vertedero lo más alto posible y la draga navegará con la cántara llena, pero no con su carga máxima.

3. Tiempo de giro.

El área de trabajo debe tener un ancho suficiente para que la máquina pueda realizar las maniobras de giro. El valor de ancho necesario es de 2,5 veces la longitud de eslora si la draga cuenta con una hélice en proa (lo que es habitual en dragas de succión en marcha) y 4 veces la eslora si no tiene. También es importante la longitud de la superficie a dragar ya que, para este tipo de dragas, tramos inferiores a 1000 metros pueden considerarse restrictivos. Si la longitud es inferior a 250 metros, se exige modificar el método de dragado para obtener resultados satisfactorios (Escalante, 2017). El supuesto de que el tramo a dragar no sea suficientemente largo para que la cántara pueda llenarse en un solo recorrido, implica un aumento de tiempo no productivo mientras realiza el giro. Por ello, se debe planificar el programa de dragado con tramos de longitud suficiente.

4. Tiempo de navegación con la draga cargada.

Al tratarse de un equipo autopropulsado, el material dragado puede transportarse sin problema al lugar de descarga. El tiempo de navegación depende de la velocidad de la draga y de la distancia a la que se encuentre su destino. Para realizar un transporte eficiente y económico, se navega a una velocidad que optimice la relación precio/tiempo. Por otra parte, la velocidad de navegación desde la zona de dragado al punto de vertido también dependerá de las características del barco, alcanzándose un valor de hasta 15 nudos con los equipos más modernos (García y Moreno, 2010).

5. Tiempo de descarga.

El vertido del material transportado se realiza poniendo este en suspensión por medio de la bomba de abordaje y proyectándolo a tierra para llevar a cabo la regeneración de playas. Existen varios métodos de descarga que se describen a continuación.

Descarga por compuertas de fondo

Este tipo de descarga es muy rápida, variando entre 5 y 10 minutos, aunque puede prolongarse si por problemas de profundidad se debe realizar una predescarga.

Descarga por tubería

La descarga por tubería se utiliza cuando el objeto del dragado es el relleno de terrenos o playas. Se ancla la draga, se conecta una tubería flexible flotante a un dispositivo preparado para ello en proa a la vez que se enlaza a una tubería rígida (que suele estar sumergida y apoyada en el fondo) y, finalmente, se realiza el bombeo. Este proceso requiere más tiempo que el caso anterior, siendo de, aproximadamente, 1 hora. El impulso de la arena a su destino en playa puede ejecutarse de dos formas:

- Tubería flotante, si el mar es tranquilo.

No suele ser necesario colocar una tubería por la playa, sino que una pequeña pontona anclada resulta suficiente para aportar desde ella el material hasta la parte alta de la playa. Se traslada de un punto a otro de vertido con un barco auxiliar.

- Tubería sumergida, si el clima marítimo se espera agitado.

En este caso sí es necesario extender una tubería a lo largo de la playa para impulsar la arena a través de ella hasta el punto final de vertido.

Descarga mediante chorro de proa

La draga se aproxima al lugar de vertido y lanza la mezcla a una distancia de unos 100 metros. El tiempo de trabajo requerido es intermedio a los dos tipos descritos anteriormente. Esta técnica se utiliza bastante en actuaciones de relleno, sobre todo en aquellos casos en los que la pendiente de la playa permite a la draga aproximarse lo suficiente y el bombeo se realiza directamente desde el barco, lo que supone un ahorro de tiempo y combustible.

6. Tiempo de navegación con la draga vacía.

El tiempo de navegación con el equipo en lastre es función de la velocidad de la draga y de la distancia al lugar de dragado. Cabe mencionar que la cántara puede llevar cierto volumen de agua para mantener la estabilidad al navegar.

Límites de operatividad

La operatividad de una draga de succión en marcha en mar abierto está limitada tanto por las zonas de trabajo y vertido como por el estado del mar. El proceso de dragado puede realizarse sin problema con alturas de ola de hasta 2 metros. Sin embargo, para altura de olas mayores debe interrumpirse el dragado si la dirección del oleaje es transversal al rumbo de la draga. Si el oleaje es longitudinal a la misma, el valor de altura de ola admisible asciende a 2,5 metros, siendo arriesgado trabajar con valores mayores. Para que las operaciones de transporte y vertido se realicen de forma segura, el límite de operatividad del equipo se fija también en alturas de ola de 2,5 metros. En general, las dragas de succión de arrastre se adaptan bien a condiciones de oleaje más adversas y la influencia de la corriente es mínima. En el subapartado previo 2.3.3. *Caracterización del clima marítimo* se determinó que en la zona de actuación la frecuencia de presentación de olas de altura superior a 2 metros es de un 8%,

lo que supone unos 17 días al año. Esto se ha de tener en cuenta para la correcta planificación de los trabajos.

Coefficiente de carga de la draga

El coeficiente de carga es la relación entre el tonelaje de carga máximo de la draga y el volumen de la cántara (t/m^3). Cada equipo de dragado tiene sus propias características y, por tanto, sus costes de operación ($€/m^3$) son distintos. Una draga con coeficiente de carga bajo será más económica si el material a dragar es fino, puesto que tendrá menos peso que otra de coeficiente mayor. De manera opuesta, para el dragado de arenas será más rentable un equipo con un coeficiente de carga alto.

La capacidad de carga máxima es la definida en su diseño constructivo y lleva asociado un calado máximo para la draga cargada.

3.2.4. Seguimiento técnico de la extracción de arena

Los objetivos que debe cumplir el programa de seguimiento técnico del dragado son los siguientes:

- Analizar el grado de ajuste entre el impacto teórico previsto generado por la obra y el real que se produce durante su ejecución, así como la detección de los problemas que puedan presentarse y la aplicación de las medidas adecuadas para solventarlos.
- Comprobar que los trabajos de dragado se realizan correctamente y en las condiciones especificadas en el proyecto correspondiente.
- Determinar la eficacia de las medidas de protección ambiental.

3.2.5. Cálculo estimativo de la producción y tiempo de dragado

La producción del equipo está relacionada con el tiempo de ocupación o el número de dragas necesario para un determinado volumen si se establece un plazo, por lo que influye de manera directa en el presupuesto de la obra. A continuación, se realiza una estimación de la producción y el tiempo de dragado. Cabe mencionar que este cálculo se debe comprobar y detallar en la redacción del proyecto correspondiente, una vez seleccionado el equipo de dragado y las zonas de vertido definitivas. A efectos de este estudio, se calcula la producción de la maquinaria a un nivel más general, teniendo en cuenta el suelo de tipo a dragar, los volúmenes de extracción y las distancias medias entre las zonas de trabajo. La metodología a seguir para el cálculo de la producción de dragado es el método BBL (Bray, Bates y Land). Se considera que la influencia de las interrupciones por tráfico marítimo e inclemencias meteorológicas es media-baja. Los pasos a seguir son los siguientes:

- 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.

Método BBL (Bray, Bates y Land)

Este método propuesto por Bray et al. (1996) se utiliza para estimar los rendimientos de los equipos de dragado y consiste en aplicar factores de reducción que representan pérdidas de tiempo sobre la producción teórica inicial, obteniendo así la producción real de dragado. Las hipótesis de partida consideradas para determinar el ciclo de una draga de succión en marcha se detallan a continuación:

Tabla 25. Hipótesis de partida para determinar el ciclo de la draga.

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	10 min (por fondo); 60 min (tubería)
Distancia de transporte	Variable según tramo
Velocidad de succión	6 m/s

Fuente: García y Moreno (2010).

Identificación de la unidad básica de producción (U_b)

La unidad básica de producción (U_b) es única para cada draga, ya que depende de la potencia disponible para realizar el trabajo y del tamaño de los componentes de la excavación. Para las dragas de succión en marcha coincide con la capacidad de la cántara (H).

Modificación de la unidad básica de producción

La unidad básica de producción se modifica al tener en cuenta las condiciones del terreno y de la excavación o bombeo. La unidad básica de producción modificada (U_m) representa el volumen de material in situ que puede almacenar la draga. Se obtiene a partir de la expresión:

$$U_m = \frac{H}{B} \quad \text{Ecuación 14}$$

Siendo:

U_m Unidad básica de producción modificada (m^3)

H Capacidad de la cántara de la draga (m^3)

B Factor de esponjamiento

A lo largo de los trabajos de dragado, transporte y vertido, el volumen del material puede variar. El factor de esponjamiento representa la relación entre el volumen que ocupa el material in situ y el volumen que ocupa el mismo en la cántara, siendo mayor en el último caso debido al cambio de densidad del material por la formación de huecos al ser dragado. El factor de esponjamiento varía según el tipo de terreno, la granulometría del material y el método de dragado. En la Tabla 26, se muestran factores de esponjamiento en diferentes terrenos.

Tabla 26. Factor de esponjamiento según el tipo de terreno.

Tipo de terreno	Factor de esponjamiento (B)
Roca dura	1,50 – 2,00
Roca de dureza media	1,40 – 1,80
Roca blanda	1,25 – 1,40
Gravas fuertemente compactadas	1,35
Gravas sueltas	1,10
Arena fuertemente compactada	1,25 – 1,35
Arena medianamente blanda a dura	1,15 – 1,25
Arena blanda	1,05 – 1,15
Sedimentos depositados libremente	1,00 – 1,10
Sedimentos consolidados	1,10 – 1,40
Arcillas muy duras	1,15 – 1,25
Arcillas medianamente blandas a duras	1,10 – 1,15
Arcillas blandas	1,00 – 1,10
Mezcla de gravas, arenas y arcillas	1,15 – 1,35

Fuente: Bray et al. (1996).

En este caso, el tipo de material presente en el yacimiento es arena blanda, y se considerará un factor de esponjamiento de 1,10.

Identificación del ciclo de dragado pertinente

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.

Operación de carga

El tiempo de llenado de la cántara es similar en todas las dragas de succión, ya que su diseño se relaciona con el de las bombas y el conducto de succión. Las variaciones de tiempo se deben al tipo de terreno, las pérdidas por derrame al superar el nivel de rebose de la cántara, la concentración de material en el conducto de succión, etc. En la Figura 62, aparecen diferentes curvas de carga para distintos terrenos.

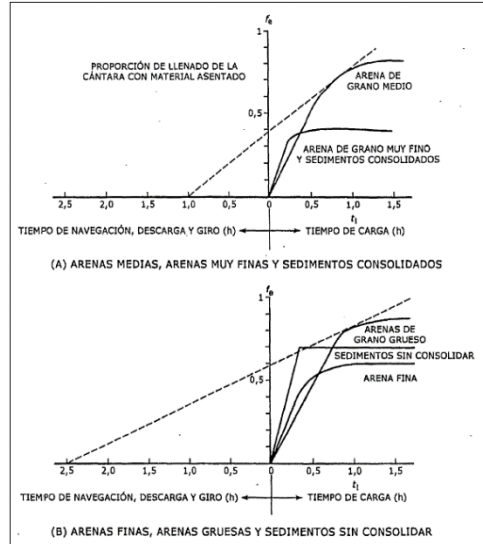


Figura 62. Curvas de carga de una draga de succión en marcha.

Fuente: Bray et al. (1996).

Es difícil dar un valor de f_c y t_i a priori, pero se pueden estimar con base en la experiencia. El caudal de succión para el tipo de draga considerado se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = \text{Sección del tubo} \cdot \text{Velocidad de succión} \quad \text{Ecuación 15}$$

Es importante conocer el número de tubos de succión. En las hipótesis de partida se ha considerado que los sólidos absorbidos en 1 hora son aproximadamente el 25% del volumen. A partir de este dato, se puede obtener el tiempo de carga invertido para alcanzar el 85% de sólidos en la cántara.

Giro de la draga

Al terminar la pasada de un tramo la draga debe girar, lo que implica un aumento en el tiempo de trabajo. Las expresiones para determinar el número de giros necesarios y el tiempo para realizarlos son las siguientes:

$$N^{\circ} \text{giros} = \frac{3,91 \cdot t_i}{l} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$T_g = \frac{3,91 \cdot t_i \cdot t_t}{l} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

- t_i Tiempo invertido en la operación de carga (h)
- t_t Tiempo invertido en girar la draga al final de cada pasada (h)
- l Longitud de la zona de dragado (km)

Las velocidades consideradas de forma estándar son:

Velocidad de desplazamiento durante el llenado = 2 nudos \approx 3,7 km/h

Tiempo de giro = 4 min = 0,066 horas

Navegación y descarga del material dragado

El tiempo de navegación hasta el punto de vertido y de vuelta a la zona de dragado se estima mediante la expresión:

$$T_{nav} = \frac{1,02 \cdot g}{V_g} \quad \text{Ecuación 18}$$

Siendo:

- T_{nav} Tiempo de navegación (h)
 g Distancia hasta el punto de vertido (km)
 V_g Velocidad de navegación de la draga cargada (nudos)

Esta fórmula no tiene en cuenta que la vuelta a la zona de extracción de arenas se realiza más rápido al ir la cántara vacía. Sin embargo, esto se compensa con el hecho de que tampoco se consideran periodos de aceleración y deceleración de la draga al comienzo y finalización del desplazamiento. El tiempo de descarga del material depende del método utilizado para ello. La descarga por fondo tan solo necesita unos minutos, pero si se realiza por tubería, el tiempo puede incrementarse hasta valores de aproximadamente una hora. El tiempo total no productivo corresponde a la suma de los tiempos de giro, navegación y descarga:

$$T_{cnp} = T_g + T_{nav} + T_d = \frac{3,91 \cdot t_i \cdot t_t}{l} + \frac{1,02 \cdot g}{V_g} + T_d \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

- T_{cnp} Tiempo no productivo
 t_i Tiempo invertido en la operación de carga (h)
 t_t Tiempo invertido en girar la draga al final de cada pasada (h)
 l Longitud de la zona de dragado (km)
 g Distancia hasta el punto de vertido (km)
 V_g Velocidad de navegación de la draga cargada (nudos)
 T_d Tiempo de descarga del material (h)

Para determinar el factor de llenado de la cántara (f_e) se utiliza la curva de carga de draga de succión en marcha que se muestra en la Figura 63. A partir del mismo, se puede calcular la carga total de la draga.

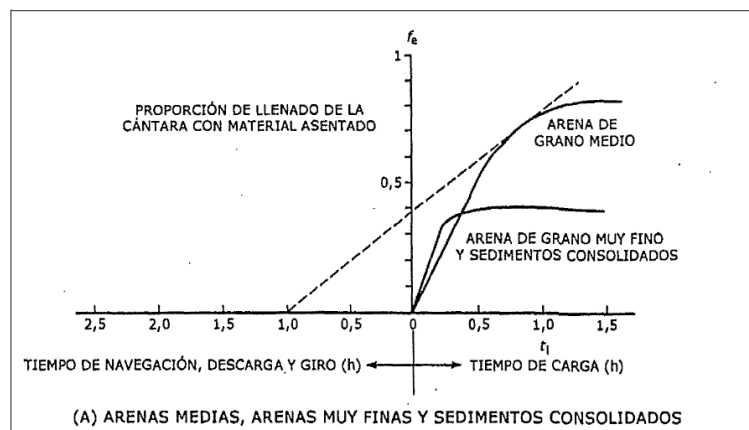


Figura 63. Valor del parámetro f_e .

Fuente: Bray et al. (1996).

$$C_T = \frac{H \cdot f_e}{B} \quad \text{Ecuación 20}$$

Siendo:

- C_T Carga total de la draga (m^3)
 H Capacidad de la cántara de la draga (m^3)
 B Factor de esponjamiento
 f_e Factor de llenado de la cántara

Con todo ello, el tiempo total invertido en el ciclo de trabajo de la draga (T_{tc}) y la producción máxima ($P_{m\acute{a}x}$) son los siguientes:

$$T_{tc}(h) = t_l + T_{cnp} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$P_{m\acute{a}x}(m^3/h) = \frac{C_T}{T_{tc}} \quad \text{Ecuación 22}$$

Al valor de producción máxima se le deben aplicar los factores de reducción correspondientes que permitan obtener la producción real (P) de la draga. Estos factores son:

- Factor de retraso (f_d).

Se aplica si los trabajos se interrumpen por causas meteorológicas o de tráfico marítimo. Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$f_d = f_t \cdot f_w = \frac{TTD - TPT}{TTD} \cdot \frac{NTDA}{NTD} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

- TTD Tiempo total de trabajo disponible
 TPT Tiempo perdido debido al tráfico marítimo y otras contingencias durante las horas de trabajo
 NTDA Número total de horas en los que las condiciones atmosféricas permiten trabajar
 NTD Número total de horas de trabajo
- Factor de operación (f_o).

Representa una disminución en el rendimiento del personal ya que no siempre se trabaja a máximo rendimiento ni se es capaz de anticipar todos los imprevistos que se puedan presentar. La Tabla 27 muestra el factor sugerido en función de la capacidad de dotación y de dirección. Estos valores corresponden a condiciones climáticas favorables, siendo necesario multiplicar los mismos por 0,95 cuando no lo sean o por 0,90 si las condiciones son muy extremas.

Tabla 27. Calificación del personal.

Calificación de la supervisión	Calificación de la tripulación				
	Muy buena	Buena	Mediana	Mediocre	Pobre
Muy buena	0,90	0,84	0,78	0,73	0,67
Buena	0,88	0,82	0,77	0,71	0,65
Mediana	0,86	0,80	0,75	0,69	0,64
Mediocre	0,84	0,79	0,73	0,67	0,62
Pobre	0,82	0,77	0,71	0,65	0,60

Fuente: Bray et al. (1996).

- Factor de fallo mecánico (f_b).

Hace referencia a la antigüedad de la draga. Los primeros cinco años no se tiene en cuenta ($f_b = 1$), pero posteriormente se reduce un 1% por cada año transcurrido hasta que finalizados 20 años se considera $f_b = 0,85$. Una vez conocidos todos los parámetros de reducción, se puede obtener la producción real del equipo de dragado aplicando la siguiente ecuación:

$$P = P_{m\acute{a}x} \cdot f_d \cdot f_o \cdot f_b \quad \text{Ecuación 24}$$

Siendo:

- P Producción real (m³/h)
P_{máx} Producción máxima (m³/h)
f_d Factor de retraso
f_o Factor de operación
f_b Factor de fallo mecánico

3.2.6. Cálculo de la producción y tiempo de dragado en los diferentes tramos

El yacimiento de material sedimentario se encuentra a unos 10 km de la costa, frente a Cullera, y los puntos de vertido se localizan a lo largo del óvalo valenciano. Como se ha visto anteriormente, el área de costa a regenerar se divide en nueve tramos:

- **Tramo 1.** Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola.
- **Tramo 2.** Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón.
- **Tramo 3.** Puerto de Castellón – Puerto de Burriana.
- **Tramo 4.** Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto.
- **Tramo 5.** Puerto de Sagunto – Puerto de Valencia.
- **Tramo 6.** Puerto de Valencia – Puerto de Cullera.
- **Tramo 7.** Puerto de Cullera – Puerto de Gandía.
- **Tramo 8.** Puerto de Gandía – P.D. La Goleta (Oliva).
- **Tramo 9.** P.D. La Goleta (Oliva) – Puerto de Denia.



Figura 64. Situación del yacimiento.

Fuente: Google Earth (2020).

A continuación, se detallan los volúmenes de aportación requeridos para la regeneración de cada tramo, así como la distancia media a la que se encuentran los puntos de vertido.

Tabla 28. Volúmenes requeridos y distancia media de cada tramo.

Tramo	Volumen requerido (m ³)	Volumen de extracción (m ³)	Distancia media a zona de vertido (km)
Tramo 1. Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola	856.000	1.098.000	139,5
Tramo 2. Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón	5.549.000	7.117.000	102,5
Tramo 3. Puerto de Castellón – Puerto de Burriana	2.919.000	3.743.000	69,1

Tramo	Volumen requerido (m ³)	Volumen de extracción (m ³)	Distancia media a zona de vertido (km)
Tramo 4. Puerto de Burriana - Puerto de Sagunto	9.465.000	12.139.000	52,4
Tramo 5. Puerto de Sagunto - Puerto de Valencia	3.927.000	5.036.000	32,1
Tramo 6. Puerto de Valencia - Puerto de Cullera	7.407.000	9.499.000	17,7
Tramo 7. Puerto de Cullera - Puerto de Gandía	3.368.000	4.320.000	23,4
Tramo 8. Puerto de Gandía - P.D. La Goleta (Oliva)	810.000	1.038.000	36,5
Tramo 9. P.D. La Goleta (Oliva) - Puerto de Denia	710.000	910.000	46,8
Total	35.011.000	44.900.000	

El cálculo estimado del tiempo de dragado se realiza utilizando como ejemplo un equipo de draga de succión en marcha tipo Jumbo cuyas características se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 29. Características de una draga de succión en marcha tipo Jumbo – Cristóbal Colón (2008).

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

Fuente: Escalante (2019).

Tramo 1. Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola

El volumen de extracción necesario para la regeneración de las playas que comprende este tramo es de 1.098.000 m³. La distancia media a los puntos de vertido es de 139,5 km. Aplicando la formulación descrita en el subapartado anterior se obtienen todos los parámetros necesarios para determinar el tiempo necesario para llevar a cabo los trabajos de dragado en cada uno de los tramos.

Unidad básica de producción (U_b)

Para las dragas tipo Jumbo, la unidad básica de producción coincide con la capacidad de la cántara, por lo que:

$$U_b = H = 46.000 \text{ m}^3$$

Unidad básica de producción modificada (U_m)

Se considera un factor de esponjamiento de 1,1 (detallado previamente en la Tabla 26).

$$U_m = \frac{H}{B} = \frac{46.000}{1,1} = 41.818,18 \text{ m}^3$$

Tiempo de carga (T_{carga})

El tiempo de carga aproximado es T_{carga} = t_l = 4 horas.

Tiempo de giro (T_g)

El yacimiento de material sedimentario tiene un área lo suficientemente amplia que permite que la draga pueda realizar los giros manteniendo la succión, por lo que no hay pérdida de tiempo en esta maniobra.

Tiempo de navegación (T_{nav})

Suponiendo una velocidad de navegación para la draga cargada de 18 nudos, se tiene:

$$T_{nav} = \frac{1,02 \cdot g}{V_g} = \frac{1,02 \cdot 139,5}{18} = 7,90 \text{ horas}$$

Tiempo de descarga del material dragado (T_d)

Para la regeneración de playas (operaciones de relleno) suele utilizarse la descarga por tubería, cuyo ritmo de trabajo es de aproximadamente 1 hora por descarga.

Tiempo no productivo (T_{cnp})

$$T_{cnp} = T_g + T_{nav} + T_d = 0 + 7,90 + 1 = 8,90 \text{ horas}$$

Carga total de la draga (C_T)

Se considera un factor de llenado de la cántara $f_e = 0,8$ (Figura 63).

$$C_T = \frac{H \cdot f_e}{B} = \frac{46.000 \cdot 0,8}{1,1} = 33.454,55 \text{ m}^3$$

Tiempo de ciclo de trabajo de la draga (T_{tc})

$$T_{tc}(h) = t_l + T_{cnp} = 4 + 8,90 = 12,90 \text{ horas}$$

Producción máxima ($P_{m\acute{a}x}$)

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{C_T}{T_{tc}} = \frac{33.454,55}{12,90} = 2592,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Producción real (P)

Para calcular la producción real se ha supuesto un trabajo continuo de la draga, es decir, 24 horas durante los 7 días de la semana, lo que supone un total de 168 horas de trabajo semanales. En cuanto a los factores de reducción, se considera que la pérdida de tiempo debida al tráfico marítimo u otras contingencias es de 1 hora al día y de 1 hora también si la interrupción es causada por inclemencias meteorológicas o por las condiciones del mar. Así, se tiene que el factor de retraso (f_d) es:

$$f_d = f_t \cdot f_w = \frac{TTD - TPT}{TTD} \cdot \frac{NTDA}{NTD} = \frac{24 - 1}{24} \cdot \frac{23}{24} = 0,958 \cdot 0,958 = 0,918$$

Para el factor de operación (f_o), se entiende que tanto el equipo de dirección como la dotación de personal desempeñan su labor de forma eficiente, por lo que $f_o = 0,9$ (Tabla 27). El factor de fallo mecánico (f_b) considerado es de 0,93. La producción real de la draga de succión en marcha tipo Jumbo es la siguiente:

$$P = P_{m\acute{a}x} \cdot f_d \cdot f_o \cdot f_b = 2592,5 \cdot 0,918 \cdot 0,9 \cdot 0,93 = 1993 \text{ m}^3/\text{h}$$

La producción en un ciclo es:

$$P_{ciclo} = P \cdot T_{tc} = 1993 \cdot 12,90 = 25717 \text{ m}^3/\text{ciclo}$$

En una semana, el número de ciclos de la draga es:

$$\text{N}^\circ \text{ ciclos semanales} = \frac{\text{Horas de trabajo semanales}}{T_{tc}} = \frac{168}{12,90} = 13 \text{ ciclos}$$

Tiempo estimado de dragado (T)

El volumen de extracción necesario para la regeneración de costas del Tramo 1: Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola es de 1.098.000 m³ y, por tanto, el tiempo total de dragado es:

$$T = \frac{\text{Volumen de arena necesario}}{\text{N}^\circ \text{ ciclos semanales} \cdot P_{ciclo}} = \frac{1.098.000}{13 \cdot 25.717} = 3,3 \text{ semanas} \approx 0,8 \text{ meses}$$

Tramo 2. Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón

El volumen de extracción necesario para la regeneración de las playas que comprende este tramo es de 7.117.000 m³. La distancia media a los puntos de vertido es de 102,5 km. Se aplica de nuevo la formulación descrita previamente. En este caso, ya no se considera necesario el desarrollo de los cálculos, puesto que las hipótesis son las mismas que las del Tramo 1, variando únicamente el volumen de extracción necesario y la distancia media al punto de descarga del material. El tiempo estimado de dragado para las actuaciones de regeneración del Tramo 2: Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón es de **T = 17,8 semanas ≈ 4,5 meses**.

Tramo 3. Puerto de Castellón – Puerto de Burriana

El volumen de extracción necesario para la regeneración de las playas que comprende este tramo es de 3.743.000 m³. La distancia media a los puntos de vertido es de 69,1 km. Se aplica de nuevo la formulación descrita previamente. En este caso, ya no se considera necesario el desarrollo de los cálculos, puesto que las hipótesis son las mismas que las del Tramo 1, variando únicamente el volumen de extracción necesario y la distancia media al punto de descarga del material. El tiempo estimado de dragado para las actuaciones de regeneración del Tramo 3: Puerto de Castellón – Puerto de Burriana es de **T = 7,7 semanas ≈ 1,9 meses**.

Tramo 4. Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto

El volumen de extracción necesario para la regeneración de las playas que comprende este tramo es de 12.139.000 m³. La distancia media a los puntos de vertido es de 52,4 km. Se aplica de nuevo la formulación descrita previamente. En este caso, ya no se considera necesario el desarrollo de los cálculos, puesto que las hipótesis son las mismas que las del Tramo 1, variando únicamente el volumen de extracción necesario y la distancia media al punto de descarga del material. El tiempo estimado de dragado para las actuaciones de regeneración del Tramo 4: Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto es de **T = 22,4 semanas ≈ 5,6 meses**.

Tramo 5. Puerto de Sagunto – Puerto de Valencia

El volumen de extracción necesario para la regeneración de las playas que comprende este tramo es de 5.036.000 m³. La distancia media a los puntos de vertido es de 32,1 km. Se aplica de nuevo la formulación descrita previamente. En este caso, ya no se considera necesario el desarrollo de los cálculos, puesto que las hipótesis son las mismas que las del Tramo 1, variando únicamente el volumen de extracción necesario y la distancia media al punto de descarga del material. El tiempo estimado de dragado para las actuaciones de regeneración del Tramo 5: Puerto de Sagunto – Puerto de Valencia es de **T = 8 semanas ≈ 2 meses**.

Tramo 6. Puerto de Valencia – Puerto de Cullera

El volumen de extracción necesario para la regeneración de las playas que comprende este tramo es de 9.499.000 m³. La distancia media a los puntos de vertido es de 17,7 km. Se aplica de nuevo la formulación descrita previamente. En este caso, ya no se considera necesario el desarrollo de los cálculos, puesto que las hipótesis son las mismas que las del Tramo 1, variando únicamente el volumen de extracción necesario y la distancia media al punto de descarga del material. El tiempo estimado de dragado para las actuaciones de regeneración del Tramo 6: Puerto de Valencia – Puerto de Cullera es de **T = 13,2 semanas ≈ 3,3 meses**.

Tramo 7. Puerto de Cullera – Puerto de Gandía

El volumen de extracción necesario para la regeneración de las playas que comprende este tramo es de 4.320.000 m³. La distancia media a los puntos de vertido es de 23,4 km. Se aplica de nuevo la formulación descrita previamente. En este caso, ya no se considera necesario el desarrollo de los cálculos, puesto que las hipótesis son las mismas que las del Tramo 1, variando únicamente el volumen de extracción necesario y la distancia media al punto de descarga del material. El tiempo estimado de dragado para las actuaciones de regeneración del Tramo 7: Puerto de Cullera – Puerto de Gandía es de **T = 6,3 semanas ≈ 1,6 meses**.

Tramo 8. Puerto de Gandía – P.D. La Goleta (Oliva)

El volumen de extracción necesario para la regeneración de las playas que comprende este tramo es de 1.038.000 m³. La distancia media a los puntos de vertido es de 36,5 km. Se aplica de nuevo la formulación descrita previamente. En este caso, ya no se considera necesario el desarrollo de los cálculos, puesto que las hipótesis son las mismas que las del Tramo 1, variando únicamente el volumen de extracción necesario y la distancia media al punto de descarga del material. El tiempo estimado de dragado para las actuaciones de regeneración del Tramo 8: Puerto de Gandía – P.D. La Goleta (Oliva) es de **T = 1,7 semanas ≈ 0,4 meses**.

Tramo 9. P.D. La Goleta (Oliva) – Puerto de Denia

El volumen de extracción necesario para la regeneración de las playas que comprende este tramo es de 910.000 m³. La distancia media a los puntos de vertido es de 46,8 km. Se aplica de nuevo la formulación descrita previamente. En este caso, ya no se considera necesario el desarrollo de los cálculos, puesto que las hipótesis son las mismas que las del Tramo 1, variando únicamente el volumen de extracción necesario y la distancia media al punto de descarga del material. El tiempo estimado de dragado para las actuaciones de regeneración del Tramo 9: P.D. La Goleta (Oliva) – Puerto de Denia es de **T = 1,6 semana ≈ 0,4 meses**.

3.2.7. Conclusiones

Tal y como se menciona en el apartado 2.2. *Yacimiento marino de sedimentos*, el volumen total del depósito de arenas es de 120.979.890 m³, de los cuales 94.332.337 m³ son aptos para regeneración de playas (arenas medias y gruesas). En la Tabla 30 se muestra de forma resumida el tiempo de dragado de cada uno de los tramos.

Tabla 30. Resumen de volumen necesario y tiempo de dragado para cada tramo.

Tramo	Tiempo de dragado (semanas)	Tiempo dragado (meses)
Tramo 1. Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola	3,3	0,8
Tramo 2. Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón	17,8	4,5
Tramo 3. Puerto de Castellón – Puerto de Burriana	7,7	1,9
Tramo 4. Puerto de Burriana - Puerto de Sagunto	22,4	5,6
Tramo 5. Puerto de Sagunto - Puerto de Valencia	8,0	2,0
Tramo 6. Puerto de Valencia - Puerto de Cullera	13,2	3,3
Tramo 7. Puerto de Cullera - Puerto de Gandía	6,3	1,6
Tramo 8. Puerto de Gandía - P.D. La Goleta (Oliva)	1,7	0,4
Tramo 9. P.D. La Goleta (Oliva) – Puerto de Denia	1,6	0,4
Tiempo total de dragado	82	20

El tiempo total de dragado estimado para la aportación de arena desde el Delta del Ebro hasta el Puerto de Denia es de aproximadamente 20 meses.

3.3. Estudio económico de la extracción de arena

El estudio económico para la extracción de arenas es meramente orientativo. Los costes definitivos se determinarán en el proyecto correspondiente. Como se ha visto en el apartado 3.2. *Estudio técnico de la extracción de arenas*, el equipo de dragado a utilizar es una draga tipo Jumbo. La estructura de costes de una draga de succión en marcha se muestra a continuación.

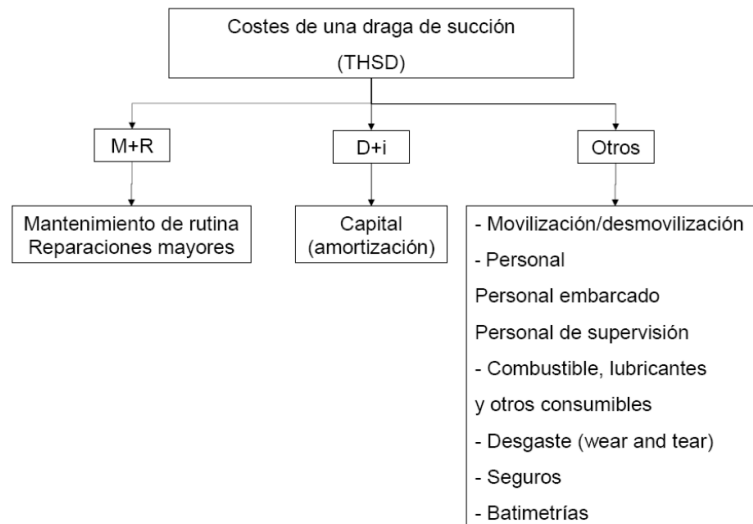


Figura 65. Costes de una draga de succión en marcha.

Fuente: García y Moreno (2010).

El análisis económico de la extracción de arenas incluye los siguientes elementos:

- Costes de capital.
- Movilización / Desmovilización.
- Costes operativos:
 - Personal: embarcado y de supervisión.
 - Combustible, lubricantes y otros consumibles.
 - Desgaste (wear and tear).
 - Seguros.
 - Levantamientos batimétricos.
 - Mantenimiento de rutina.
 - Reparaciones mayores.
- Gastos generales (GG) y beneficio industrial (BI).
- Impuestos.

Los costes operativos hacen referencia a los medios humanos y materiales necesarios para llevar a cabo la obra cumpliendo los requisitos de volúmenes y plazos.

3.3.1. 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). Cada equipo, en función de su diseño y características, tiene una vida útil distinta, por lo que el periodo de amortización varía de un tipo a otro. El periodo de amortización de una draga de succión en marcha grande es de 30 años (Tabla 31).

Tabla 31. Periodo de amortización de equipos.

Tipo de equipo	Periodo de amortización (años)
TSHD pequeña	20
TSHD mediana o grande	30
CSD pequeña	10
CSD mediana	20
CSD grande	25
Retroexcavadora	20
Draga de cuchara con cántara	25
Draga de cuchara	20
Barcaza autopropulsada	25

Tipo de equipo	Periodo de amortización (años)
Barcaza no autopropulsada	25
Remolcador pequeño	10
Remolcador grande	20

Fuente: Escalante (2020).

A modo teórico, la cuota de capital o coste anual amortizable (CA) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$CA = (V_o - V_r) \cdot f_r + V_r \cdot i \quad \text{Ecuación 25}$$

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

$$f_r = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \text{Ecuación 26}$$

3.3.2. 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. Se incluye en el contrato el tiempo necesario para llevar a cabo esta movilización.

Los equipos y materiales se trasladan al emplazamiento de la obra tras ser preparados específicamente de acuerdo a las características de la actuación (adecuación de la longitud del tubo de succión, tipo de cabezal, etc.). Además, con el fin de evitar retrasos en la planificación, se transportan en la propia draga los repuestos necesarios para el mantenimiento y reparación de la maquinaria. En caso de que algún elemento no pueda llevarse a bordo, se debe planificar su traslado con otros medios. Todo el personal técnico y de supervisión asignado al proyecto estará preparado en esta fase.

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.

3.3.3. Personal

Los medios humanos necesarios para realizar los trabajos de dragado se dividen en personal embarcado y personal de supervisión.

Personal embarcado

La dotación de las dragas tiende a disminuir en los equipos más modernos, por lo que, aunque el tamaño de las dragas aumente, el número de personal se mantiene o incluso disminuye. El coste de personal es elevado debido a la necesaria especialización del mismo para el desarrollo de los trabajos y sus condiciones (se prevén dos turnos diarios). Los precios variarán también en función de la categoría del trabajador.

Personal de supervisión

El personal necesario para la supervisión de las operaciones depende de la magnitud de la obra. En este caso, se debe instalar una oficina en la zona donde se desarrollen las siguientes funciones:

- Servir de nexo entre el director de los trabajos y el contratista, proporcionando la información necesaria para el correcto desarrollo de la actuación.
- Realizar las tareas técnicas de programación de trabajos de dragado, batimetrías, verificación de profundidades, cálculo de volúmenes, certificados de obra, etc.
- Realizar un seguimiento de los requerimientos ambientales, toma de muestras, análisis de laboratorio, redacción de informes, etc.
- Atender a las necesidades logísticas de los equipos de dragado (repuestos, provisiones, combustible, etc.)
- Ocuparse del desplazamiento del personal y del cambio de las tripulaciones.

3.3.4. Combustible, lubricantes y otros consumibles.

Combustible

El coste del combustible depende de los siguientes factores:

- Tipo de combustible y precio unitario en el lugar de trabajo.
- Potencia de los equipos de dragado.
- Horas de trabajo y horas libres.
- Eficiencia de los equipos.
- Pérdidas de combustible.

Los precios de combustible a fecha de redacción de este estudio (Ship and Bunker, 2020) se detallan a continuación, pero pueden variar respecto al coste del mismo en el momento de ejecución.

- MGO (Marine Gas Oil) – 0,318 €/l.
- IFO 380 (Intermediate Fuel Oil) – 0,220 €/l.
- Vlsfo (Very Low Sulphur Fuel Oil) – 0,273 €/l.

Lubricantes y otros consumibles

El consumo de lubricantes depende de las características del equipo, de su antigüedad y del estado de mantenimiento. Según el tipo de draga también se consumen productos de diferentes características, como pueden ser pinturas, cabos de acero, materiales de limpieza, agua, etc. Generalmente, se supone un coste entre el 10% y el 15% del precio del combustible.

3.3.5. Desgaste (wear and tear)

Los costes de desgaste hacen referencia a los necesarios para cubrir el desgaste de las partes de la draga que están en contacto directo con el material dragado y se calcula en €/m³. El desgaste depende de la producción, del tipo de sedimento a dragar, del material de la tubería y de las condiciones de trabajo. Las partes susceptibles a desgaste son:

- Cabezales de succión.
- Tuberías y codos.
- Bombas de succión: caracol, rotor y chapas de desgaste.
- Salida de la cántara.
- Paredes de la cántara.
- Sistema de vertedero y compuertas.

3.3.6. Seguros

Los equipos de dragado deben contar con una póliza que cubra los riesgos que puedan presentarse dadas las situaciones a las que se exponen: zonas con mucho tráfico marítimo, condiciones ambientales severas o traslados por vía marítima de un lugar a otro. La prima anual es un porcentaje del valor de la draga.

3.3.7. Levantamientos batimétricos

Las operaciones de dragado deben seguirse y controlarse mediante levantamientos batimétricos, especialmente cuando el área de dragado es muy extensa. Su coste depende de la naturaleza de la obra y de los términos contractuales e incluye los siguientes elementos:

- Embarcación para batimetrías.

- Instrumental de batimetría.
- Personal.
- Procesamiento de la información obtenida.

3.3.8. 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. Algunos de los trabajos que incluye son:

- Cambios de aceite y engrase.
- Limpieza y pintura.
- Reemplazo de partes gastadas.
- Reemplazo de filtros y empaquetaduras.
- Reparaciones menores en motores o válvulas.
- Reemplazo de tuberías.
- Reparaciones eléctricas.
- Mantenimiento del instrumental de medición.

Puede realizarse una primera estimación del coste diario multiplicando el valor del equipo por un coeficiente K_1 que es función del tipo del mismo. En este caso, al tratarse de una draga de succión en marcha, se tiene $K_1 = 0,000135$ (Tabla 32).

Tabla 32. Mantenimiento de rutina – Coste por día.

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

Fuente: Bray et al. (1996).

3.3.9. Reparaciones mayores

Puesto que estas reparaciones no suelen hacerse durante el periodo de contrato, se trata de un coste fijo del equipo de dragado proporcional a la duración del mismo. Algunos de los aspectos que comprende son los siguientes:

- Reemplazo de elementos principales.
- Recorrido regular de motores y generadores.
- Repintado completo.
- Reparación de guinches.
- Salida a dique seco para reclasificación.
- Reparaciones estructurales, cambio de chapa.

Puede realizarse una primera estimación del coste diario multiplicando el valor del equipo por un coeficiente K_2 que es función del tipo del mismo. En este caso, al tratarse de una draga de succión en marcha, se tiene $K_2 = 0,000275$ (Tabla 33).

Tabla 33. Reparaciones mayores – Coste por día.

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

Fuente: Bray et al. (1996).

3.3.10. Gastos generales y beneficio industrial

Los gastos generales (GG) son aquellos que, pese a no estar generados directamente con la obra, son necesarios para el correcto funcionamiento de la empresa y la ejecución del contrato. Son variables según la empresa y, generalmente, se aplica un porcentaje fijo sobre el valor medio anual que gasta la empresa en el resto de conceptos. Se pueden considerar como gastos generales los que se enumeran a continuación.

- Oficina central.
- Agente.
- Seguro de cambio.
- Seguro a la exportación.
- Asistencia legal.
- Garantías.
- Impuestos.

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).

3.3.11. Estimación del coste económico

Estableciendo un precio medio de dragado, transporte y vertido del material de 9,76 €/m³ para todos los tramos y teniendo en cuenta el volumen requerido y el tiempo de dragado, se estima el coste económico semanal y total de la actuación.

Tabla 34. Coste económico de extracción de arena para cada tramo.

Tramo	Volumen de extracción (m ³)	Importe de la extracción de arena (€/m ³)	Coste económico semanal (€)	Coste económico total (€)
Tramo 1. Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola	1.098.000	9,76	3.267.598,06	10.716.480
Tramo 2. Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón	7.117.000	9,76	3.900.445,52	69.461.920
Tramo 3. Puerto de Castellón – Puerto de Burriana	3.743.000	9,76	4.730.478,19	36.531.680
Tramo 4. Puerto de Burriana - Puerto de Sagunto	12.139.000	9,76	5.292.119,12	118.476.640
Tramo 5. Puerto de Sagunto - Puerto de Valencia	5.036.000	9,76	6.182.114,28	49.151.360
Tramo 6. Puerto de Valencia - Puerto de Cullera	9.499.000	9,76	7.022.866,47	92.710.240
Tramo 7. Puerto de Cullera - Puerto de Gandía	4.320.000	9,76	6.665.135,70	42.163.200
Tramo 8. Puerto de Gandía - P.D. La Goleta (Oliva)	1.038.000	9,76	5.964.387,08	10.130.880
Tramo 9. P.D. La Goleta (Oliva) – Puerto de Denia	910.000	9,76	5.512.394,25	8.881.600
Total			48.537.538,67	438.224.000

El coste económico final para extraer 45 millones de m³ de arena y aportarla a las playas valencianas erosionadas entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia (lo perdido desde la década de los 50), asciende a 438,224 millones de euros.

3.4. Alimentación y acondicionamiento de una playa

3.4.1. Conceptos previos

La alimentación de una playa consiste en aportar el volumen de arena necesario hasta recuperar la situación original o la definida en el diseño de anchura óptima de la playa. En primer lugar, la zonificación de una playa es la siguiente:

- Zona activa o de inmersión.
- Zona de reposo o inactiva.
- Zona de servicios o espacios libres.



Figura 66. Zonificación de las playas.

Fuente: Yepes (2002).

En el perfil de una playa se distinguen diversos elementos: playa sumergida, estrán, playa seca y escarpe (Figura 67). En este aspecto, se deben definir también los conceptos de perfil de equilibrio y perfil de playa.

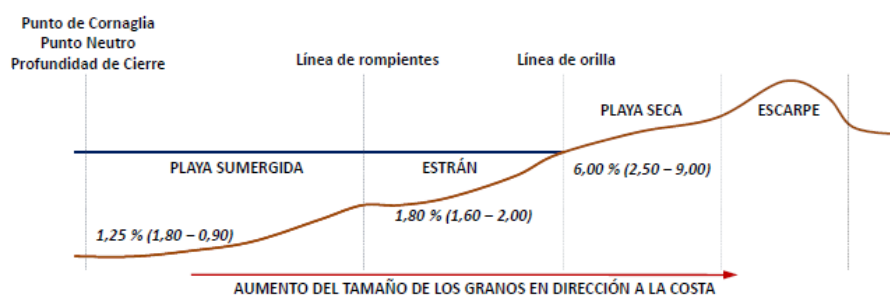


Figura 67. Perfil de la playa.

Perfil de equilibrio

El perfil de equilibrio se define como la morfología que alcanzará un perfil de playa expuesto a unas condiciones de oleaje constantes, fundamentalmente de altura de ola y periodo, y compuesto por un tamaño de grano determinado (Larson, 1991). La tendencia general es que la pendiente de la playa es mayor en la línea de costa y disminuye conforme se avanza mar adentro. El modelo matemático más utilizado para definir este perfil de equilibrio es el Perfil de Dean (1991), que depende del grado de exposición de la playa y del tamaño de sedimento (D_{50}).

Perfil de la playa

El perfil de la playa varía a lo largo del año, debido principalmente al clima marítimo. Se distinguen dos perfiles: de barra y de berma. El perfil de la playa no se corresponderá de forma exacta a estos perfiles, pero a lo largo del tiempo se adaptará y llegará al perfil de equilibrio.

- Perfil de barra o perfil de invierno: retrocede la línea de costa, reduciéndose el ancho de playa seca y la pendiente media del perfil, a la vez que aumenta el ancho del estrán.
- Perfil de berma o perfil de verano: la zona de playa seca vuelve a aumentar y también la pendiente, generándose una berma.

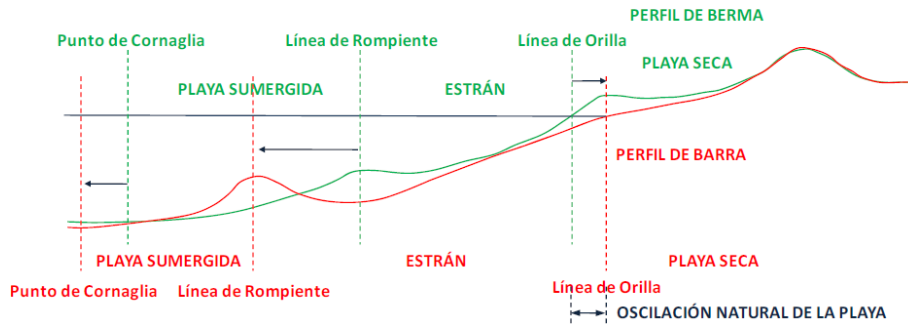


Figura 68. Perfiles de barra y de berma.

3.4.2. Perfil de diseño de la playa

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.

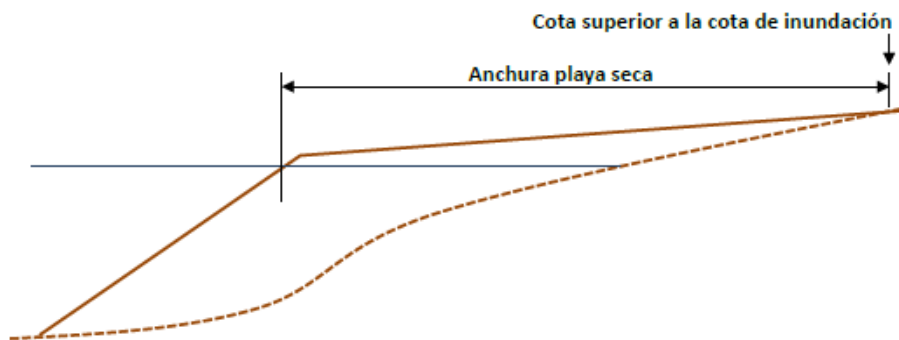


Figura 69. Criterio para el ancho de playa seca.

3.4.3. Actuaciones a realizar

La selección del volumen y de la zona de vertido definitivos en cada aportación se realizará teniendo en cuenta criterios técnicos, medioambientales y económicos en el proyecto correspondiente. A continuación, se describen de forma resumida las fases de este tipo de actuación.

En primer lugar, se ejecutan los trabajos previos. Estos incluyen el replanteo, ubicación e instalaciones de caseras de obra, así como la señalización de las obras, preparación de la maquinaria o limitación de las zonas de acopio. Además, se deberán adecuar los accesos para la maquinaria a la zona de playa seca.



Figura 70. Maquinaria para extensión de arena.

Una vez vertido el material en la zona correspondiente, se procede a su distribución y extendido en la playa seca. En la zona de estrán, la arena se repartirá de forma natural por la dinámica litoral.



Figura 71. Vertido y extensión de arena.

Tras finalizar los trabajos de regeneración de la playa, se debe realizar un seguimiento que cada vez será más espaciado en el tiempo. Este consiste en controlar la batimetría, la forma en planta, la evolución de los perfiles y las pendientes de la playa en cuestión. Cabe decir también que para este tipo de proyectos se debe realizar la evaluación de impacto ambiental y de calidad ambiental.

3.5. Planificación de trabajos

El conjunto de actuaciones de dragado y regeneración de playas requiere una adecuada programación en el espacio y tiempo que permita reducir los costes de operación a la vez que maximizar los beneficios económicos, sociales y ambientales. El presente estudio se centra en la planificación de los trabajos de dragado necesarios para reestablecer la línea de costa del litoral valenciano, recuperando las playas que se han visto sometidas a procesos erosivos en las últimas décadas y restituyendo el flujo sedimentario litoral. En la Figura 72 se muestran de forma resumida los tramos considerados, el volumen de aportación necesario y la distancia media a la que se encuentra el yacimiento de material sedimentario.

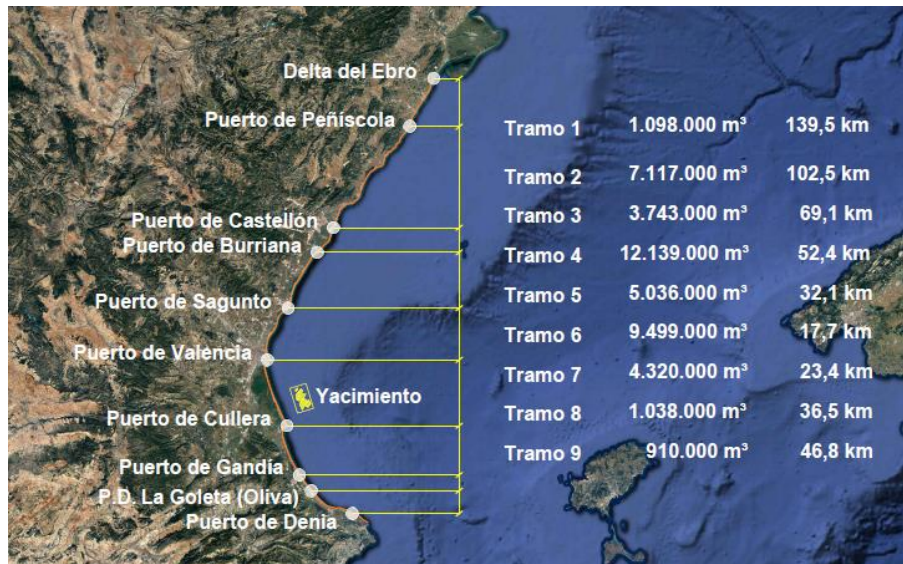


Figura 72. Resumen de volumen y distancia media de cada tramo considerado.

Fuente: Google Earth (2020).

La Tabla 35 muestra el tiempo de dragado (extracción, transporte y vertido) que requiere cada tramo.

Tabla 35. Tiempo de dragado de cada tramo.

Tramo	Tiempo de dragado (semanas)
Tramo 1. Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola	3,3
Tramo 2. Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón	17,8
Tramo 3. Puerto de Castellón – Puerto de Burriana	7,7
Tramo 4. Puerto de Burriana - Puerto de Sagunto	22,4
Tramo 5. Puerto de Sagunto - Puerto de Valencia	8,0
Tramo 6. Puerto de Valencia - Puerto de Cullera	13,2
Tramo 7. Puerto de Cullera - Puerto de Gandía	6,3
Tramo 8. Puerto de Gandía - P.D. La Goleta (Oliva)	1,7
Tramo 9. P.D. La Goleta (Oliva) – Puerto de Denia	1,6
Tiempo total de dragado	82

La planificación de los trabajos de regeneración se lleva a cabo con base a los siguientes criterios:

- Los trabajos de dragado deberán coordinarse con las actuaciones de regeneración de cada playa, aunque estas no son objeto de este estudio. Para asegurar que el proceso sea eficiente y se ejecute en el menor tiempo posible, se recomienda que los trabajos de alimentación de playas comiencen inmediatamente después del vertido del material sedimentario en el punto deseado.
- El dragado se iniciará en el mes de octubre, tras dar por finalizada la temporada de verano, asegurando así que los beneficios sociales y económicos en el año de comienzo de las obras no se vean comprometidos. Puesto que la actuación tiene una duración superior al año, en los siguientes meses de verano habrá playas que se encuentren en estado de regeneración y no se permita su uso. En este sentido es muy importante la correcta programación de los trabajos en el proyecto correspondiente y que estos se desarrollen en el tiempo previsto para minimizar el impacto negativo temporal sobre la zona.
- Se considera que los trabajos son continuos (24 horas, 7 días a la semana).
- El vertido de material para cada tramo se iniciará en un extremo del mismo y se seguirá de forma continua según la dirección del transporte de sedimentos longitudinal para favorecer el reparto natural de la arena.

- El clima marítimo es un factor determinante para la ejecución del dragado ya que la maquinaria empleada tiene un límite de operatividad y habrá días en los que las condiciones del mar no permitan realizar la operación. La demora en los trabajos debido a inclemencias meteorológicas se ha tenido en cuenta de forma general en el cálculo de la producción de dragado mediante un coeficiente reductor de retraso.
- Para que la actuación sea completa y duradera en el tiempo y se eviten nuevas erosiones localizadas, tras el dragado y regeneración de las playas se debe llevar a cabo el desmantelamiento de obras de defensa pequeñas o, en caso de puertos, trasvases de arena, para asegurar que se restituye el flujo natural de sedimentos a lo largo de la costa.

Se propone como comienzo de la operación de dragado (extracción, transporte y vertido) el día 4 de octubre de 2021 y su duración total estimada es de 82 semanas, finalizando así el día 30 de abril de 2023. En el *Anexo 4 – Programa de trabajos* se muestra un simplificado Diagrama de Gantt. Las obras se ejecutarán en el siguiente orden:

1. Tramo 6. Puerto de Valencia – Puerto de Cullera.
2. Tramo 7. Puerto de Cullera – Puerto de Gandía.
3. Tramo 9. P.D. La Goleta (Oliva) – Puerto de Denia.
4. Tramo 8. Puerto de Gandía – P.D. La Goleta (Oliva).
5. Tramo 1. Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola.
6. Tramo 2. Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón.
7. Tramo 3. Puerto de Castellón – Puerto de Burriana.
8. Tramo 4. Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto.
9. Tramo 5. Puerto de Sagunto – Puerto de Valencia.

Tramo 1. Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola

El volumen a dragar es de 1.098.000 m³ y debe transportarse a una distancia media de 139,5 km. La duración estimada de esta operación es de 23 días (3,3 semanas), comenzando el día 12 de marzo de 2022 y finalizando el día 3 de abril de 2022.

Puesto que el transporte longitudinal de sedimentos tiene una dirección norte – sur, se empezarán las actuaciones de regeneración en la zona situada más al norte, avanzado hacia el sur hasta llegar a la última playa que necesite aportación de arena. La Figura 73 muestra un esquema de las zonas a regenerar. Las playas que más han sufrido procesos erosivos son las siguientes:

- Cala de Les Llanetes.
- Playa de la Barbiguera.
- Playa Campanar.
- Playa Cosis.
- Playa Río Cervol.
- Playa del Puntal I.
- Playa Mar Chica.

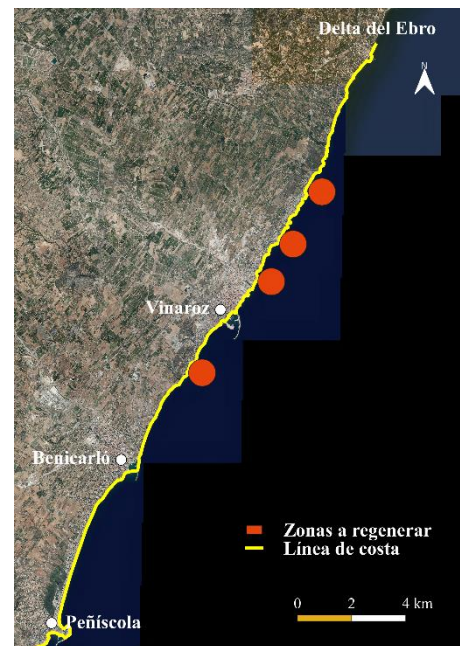


Figura 73. Zonas a regenerar en el Tramo 1.
Fuente: PNOA (2020).

Tramo 2. Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón

El volumen a dragar es de 7.117.000 m³ y debe transportarse a una distancia media de 102,5 km. La duración estimada de esta operación es de 125 días (17,8 semanas), comenzando el día 4 de abril de 2022 y finalizando el día 6 de agosto de 2022.

En este caso, existen bastantes zonas rocosas entre las que puede encontrarse alguna cala o playa pequeña. Puesto que el transporte longitudinal de sedimentos tiene una dirección norte – sur, se empezarán las actuaciones de regeneración en la zona situada más al norte, avanzado hacia el sur hasta llegar a la última playa que necesite aportación de arena. La Figura 74 muestra un esquema de las zonas a regenerar. Las playas que más han sufrido procesos erosivos son las siguientes:

- Cala Arsilaga.
- Playa La Romana.
- Playa El Moro.
- Playa Mañetes.
- Playa del Capicorb.
- Playa Cudola.
- Playa Torre de la Sal.
- Playa Els Amplaries.
- Playa del Serradal.

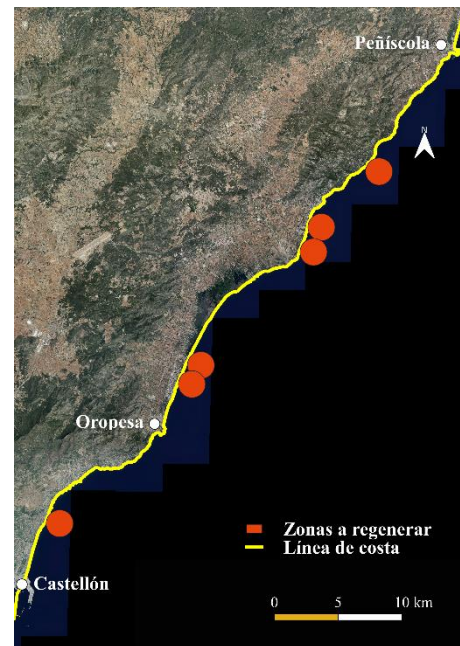


Figura 74. Zonas a regenerar en el Tramo 2.
Fuente: PNOA (2020).

Tramo 3. Puerto de Castellón – Puerto de Burriana

El volumen a dragar es de 3.743.000 m³ y debe transportarse a una distancia media de 69,1 km. La duración estimada de esta operación es de 54 días (7,7 semanas), comenzando el día 7 de agosto de 2022 y finalizando el día 29 de septiembre de 2022.

La Figura 75 muestra un esquema de la zona a regenerar. En este tramo únicamente se debe actuar en la Playa de Ben Afeli (Almazora), después el material se va acumulando hasta llegar a la Playa del Arenal al norte del puerto de Burriana.



Figura 75. Zona a regenerar en el Tramo 3.
Fuente: PNOA (2020).

Tramo 4. Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto

El volumen a dragar es de 12.139.000 m³ y debe transportarse a una distancia media de 52,4 km. La duración estimada de esta operación es de 157 días (22,4 semanas), comenzando el día 30 de septiembre de 2022 y finalizando el día 5 de marzo de 2023.

Puesto que el transporte longitudinal de sedimentos tiene una dirección norte – sur, se empezarán las actuaciones de regeneración en la zona situada más al norte, avanzado hacia el sur hasta llegar a la última playa que necesite aportación de arena. La Figura 76 muestra un esquema de las zonas a regenerar. En este caso, prácticamente toda la costa está en regresión y son numerosas las playas que se han erosionado con el transcurso del tiempo:

- Playa de Nules.
- Playa Pedra Roja.
- Playa El Grau.
- Playa de Tamarit.
- Playa La Torre.
- Playa El Cerezo.
- Playa La Llosa.
- Playa Casablanca

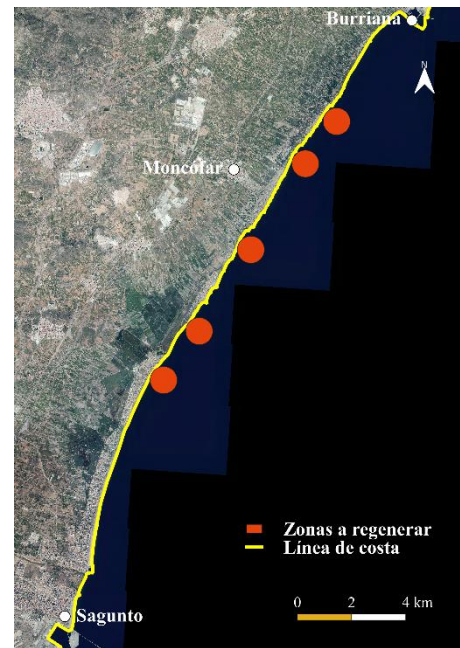


Figura 76. Zonas a regenerar en el Tramo 4.
Fuente: PNOA (2020).

Tramo 5. Puerto de Sagunto – Puerto de Valencia

El volumen a dragar es de 5.036.000 m³ y debe transportarse a una distancia media de 32,1 km. La duración estimada de esta operación es de 56 días (8 semanas), comenzando el día 6 de marzo de 2023 y finalizando el día 30 de abril de 2023.

Puesto que el transporte longitudinal de sedimentos tiene una dirección norte – sur, se empezarán las actuaciones de regeneración en la zona situada más al norte, avanzado hacia el sur hasta llegar a la última playa que necesite aportación de arena. La Figura 77 muestra un esquema de las zonas a regenerar. Las playas que más han sufrido procesos erosivos son las siguientes:

- Playa Sur de Sagunto.
- Playa del Mar.
- Playa de Puig.
- Playa de Massalfasar.
- Playa de Meliana.



Figura 77. Zonas a regenerar en el Tramo 5.
Fuente: PNOA (2020).

Tramo 6. Puerto de Valencia – Puerto de Cullera

El volumen a dragar es de 9.499.000 m³ y debe transportarse a una distancia media de 17,7 km. La duración estimada de esta operación es de 92 días (13,2 semanas), comenzando el día 4 de noviembre de 2021 y finalizando el día 3 de enero de 2022.

Puesto que el transporte longitudinal de sedimentos tiene una dirección norte – sur, se empezarán las actuaciones de regeneración en la zona situada más al norte, avanzado hacia el sur hasta llegar a la última playa que necesite aportación de arena. La Figura 78 muestra un esquema de las zonas a regenerar. Las playas que más han sufrido procesos erosivos son las siguientes:

- Playa de Pinedo.
- Playa El Saler.
- Playa El Perelló.



Figura 78. Zonas a regenerar en el Tramo 6.
Fuente: PNOA (2020).

Tramo 7. Puerto de Cullera – Puerto de Gandía

El volumen a dragar es de 4.320.000 m³ y debe transportarse a una distancia media de 23,4 km. La duración estimada de esta operación es de 44 días (6,3 semanas), comenzando el día 4 de enero de 2022 y finalizando el día 16 de febrero de 2022.

Puesto que el transporte longitudinal de sedimentos tiene una dirección norte – sur, se empezarán las actuaciones de regeneración en la zona situada más al norte, avanzado hacia el sur hasta llegar a la última playa que necesite aportación de arena. La Figura 79 muestra un esquema de las zonas a regenerar. Las playas que más han sufrido procesos erosivos son las siguientes:

- Playa del Marenyet.
- Playa del Estany.
- Playa El Dorado.
- Playa Tabernes de Valldigna.



Figura 79. Zonas a regenerar en el Tramo 7.
Fuente: PNOA (2020).

Tramo 8. Puerto de Gandía – P.D. La Goleta (Oliva)

El volumen a dragar es de 1.038.000 m³ y debe transportarse a una distancia media de 36,5 km. La duración estimada de esta operación es de 12 días (1,7 semanas), comenzando el día 28 de febrero de 2022 y finalizando el día 11 de marzo de 2022.

Puesto que el transporte longitudinal de sedimentos tiene una dirección sur – norte, se empezarán las actuaciones de regeneración en la zona situada más al sur, avanzado hacia el norte hasta llegar a la última playa que necesite aportación de arena. La Figura 80 muestra un esquema de las zonas a regenerar. Las playas que más han sufrido procesos erosivos son las siguientes:

- Playa de Piles.
- Playa de Bellreguart.



Figura 80. Zonas a regenerar en el Tramo 8.
Fuente: PNOA (2020).

Tramo 9. P.D. La Goleta (Oliva) – Puerto de Denia

El volumen a dragar es de 910.000 m³ y debe transportarse a una distancia media de 46,8 km. La duración estimada de esta operación es de 11 días (1,6 semanas), comenzando el día 17 de febrero de 2022 y finalizando el día 27 de febrero de 2022.

Puesto que el transporte longitudinal de sedimentos tiene una dirección sur – norte, se empezarán las actuaciones de regeneración en la zona situada más al sur, avanzado hacia el norte hasta llegar a la última playa que necesite aportación de arena. La Figura 81 muestra un esquema de la zona a regenerar, siendo únicamente necesario en la Playa Les Deveses (Denia). A partir de esta se acumula material hasta el municipio de Oliva.



Figura 81. Zona a regenerar en el Tramo 9.
Fuente: PNOA (2020).

3.6. Consideraciones ambientales

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). Para este tipo de actuaciones hay que remitirse a las Directrices para la gestión ambiental de las extracciones marinas para la obtención de arena establecidas por el Ministerio de

Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (CEDEX, 2010). 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 de la Comunidad Valenciana.

3.6.1. Elementos ambientales significativos del entorno del yacimiento

El yacimiento tiene una superficie de 25,5 km² y un área de influencia de 1,5 km alrededor del mismo. El volumen de arena disponible apta para alimentación de playas es de 94.332.337 m³.

Hidrodinámica y calidad del agua

El área de estudio se encuentra en la masa de agua costera nº8, según la clasificación de masas de agua acorde a la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de masas de agua (Directiva Marco del Agua). Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos medidos en la columna de agua presentan valores normales; la calidad bacteriológica es buena y no presenta contaminación por metales pesados o hidrocarburos. El depósito se encuentra en aguas profundas por lo que el oleaje no tiene efecto sobre el fondo marino. Los sectores de oleaje más frecuentes son NE (15%) y ENE (23%), y la frecuencia de presentación de alturas de ola superiores a 2 metros (límite de operatividad de la draga) es de un 5% aproximadamente. La intensidad de la corriente disminuye con la profundidad, siendo de 1 – 2 cm/s a 60 metros.

Sedimentos

El material sedimentario del depósito está constituido principalmente por arenas medias de tamaño de grano adecuado (el D₅₀ es de 0,32 mm) y de gran calidad, por lo que resulta apto para la regeneración de playas. El yacimiento está cubierto por una capa de finos de espesor variable, con un valor frecuente de 0,5 metros.

Fauna

En el yacimiento se encuentran dos tipos de comunidades: bentónicas y pelágicas.

- Comunidades bentónicas

Aparece una única comunidad natural, la de arenas fangosas con enclaves de detrítico enfangado. Está constituida principalmente por poliquetos pertenecientes de las familias Capitellidae (*Capitella capitata*), Cossuridae (especies del género *Cossura*), Cirratulidae (especies de los géneros *Dodecaria*, *Chaetozone*, *Caulleriella*, *Cirriiformia* y *Cirratulus*) y Spionidae (especies de los géneros *Boccardia*, *Malacoceros*, *Prionospio* y *Laonice*). A estos fondos se les asocia una comunidad ictiológica de peces demersales (especies asociadas al fondo marino) entre las que se incluyen la merluza (*Merluccius merluccius*), salmonete de fango (*Mullus barbatus*), capellán (*Trisopterus minutus capellanus*), cabete (*Lepidotrigla cavillone*), bejel (*Aspitrigla obscura*) y pez volador (*Dactylopterus volitans*).

- Comunidades pelágicas

Estas comunidades se caracterizan por la presencia de organismos planctónicos (fitoplancton y zooplancton) sometidos al efecto de las corrientes y de organismos nectónicos entre los que destacan peces pelágicos como la sardina (*Sardina pilchardus*), la anchoa (*Engraulis encrasicolus*), la alacha (*Sardnilla aurita*), el atún rojo (*Thunnus thynnus*), la caballa (*Scomber scomber*) o el pez espada (*Xiphias gladius*).

Espacios naturales protegidos

El banco de arena no se encuentra dentro de ningún espacio natural protegido de la Red Natura 2000. El más cercano es la Albufera, a 5,5 km en su zona más próxima, que es Parque Natural, Lugar de Importancia Comunitaria (LIC), Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y Humedal RAMSAR. Cuenta con numerosas especies y hábitats que le dan un gran valor. La zona LIC, a unos 7 km) es vulnerable a cualquier tipo de contaminación y poco tolerante con el incremento de la salinidad, por lo que se le debe prestar especial atención.

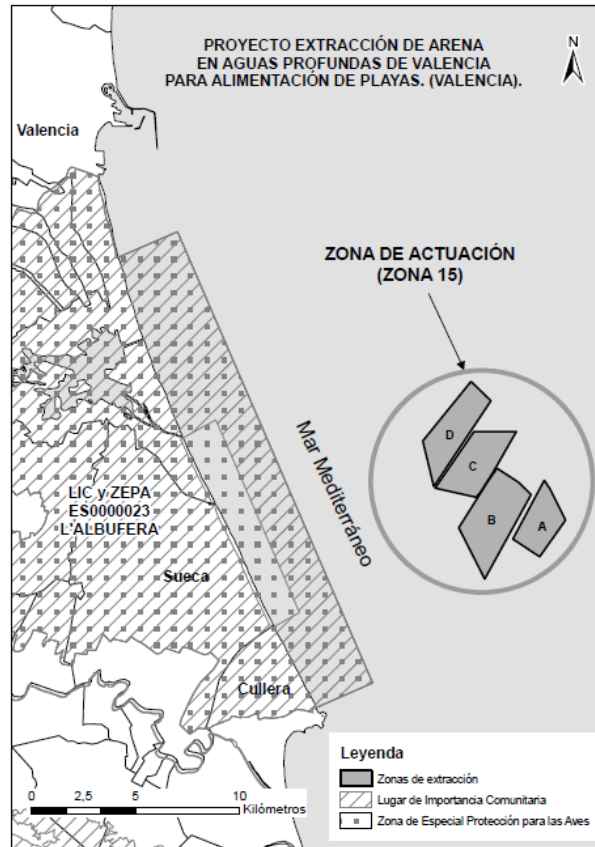


Figura 82. Zonas LIC y ZEPa próximas al yacimiento.

Fuente: García y Moreno (2010).

Socioeconomía

Los sectores que pueden verse afectados por esta actuación son el turismo y la pesca, ya que próximos a la zona se encuentran los puertos pesqueros y lonjas de Valencia, 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).

Patrimonio cultural

Ninguna zona de interés cultural se ve afectada ni se conoce la existencia de restos arqueológicos o paleontológicos relevantes.

3.6.2. Condicionantes ambientales

Condicionantes ambientales en relación con la caracterización de sedimentos

El principal condicionante es que la puesta en suspensión del material fino durante el dragado da lugar a un aumento de la turbidez. Sin embargo, debido a criterios técnicos, se considera la extracción del material en su conjunto, sin diferenciar este tipo de sedimento.

Condicionantes ambientales en relación con la tipología del fondo

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. Sin embargo, se considera que su efecto sobre la recuperación de las comunidades naturales preexistentes es escaso. En cuanto a las

variaciones en la litología, su causa reside en la alteración de la estructura y la compactación de sedimentos. Debe salvaguardarse un espesor de sustrato original suficiente que permita la recolonización de los fondos por comunidades similares a la preexistentes.

Condicionantes ambientales en relación con la calidad del agua y la dinámica marina

La calidad físico-química del agua no se verá afectada por las operaciones de dragado al tratarse de aguas perfectamente mezcladas. Sí que existirá un aumento de la turbidez al ponerse en suspensión el material fino, pero al cabo de unas horas habrá vuelto a sedimentar.

Condicionantes ambientales en relación con las comunidades naturales

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. Es poco probable que las comunidades pertenecientes al necton se vean perjudicadas de forma directa, ya que suelen huir ante la presencia de ruido. Cabe decir que el aumento de turbidez provoca estrés, desorientación y alteración de las rutas de migración en estas especies, aunque el área será limitada. El efecto sobre las comunidades de plancton deriva del aumento de partículas sólidas en suspensión en la columna de agua, ya que al reducirse la entrada de luz se limita su desarrollo.

Condicionantes ambientales en relación con los espacios naturales protegidos

El espacio protegido más próximo al ámbito de estudio, considerando la zona de extracción y una zona de protección de 1,5 km, es la Albufera, situada a 4 km del punto más cercano.

Condicionantes ambientales en relación con actividades socioeconómicas

La principal actividad afectada es la pesca. Dentro de la Comunidad Valenciana, el mayor peso desembarcado se da en la provincia de Alicante, seguida de Castellón y, por último, Valencia. Aunque en general se realiza en zonas más próximas a la costa, algunas especies se encuentran a profundidades como la del yacimiento. Los recursos más afectados serán las pesquerías de peces bentónicos y demersales. Por otra parte, el dragado podría afectar a la navegación. Las rutas marítimas comerciales discurren por aguas profundas y es posible la interferencia con alguna de ellas. Las rutas de navegación costera no alcanzan, en general, la zona del depósito, por lo que el efecto sobre la navegación de recreo será mínimo.

3.6.3. Valoración de impactos

Tras el análisis de los condicionantes ambientales se considera que el impacto medioambiental es moderado y que la recuperación no necesita actuaciones de protección o corrección intensivas, aunque el proceso de restablecer las condiciones iniciales requiere cierto tiempo.

3.6.4. Medidas preventivas y correctoras

Se propondrán las medidas necesarias para prevenir o, en su defecto, minimizar, el impacto sobre el medioambiente, 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, el programa de vigilancia ambiental llevará a cabo un estudio periódico de los recursos pesqueros, evaluando la incidencia real de la actividad.

3.6.5. Programa de vigilancia ambiental

El Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) se elabora para garantizar el cumplimiento de las indicaciones y medidas, protectoras y correctoras, contenidas en el estudio de impacto ambiental (Decreto 162/1990, de 15 de octubre, del Consell de la Generalitat Valenciana). Su objetivo principal es realizar el seguimiento, control y medición de los parámetros ambientales para controlar la evolución de los sistemas naturales afectados. Debe comprender las siguientes fases:

- Determinación de los objetivos tendentes a identificar los sistemas afectados y a definir los tipos de impacto y los indicadores seleccionados. Estos deben ser fácilmente medibles y representativos del sistema afectado.
- Recogida y análisis de datos.
- Interpretación de la información recogida.
- Posible modificación de los objetivos iniciales en función de los resultados obtenidos.

El programa incluye tres tipos de actuaciones:

1. En la fase de extracción.
2. Fase posterior a la extracción.
3. Emisión de informes dentro del PVA.

Las actuaciones que se incluyen para el seguimiento, control y medición de los distintos parámetros en cada tipo se detallan a continuación.

Fase de extracción

- Control de obra: permisos, Plan de Emergencia a implantar, comprobación equipos y balizamiento.
- Control contaminación atmosférica: control de emisiones (gases y polvo).
- Control de residuos.
- Control de fluentes líquidos.
- Control de emisiones sonoras.
- Seguimiento arqueológico.
- Control del medio marino.
 - Calidad de los sedimentos: pH, materia orgánica, PCB's, etc.
 - Calidad del agua: estructura termohalina, oxígeno disuelto, turbidez, DBO₅, etc.
 - Comunidades marinas.
- Control de recursos pesqueros.
- Reconocimientos geofísicos.
- Control de documentos y gestión de no conformidades.

Fase posterior a la extracción

- Control del medio marino.
 - Calidad de las aguas.
 - Comunidades marinas.
- Control de recursos pesqueros.
- Control geofísico: batimetría, relieve, granulometría, inspecciones visuales.

Emisión de informes

Los resultados del PVA deberán remitirse al órgano ambiental de la Comunidad Valenciana. La periodicidad de emisión de informes será diaria, mensual, final y anual (tras la extracción).

3.6.6. Consideraciones para la regeneración de playas

Cada proyecto de regeneración debe contar con su correspondiente 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 playas concretas, se describe en líneas generales 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.

Se observa que el contenido, aunque ligeramente más extenso, es similar al del estudio de la zona de extracción de arenas. En este caso, también debe realizarse un Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) con el mismo objetivo y que se divide en las siguientes fases:

- Fase previa al inicio de los trabajos: toma de fotografías, muestreo de calidad de las aguas, saneamiento y gestión de residuos en las instalaciones de servicios propios de la obra.
- Fase de regeneración: seguimiento directo de las obras, verificando el cumplimiento de las medidas preventivas y correctoras especificadas.
- Fase posterior a la actuación: seguimiento de la recuperación de las condiciones ambientales iniciales.

Algunas de las actividades específicas de seguimiento ambiental son:

- Control de la dinámica litoral.
- Control de la calidad del agua.
- Control de la calidad atmosférica.
- Control de los efectos sobre los Espacios Naturales Protegidos.
- Control de los recursos pesqueros.

En este caso también se ven afectados el sector turístico y la pesca. En relación con este último, cuando se tramiten los proyectos de regeneración de playas, se determinarán los recursos pesqueros afectados y la valoración económica de los mismos. Para el seguimiento y control de los trabajos de regeneración, se propone el empleo del Modelo BP desarrollado por el Laboratorio de Puertos y Costas de la Universidad Politécnica de Valencia.

3.7. Programa de trasvases de arena

En algunas zonas, la interrupción del transporte litoral por la existencia de canales de navegación u otras infraestructuras portuarias, causa erosiones en la línea de costa situada aguas abajo en la dirección del transporte litoral. Para garantizar la continuidad del transporte de sedimentos sin que la actividad portuaria se vea comprometida, se pueden realizar operaciones de trasvases de arena o bypass, de manera que el material dragado se incorpore nuevamente a la dinámica litoral aguas abajo (CEDEX,

2013). El objetivo del bypass arena es, por tanto, restablecer la corriente de transporte cuando existen barreras que lo impiden. Puede llevarse a cabo de diversas formas, cada una de ellas con ciertas ventajas e inconvenientes:

- **Vía terrestre.** La carga y el vertido se realizan en la playa seca. Es útil para actuaciones urgentes, pero los volúmenes de material que permite son bajos. Además, hay que prever su impacto en el tráfico y preparar las vías de acceso.
- **Vía marítima.** Se carga en la zona de playa sumergida, pero puede verterse tanto en la playa seca como en la sumergida. Tiene un coste elevado, pero permite mover grandes volúmenes sin interferir en el tráfico.
- **Instalación fija.** Permite la gestión de los volúmenes y variar el punto de vertido. El mayor inconveniente es el coste de implantación y mantenimiento.

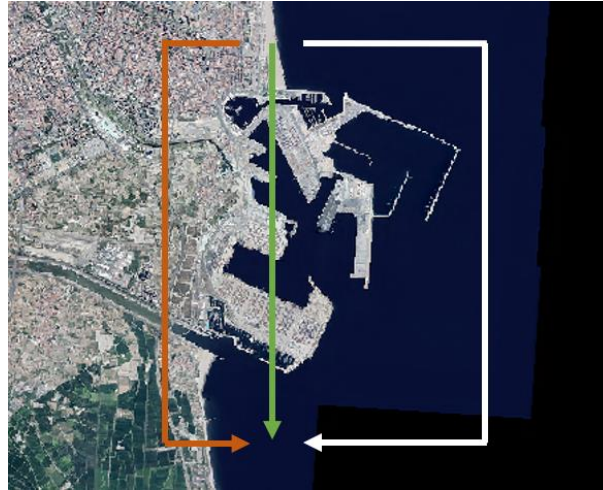


Figura 83. Opciones para el trasvase de arena en el Puerto de Valencia.

Fuente: Fuente: PNOA (2020).



Figura 84. Ejemplo de trasvase por vía terrestre.

Fuente: Marinas del Mediterráneo (2019).

Se deberán realizar trasvases de arena en todas las obras marítimas de gran magnitud, como son los puertos que se detallan en el apartado 2.1. *Bases de Partida*. En el tramo de estudio, comprendido entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia, el número de puertos existentes en los que tendrá que llevar a cabo esta actuación es de 17 (Figura 85), siendo los más importantes los de Castellón, Sagunto, Valencia y Denia.



Figura 85. Ubicación de los puertos donde se debe trasvasar arena.

Fuente: Google Earth (2020).

Tomando como referencia la dirección del transporte longitudinal de sedimentos, se establece que desde el Puerto de Vinaroz hasta Oliva los trasvases se harán de norte a sur y de sur a norte entre Oliva y Denia. El empleo de un método u otro de bypass dependerá de criterios técnicos y económicos, siendo función de la magnitud del puerto, los tráficos marítimo y terrestre de la zona, el volumen de arena a mover, etc.

3.8. Desmantelamiento de obras de defensa

A lo largo del litoral valenciano existen numerosas obras de defensa (espigones, diques exentos) que se construyeron como propuesta inmediata frente a los problemas erosivos a los que se enfrentaban las playas. Sin embargo, estos elementos no dejan de ser soluciones a corto plazo, ya que suponen barreras al transporte natural de sedimentos. De cara a la restitución del flujo sedimentario litoral se debe plantear su desmantelamiento, 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.



Figura 86. Ejemplo de obras de defensa en El Puig.

Fuente: Google (2020).

3.8.1. Identificación de las obras de defensa existentes

En primer lugar, se identifican las zonas que presentan este tipo de obras marítimas. En el extremo norte del ámbito considerado, en Vinaroz, existen cuatro obras de defensa.



Figura 87. Obras de defensa en la zona de Vinaroz.
 Fuente: PNOA (2020).

Siguiendo hacia el sur, en la playa de Torrenostrá (perteneciente al municipio de Torreblanca) se construyeron cuatro diques exentos (Figura 88, izq.). Próximos a Benicasim hay veintidós espigones y diques distribuidos entre la playa de Las Playetas, playa Almadrava, playa Torre Sant Vicent, playa Els Terrers, playa Sud de Benicasim y playa del Serradal (Figura 88, dcha.).

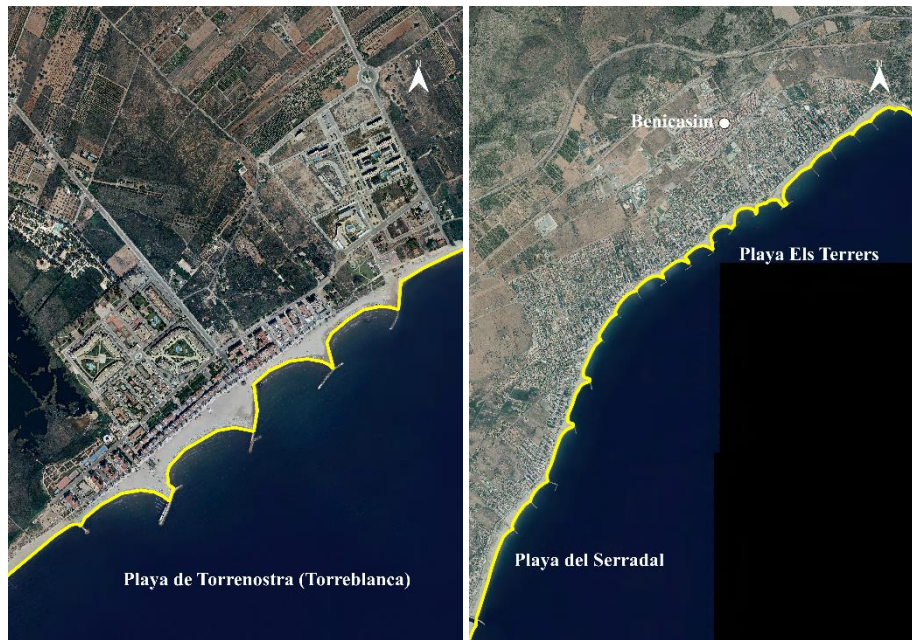


Figura 88. Obras de defensa en las zonas de Torreblanca (izq.) y Benicasim (dcha.).
 Fuente: PNOA (2020).

Aguas abajo del puerto de Castellón existen seis obras de defensa en las playas Ben Afeli y La Torre. Al sur del puerto de Burriana hay un total de 34 espigones y diques exentos a lo largo de las siguientes: 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 89. Obras de defensa en las zonas de Castellón (izq.) y Burriana (dcha.).
 Fuente: PNOA (2020).

Entre el puerto de Sagunto y el puerto de Valencia se encuentran dos zonas con numerosas obras de defensa: la primera zona comprende las playas del Mar, playa de Puig y las playas norte y sur de la Puebla de Farnals y cuenta con 23 espigones; la segunda, en el área de Meliana y Port Saplaya existen 4 más (Figura 90).

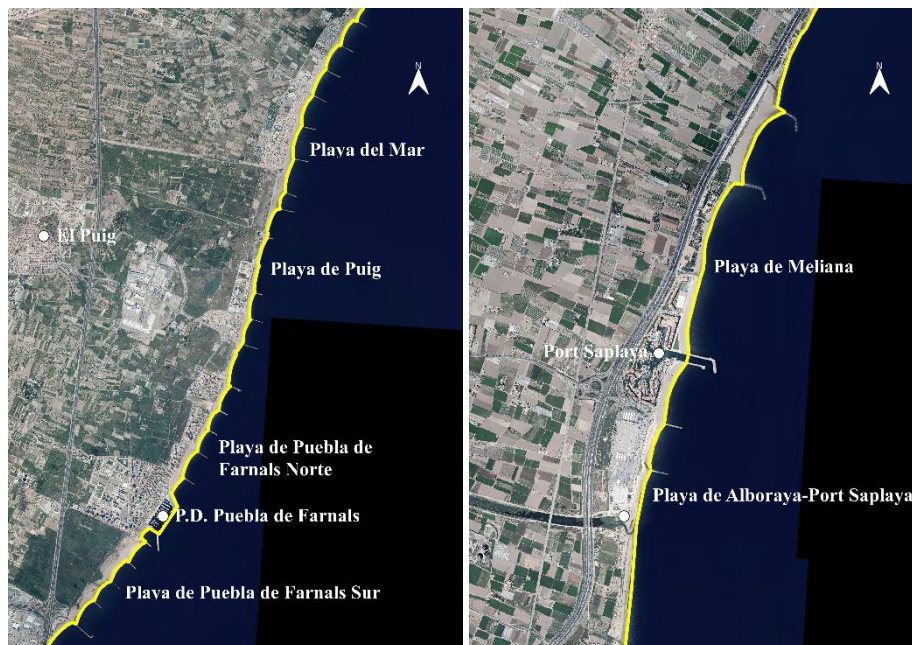


Figura 90. Obras de defensa entre el puerto de Sagunto y el puerto de Valencia.
 Fuente: PNOA (2020).

Aguas abajo del puerto de Valencia, en la playa de Pinedo, hay 2 espigones. En la zona próxima a Cullera, en las playas del Estany y El Dorado, hay diques exentos y espigones, dando lugar a un total de 10 (Figura 91).



Figura 91. Obras de defensa entre el puerto de Valencia y Cullera.

Fuente: PNOA (2020).

Finalmente, en la parte sur del área de estudio, concretamente en la zona de Les Deveses, se construyeron otros 3 espigones (Figura 92).



Figura 92. Obras de defensa entre en Les Deveses.

Fuente: PNOA (2020).

3.8.2. Usos del hormigón reciclado

Se debe fomentar la prevención, reutilización, reciclado y otras formas de valorización de los residuos, asegurando que los destinados a operaciones de eliminación reciban un tratamiento adecuado, y contribuir a un desarrollo sostenible de la actividad de la construcción (CEDEX, 2014). Una correcta

gestión de los mismos permite reducir las cantidades generadas y aprovechar el potencial que tienen como material secundario.

La obra civil genera la mayor parte de los escombros de hormigón. El árido reciclado es aquel obtenido mediante el procesamiento de residuos de construcción y demolición (RCDs) y se entiende por hormigón reciclado el fabricado con árido reciclado o una mezcla de árido reciclado y árido natural (Alaejos et al., 2015). En el procesamiento de los RCDs se distinguen dos fases: demolición y reciclado de materiales. En el primer caso, se deben reducir los escombros a tamaños que puedan ser tratados por el triturador primario de la planta de reciclaje; para la operación de reciclado existen plantas de transferencias (depósito temporal) y plantas de valorización. En la Comunidad Valenciana existen nueve plantas de RCDs (CEDEX, 2014).



Figura 93. Vista general de una planta de reciclado de escombros.

Fuente: Alaejos et al. (2015).

Cada vez es más habitual la utilización del árido reciclado en el ámbito de la construcción. Las aplicaciones del árido reciclado procedente del hormigón son las siguientes:

- Obras de tierra y terraplenes.
- Carreteras : capas granulares sin tratar (zahorras), materiales tratados.
- Edificación y obra pública: árido para hormigón estructural, árido para hormigón no estructural, árido fino para morteros, cementos fabricados con finos procedentes de hormigón triturado.

El nivel de exigencia de las características que debe cumplir depende del uso al que se destine, siendo las más restrictivas si se emplea en la fabricación de hormigón. Se debe potenciar el reciclado de hormigón por sus beneficios ambientales como la disminución del volumen de escombros que se depositan en vertederos y la reducción del número de explotaciones necesarias para suministrar la materia prima necesaria original, protegiendo así los recursos naturales y minimizando el impacto ambiental.

4. CONCLUSIONES

El presente documento comprende un estudio estratégico para la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el delta del Ebro y el puerto de Denia. En las últimas décadas, el litoral de la Comunidad Valenciana se ha visto sometido a intensos procesos erosivos, tanto a nivel general como local. La erosión generalizada se produce principalmente por dos factores: el aterramiento en embalses y el calentamiento global.

Por un lado, los embalses actúan como barrera al flujo sedimentario fluvial, acumulando sedimentos gruesos en sus colas e impidiendo que este llegue al mar. Esta reducción en el aporte de sedimentos favorece el retroceso y la erosión de la costa. Los embalses de las cuencas hidrográficas del Ebro y del Júcar han retenido ya más 1.000 hm³ y 200 hm³, respectivamente. La solución a este problema es llevar a cabo trasvases de arena en los embalses de forma que se restituya al menos el flujo de los sedimentos gruesos (arenas y gravas) indispensables para la alimentación natural de las playas. Sin embargo, esta actuación es medioambientalmente compleja y requiere un análisis profundo y detallado en el ámbito de la ingeniería fluvial que, seguramente, en el mejor de los escenarios, se demorará muchos años hasta ser plenamente efectiva. Es la mejor solución a largo plazo, pero no podemos contar con ella a corto y medio plazo para solucionar los acuciantes problemas erosivos actuales. Por otra parte, el calentamiento global lleva asociado una subida del nivel del mar. 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 0,43 metros en el nivel del mar para el año 2100. Este fenómeno favorece la erosión generalizada de las playas y se necesitará cierto volumen de arena para restablecer el perfil original, por lo que se debe tener en cuenta de cara a la regeneración de estas playas.

Si la retención en los embalses y la subida del nivel del mar son los principales responsables a largo plazo de la erosión litoral, las erosiones locales que experimentan las playas se deben en mayor medida a la construcción de numerosas obras de defensa a lo largo de la costa. Estas obstaculizan el transporte litoral de sedimentos y provocan que en algunas zonas se acumule material mientras que en otras se pierda. Analizando el transporte longitudinal de sedimentos en el litoral valenciano, se determina que en gran parte de la costa este transporte lleva dirección norte-sur, a excepción del tramo de Oliva a Denia, donde se invierte. También se produce una reducción en la intensidad del transporte conforme se avanza hacia el sur debido a la diferente alineación de la costa.

La existencia de un banco de arena de aguas profundas en Cullera, cuyo material se considera apto para la regeneración de playas ($D_{50} = 0,32$ mm), permite plantear esto como solución a los problemas erosivos a corto y medio plazo. Dada la profundidad del depósito y la complejidad técnica, serán necesarios medios técnicos concretos como las dragas de succión por arrastre tipo Jumbo. Existen muy pocos equipos de este tipo y movilizarlos supone una inversión económica de carácter importante, por ello, esta regeneración se debe plantear a gran escala. El cálculo del volumen de arena necesario para la recuperación de los volúmenes de arena de playas erosionadas en las últimas seis décadas es de 35.011.000 m³, aunque el volumen a dragar debe ser de 44.900.000 m³ teniendo en cuenta la presencia de material fino. Para compensar la subida del nivel del mar en los próximos 50 años, el volumen ascendería a 59.261.000 m³, lo que implica la extracción de 75.853.000 m³ de material sedimentario. La duración total de los trabajos de dragado, que incluyen la extracción, transporte y vertido del material en el punto deseado, es de 82 semanas (aproximadamente año y medio).

Finalmente, para que las actuaciones descritas sean eficientes y duraderas con el transcurso del tiempo, se deben plantear el desmantelamiento de obras de defensa pequeñas que actúan como barreras al transporte de sedimentos y la realización de trasvases de arena en aquellas obras de carácter importante como pueden ser los puertos.

Las playas son elementos muy valiosos a diferentes niveles (medioambiental, social y económico) y se deben recuperar y mantener de forma sostenible, es decir, permitiendo el progreso de la generación presente sin comprometer a las generaciones futuras. La regeneración artificial marina de las playas que conforman la costa y la propia dinámica litoral, tras el desmantelamiento o bypass en obras marítimas, son la base de la estrategia para restituir el flujo sedimentario entre el delta del Ebro y el puerto de Denia a corto y medio plazo. A largo plazo, será necesario poner en marcha el trasvase

sistemático de arenas y gravas en los embalses (restitución del flujo de sedimentos fluvial) o la localización de otros depósitos de arena en aguas profundas similares al de Cullera.

Ángela Alguacil Jiménez



Valencia, diciembre de 2020

5. REFERENCIAS

- Abderrezzak, K., Kantoush, S. and Langendoen, E., 2020. Reservoir sedimentation. Processes, problems and management strategies.
- Alaejos, P., Sánchez de Juan, M., 2015. Hormigón reciclado estructural: utilización del árido reciclado procedente de escombros de hormigón. *Ingeniería Civil* 179/2015.
- Aragónés, L., Pagán, J.I., López, I., Navarro-González, F.J., Villacampa, Y., 2019. Garlekin's formulation of the finite elements method to obtain the depth of closure. *Science of the Total Environment* 660, 1256-1263.
- Aragónés, 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.
- Aragónés, 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.
- Birkemeier, W.A., 1985. Field data on seaward limit of profile change. *J. Waterw. Port, Coast. Ocean Eng.* 111 (3), 598–602.
- 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”.
- Bray, R., Bates, A. and Land, J., 1996. *Dredging: A Handbook for Engineers*.
- CEDEX, 2010. Instrucción técnica para la gestión ambiental de las extracciones marinas para la obtención de arena. [Online] Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/publicaciones/Instruccion%20Extracciones%20Arena%20rel2_tcm30-157025.pdf> [Consulta 26 noviembre 2020].
- CEDEX, 2013. Materiales de dragado. [Online] Disponible en: <http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_MATERIALESEDEDRAGADODIC2013.pdf> [Consulta 26 noviembre 2020].
- CEDEX, 2014. Residuos de construcción y demolición. [Online] Disponible en: <http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_RESIDUOSDECONSTRUCCIONYDEMOLICIONNOV2014.pdf> [Consulta 26 noviembre 2020].
- Cobo, R., 2008. Los sedimentos de los embalses españoles. *Ingeniería del Agua*, Vol. 15, No 4.
- 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. Costes de las obras de dragado. [Online] Disponible en: <http://www.graduadosportuaria.com.ar/descarga/vias_Navegables/ingenieria_dragado/DR_A_T15.pdf> [Consulta 26 noviembre 2020].
- 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> [Consulta 26 noviembre 2020].
- Escalante, R., 2019. Ingeniería de dragado. Draga de succión por arrastre. Cálculo de producción. [Online] Disponible en: <http://www.graduadosportuaria.com.ar/descarga/vias_Navegables/ingenieria_dragado/DR_A_T10.pdf> [Consulta 26 noviembre 2020].
- 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., 1978. Uses for a calculated limit depth to beach erosion. En: 16th Coastal Engineering Conference, Reston, VA, pp. 1493–1512.

- Hanson, H., Brampton, A., Capobianco, M., Dette, H.H., Hamm, L., Lastrup, C., Lechuga, A., Spanhoff, R., 2002. Beach nourishment projects, practices, and objectives—a european overview. *Coast. Eng.* 47 (2), 81–111.
- IH Cantabria, 2014. Cambio Climático en la Costa Española. [Online] Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/publicaciones/2014%20INFORME%20C3E%20final_tcm30-178459.pdf> [Consulta 26 noviembre 2020].
- 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> [Consulta 26 noviembre 2020].
- 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. Army Engineer Waterways Experiment Station.
- Levermann, A., Clark, P. U., Marzeion, B., Milne, G. A., Pollard, D., Radic, V., and Robinson, A., 2013. The multimillennial sea-level commitment of global warming. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 110, 13745–13750, doi:10.1073/pnas.1219414110.
- Massel, S.R., 1996. *Ocean Surface Waves: Their physics and prediction*. Advanced series on ocean engineering, vol. 11.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013. Declaración de impacto ambiental del proyecto Extracción de arena en aguas profundas de Valencia para alimentación de playas (Valencia). BOE núm 237, 3-10-2013, Sec. III 81334-81357.
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2008. Directrices sobre actuaciones en playas. [Online] Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/publicaciones/directrices_sobre_playas_tcm30-161257.pdf> [Consulta 26 noviembre 2020].
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2010. Instrucción técnica para la gestión ambiental de las extracciones marinas para la obtención de arena. [Online] Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/publicaciones/Instruccion%20Extracciones%20Arena%20rel2_tcm30-157025.pdf> [Consulta 26 noviembre 2020].
- Miteco.gob.es, 2020. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. [Online] Disponible en: <<http://miteco.gob.es/>> [Consulta 26 noviembre 2020].
- Naucher, 2020. El precio del combustible marino crece y se mantiene la diferencia entre el IFO 380 y el Vlsfo - Naucher. [Online] Disponible en: <<https://www.naucher.com/actualidad/el-precio-del-combustible-marino-crece-y-se-mantiene-la-diferencia-entre-el-ifo-380-y-el-vlsfo/>> [Consulta 26 noviembre 2020].
- Nicholls, R.J., Birkemeier, W.A., Hallermeier, R.J., 1996. Application of the depth of closure concept. En: 25th International Conference on Coastal Engineering, Reston, VA, pp. 3874–3887.
- Nicholls, R.J., Larson, M., Capobianco, M., Birkemeier, W.A., 1998. Depth of closure: improving understanding and prediction. En: 26th International Conference on Coastal Engineering, Copenhagen, Denmark, pp. 2888–2901.
- Olcina, J., 2009. Cambio climático y riesgos climáticos en España. *Investigaciones Geográficas*, nº 49 (2009) pp. 197-220.
- Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, 2020. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. [Online] Disponible en: <<https://pnoa.ign.es/>> [Consulta 26 noviembre 2020].
- Politicaterritorial.gva.es., 2020. Puertos de la Comunitat Valenciana - Generalitat Valenciana. [Online] Disponible en: <<http://politicaterritorial.gva.es/es/web/puertos/puertos-cv>> [Consulta 26 noviembre 2020].

- Puertos.es., 2020. Página Inicio | Puertos.es. [Online] Disponible en: <<http://www.puertos.es/>> [Consulta 26 noviembre 2020].
- Schellnhuber, H. J., Reyer, C., Hare, B., Waha, K., Otto, I. M., Serdeczny, O., Schaeffer, M., Schleußner, C.-F., Reckien, D., Marcus, R., Kit, O., Eden, A., Adams, S., Aich, V., Albrecht, T., Baarsch, F., Boit, A., Canales Trujillo, N., Carlsburg, M., Coumou, D., Fader, M., Hoff, H., Jobbins, G., Jones, L., Krum-menauer, L., Langerwisch, F., Le Masson, V., Ludi, E., Mengel, M., Möhring, J., Mosello, B., Norton, A., Perette, M., Perezni-eto, P., Rammig, A., Reinhardt, J., Robinson, A., Rocha, M., Sakschewski, B., Schaphoff, S., Schewe, J., Stagl, J., and Thonicke, K. (2014) Turn Down the Heat: Confronting the New Climate Normal. Washington, D.C.: The World Bank.
- Schleussner, C-F., Lissner, T.K., Fischer, E.M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., Rogelj, J., Childers, K., Schewe, J., Frieler, K., Mengel, M., Hare, W., Schaeffer, M., 2016. Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1,5°C and 2°C. Earth Syst. Dynam., 7, 327-351.
- Ship & Bunker, 2020. Shipping News and Bunker Price Indications. [Online] Disponible en: <<https://shipandbunker.com/>> [Consulta 26 noviembre 2020].
- Simulaciones y Proyectos, 2020. Clasificación climática mundial Según Köppen Geiger - Simulaciones y Proyectos. [online] Disponible en: <<https://www.simulacionesyproyectos.com/blog-ingenieria-arquitectura/clasificacion-climatica/>> [Consulta 26 noviembre 2020].
- Structuralia Blog, 2015. Las dragas marítimas más grandes del planeta. [Online] Disponible en: <<https://blog.structuralia.com/las-dragas-maritimas-mas-grandes-del-planeta>> [Consulta 26 noviembre 2020].
- U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 1984. Shore Protection Manual. Vicksburg, MS: Department of the Army, US Army Corps of engineers.
- Yepes, V., 2012. Zonificación de las playas. [Online] Disponible en: <<https://victoryepes.blogs.upv.es/2012/05/02/zonificacion-playa/>> [Consulta 26 noviembre 2020].
- Yepes, V., 2016. Dragas de succión en marcha o de arrastre. [Online] Disponible en: <<https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/11/02/dragas-succion-en-marcha/>> [Consulta 26 noviembre 2020].

ANEXO 1. RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE LONGITUDINAL

Tabla 36. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2090124 (Peñíscola).

PEÑÍSCOLA SIMAR 2090124 FRECUENCIA DE OLEAJES													
Dirección	α (°)	Hs (m)											
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
NNE	84	1,055	0,633	0,102	0,035	0,006							
NE	61	1,185	0,949	0,160	0,055	0,010	0,002						
ENE	39	5,442	5,727	1,879	0,611	0,185	0,054	0,020	0,008	0,005			
E	16	7,022	6,473	2,046	0,864	0,441	0,213	0,076	0,020	0,010	0,004		
ESE	-6	5,392	3,509	0,614	0,166	0,055	0,017	0,003					
SE	-29	6,503	2,698	0,170	0,034	0,010	0,001		0,001				
SSE	-51	6,460	3,025	0,318	0,049	0,007	0,003						
S	-74	8,135	5,574	1,170	0,223	0,046	0,008	0,001					

Tabla 37. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto 2090124 (Peñíscola).

PEÑÍSCOLA TRANSPORTE LONGITUDINAL (m ³ /año)													
Dirección	α (°)	Hs (m)											Total
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
NNE	84	447	1.517	674	474	142	0	0	0	0	0	0	3.254
NE	61	3.005	13.612	6.324	4.463	1.417	447	0	0	0	0	0	29.269
ENE	39	17.909	106.613	96.391	64.343	34.033	15.670	8.533	4.766	3.998	0	0	352.257
E	16	13.203	68.846	59.966	51.983	46.351	35.315	18.525	6.807	4.569	2.378	0	307.943
ESE (+)	-6	872	3.210	1.548	859	497	242	63	0	0	0	0	7.292
ESE (-)	-6	-3.139	-11.558	-5.573	-3.093	-1.790	-873	-226	0	0	0	0	-26.252
SE	-29	-19.110	-44.851	-7.788	-3.197	-1.643	-259	0	-532	0	0	0	-77.380
SSE	-51	-20.167	-53.420	-15.475	-4.895	-1.222	-826	0	0	0	0	0	-96.004
S	-74	-11.193	-43.383	-25.094	-9.818	-3.538	-971	-178	0	0	0	0	-94.174
												TRANSPORTE LONGITUDINAL BRUTO	993.825
												TRANSPORTE LONGITUDINAL NETO	406.206

Tabla 38. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2088123 (Arsilaga).

ARSILAGA SIMAR 2088123 FRECUENCIA DE OLAJES												
Dirección	α (°)	Hs (m)										
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0
ENE	67	2,006	1,309	0,320	0,082	0,023	0,008	0,005				
E	45	11,355	6,627	1,233	0,298	0,066	0,006					
ESE	22	9,315	4,628	0,861	0,331	0,108	0,023	0,004	0,001			
SE	0	9,284	1,919	0,094	0,017	0,002		0,001				
SSE	-23	12,202	4,291	0,265	0,020	0,001						
S	-45	4,200	1,226	0,120	0,018	0,002						
SSW	-68	0,393	0,209	0,045	0,005							

Tabla 39. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2088123 (Arsilaga).

ARSILAGA TRANSPORTE LONGITUDINAL (m ³ /año)													
Dirección	α (°)	Hs (m)											Total
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
ENE	67	4.088	15.090	10.166	5.347	2.620	1.438	1.321	0	0	0	0	40.070
E	45	37.311	123.181	63.156	31.334	12.123	1.739	0	0	0	0	0	268.844
ESE	22	22.752	63.945	32.783	25.871	14.747	4.954	1.267	442	0	0	0	166.761
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	-23	-30.807	-61.285	-10.430	-1.616	-141	0	0	0	0	0	0	-104.278
S	-45	-13.801	-22.788	-6.147	-1.893	-367	0	0	0	0	0	0	-44.996
SSW	-68	-765	-2.302	-1.366	-312	0	0	0	0	0	0	0	-4.745
												TRANSPORTE LONGITUDINAL BRUTO	629.694
												TRANSPORTE LONGITUDINAL NETO	321.656

Tabla 40. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2084118 (Burriana).

BURRIANA SIMAR 2084118 FRECUENCIA DE OLEAJES													
Dirección	α (°)	Hs (m)											
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
NE	86	1,922	0,975	0,236	0,061	0,013							
ENE	63	8,127	8,627	2,114	0,563	0,143	0,045	0,016	0,006	0,003			
E	41	8,432	6,996	2,067	0,881	0,403	0,184	0,057	0,012	0,004	0,003		
ESE	18	8,845	4,021	0,388	0,102	0,020	0,010		0,001				
SE	-4	9,281	3,489	0,109	0,016	0,002							
SSE	-27	6,070	3,070	0,267	0,025	0,002							
S	-49	2,148	0,902	0,048	0,005								
SSW	-72	1,418	0,439	0,040									

Tabla 41. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2084118 (Burriana).

BURRIANA TRANSPORTE LONGITUDINAL (m ³ /año)														
Dirección	α (°)	Hs (m)											Total	
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0		
NE	86	493	1.414	943	500	186	0	0	0	0	0	0	0	3.536
ENE	63	19.339	116.127	78.416	42.870	19.022	9.443	4.936	2.584	1.735	0	0	0	294.472
E	41	27.887	130.888	106.566	93.240	74.509	53.663	24.440	7.184	3.215	3.138	0	0	524.730
ESE	18	18.397	47.311	12.580	6.789	2.325	1.834	0	377	0	0	0	0	89.613
SE (+)	-4	1.408	2.994	258	78	17	0	0	0	0	0	0	0	4.754
SE (-)	-4	-3.218	-6.843	-589	-178	-39	0	0	0	0	0	0	0	-10.866
SSE	-27	-17.096	-48.913	-11.723	-2.253	-315	0	0	0	0	0	0	0	-80.299
S	-49	-6.860	-16.295	-2.390	-511	0	0	0	0	0	0	0	0	-26.055
SSW	-72	-2.227	-3.900	-979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7.106
TRANSPORTE LONGITUDINAL BRUTO													1.041.429	
TRANSPORTE LONGITUDINAL NETO													792.778	

Tabla 42. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2081115 (Puig).

PUIG SIMAR 2081115 FRECUENCIA DE OLAJES													
Dirección	α (°)	Hs (m)											
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
NNE	80	0,164	0,086	0,003	0,002								
NE	58	0,633	0,513	0,088	0,010	0,001							
ENE	35	3,111	1,793	0,405	0,087	0,032	0,012	0,003					
E	13	17,677	8,521	1,345	0,385	0,062	0,003	0,003	0,001				
ESE	-10	16,179	3,486	0,280	0,061	0,016	0,001						
SE	-32	9,700	2,174	0,031									
SSE	-55	0,836	0,194	0,009	0,002								
S	-77	0,633	0,043	0,001									

Tabla 43. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2081115 (Puig).

PUIG TRANSPORTE LONGITUDINAL (m ³ /año)													
Dirección	α (°)	Hs (m)											Total
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
NNE	80	130	385	37	51	0	0	0	0	0	0	0	602
NE	58	1.739	7.974	3.769	879	154	0	0	0	0	0	0	14.516
ENE	35	9.966	32.491	20.224	8.918	5.730	3.390	1.246	0	0	0	0	81.964
E	13	27.587	75.226	32.721	19.227	5.409	413	607	283	0	0	0	161.473
ESE (+)	-10	898	1.094	242	108	50	5	0	0	0	0	0	2.397
ESE (-)	-10	-18.855	-22.981	-5.087	-2.275	-1.042	-103	0	0	0	0	0	-50.342
SE	-32	-29.979	-38.008	-1.494	0	0	0	0	0	0	0	0	-69.481
SSE	-55	-2.450	-3.216	-411	-188	0	0	0	0	0	0	0	-6.264
S	-77	-685	-263	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	-965
												TRANSPORTE LONGITUDINAL BRUTO	388.004
												TRANSPORTE LONGITUDINAL NETO	133.901

Tabla 44. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2081114 (Malvarrosa).

MALVARROSA SIMAR 2081114 FRECUENCIA DE OLAJES												
Dirección	α (°)	Hs (m)										
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0
N	84	0,191	0,060	0,013	0,003							
NNE	61	0,297	0,168	0,043	0,003	0,003						
NE	39	1,809	1,126	0,300	0,073	0,025	0,002	0,001	0,001			
ENE	16	9,966	10,294	2,695	0,856	0,293	0,108	0,024	0,012	0,003		
E	-6	9,700	7,072	1,302	0,417	0,146	0,044	0,009				
ESE	-29	10,986	4,767	0,211	0,026	0,006	0,001					
SE	-51	7,298	3,309	0,112	0,004							
SSE	-74	0,796	0,216	0,006	0,002							

Tabla 45. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2081114 (Malvarrosa).

MALVARROSA TRANSPORTE LONGITUDINAL (m ³ /año)													
Dirección	α (°)	Hs (m)											Total
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
N	84	81	144	86	41	0	0	0	0	0	0	0	351
NNE	61	753	2.410	1.700	243	425	0	0	0	0	0	0	5.531
NE	39	5.953	20.961	15.390	7.687	4.599	580	427	596	0	0	0	56.194
ENE	16	18.738	109.486	78.988	51.502	30.796	17.906	5.850	4.084	1.371	0	0	318.720
E (+)	-6	1.640	6.764	3.432	2.256	1.380	656	197	0	0	0	0	16.326
E (-)	-6	-5.576	-22.999	-11.668	-7.671	-4.692	-2.231	-671	0	0	0	0	-55.508
ESE	-29	-32.284	-79.245	-9.666	-2.445	-986	-259	0	0	0	0	0	-124.886
SE	-51	-22.783	-58.435	-5.450	-400	0	0	0	0	0	0	0	-87.068
SSE	-74	-1.095	-1.681	-129	-88	0	0	0	0	0	0	0	-2.993
TRANSPORTE LONGITUDINAL BRUTO												667.577	
TRANSPORTE LONGITUDINAL NETO												126.668	

Tabla 46. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2081112 (El Saler).

EL SALER SIMAR 2081112 FRECUENCIA DE OLEAJES													
Dirección	α (°)	Hs (m)											
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
N	74	0,331	0,087	0,028	0,005								
NNE	52	0,535	0,264	0,098	0,018	0,004	0,003						
NE	29	3,735	3,134	0,760	0,230	0,083	0,027	0,010	0,005	0,005	0,002		
ENE	7	10,968	13,056	4,150	1,367	0,535	0,237	0,080	0,021	0,005	0,004	0,001	
E	-16	9,467	5,188	0,576	0,126	0,035	0,008						
ESE	-38	10,419	3,734	0,080	0,008	0,001		0,001					
SE	-61	2,923	0,873	0,051									
SSE	-83	0,337	0,051	0,003									

Tabla 47. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2081112 (El Saler).

EL SALER TRANSPORTE LONGITUDINAL (m ³ /año)													
Dirección	α (°)	Hs (m)											Total
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
N	74	455	677	601	220	0	0	0	0	0	0	0	1.953
NNE	52	1.648	4.599	4.705	1.774	689	815	0	0	0	0	0	14.229
NE	29	10.976	52.099	34.815	21.629	13.635	6.997	3.810	2.660	3.571	1.859	0	152.049
ENE (+)	7	7.765	52.285	45.798	30.968	21.172	14.795	7.342	2.691	860	895	224	184.795
ENE (-)	7	-1.725	-11.619	-10.177	-6.882	-4.705	-3.288	-1.632	-598	-191	-199	-50	-41.066
E	-16	-17.800	-55.179	-16.882	-7.581	-3.679	-1.326	0	0	0	0	0	-102.447
ESE	-38	-34.130	-69.193	-4.085	-839	-183	0	-425	0	0	0	0	-108.855
SE	-61	-7.412	-12.522	-2.016	0	0	0	0	0	0	0	0	-21.950
SSE	-83	-173	-148	-24	0	0	0	0	0	0	0	0	-344
												TRANSPORTE LONGITUDINAL BRUTO	627.689
												TRANSPORTE LONGITUDINAL NETO	78.365

Tabla 48. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2082110 (San Antonio).

SAN ANTONIO SIMAR 2082110 FRECUENCIA DE OLEAJES													
Dirección	α (°)	Hs (m)											
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
N	87	0,490	0,132	0,039	0,014	0,001							
NNE	65	1,030	0,551	0,180	0,056	0,010	0,003	0,002					
NE	42	6,289	7,114	2,201	0,715	0,339	0,173	0,053	0,022	0,012	0,005	0,003	
ENE	20	8,849	10,257	3,537	1,172	0,464	0,195	0,084	0,027	0,004		0,003	
E	-3	7,727	4,416	0,490	0,083	0,029	0,005						
ESE	-25	9,565	3,738	0,091	0,006		0,001						
SE	-48	2,628	0,822	0,045									
SSE	-70	0,400	0,059	0,003									

Tabla 49. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2082110 (San Antonio).

SAN ANTONIO TRANSPORTE LONGITUDINAL (m ³ /año)													
Dirección	α (°)	Hs (m)											Total
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
N	87	88	134	109	80	10	0	0	0	0	0	0	421
NNE	65	2.280	6.898	6.210	3.966	1.237	585	574	0	0	0	0	21.751
NE	42	20.809	133.153	113.523	75.704	62.703	50.476	22.734	13.177	9.648	5.232	3.139	510.297
ENE	20	20.067	131.579	125.035	85.049	58.821	38.995	24.695	11.084	2.204	0	2.151	499.681
E (+)	-3	1.052	3.401	1.040	362	221	60	0	0	0	0	0	6.136
E (-)	-3	-1.841	-5.952	-1.820	-633	-386	-105	0	0	0	0	0	-10.737
ESE	-25	-25.617	-56.633	-3.799	-514	0	-236	0	0	0	0	0	-86.800
SE	-48	-8.470	-14.987	-2.261	0	0	0	0	0	0	0	0	-25.718
SSE	-70	-705	-588	-82	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.375
												TRANSPORTE LONGITUDINAL BRUTO	1.162.916
												TRANSPORTE LONGITUDINAL NETO	913.655

Tabla 50. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2083108 (Oliva).

OLIVA SIMAR 2083108 FRECUENCIA DE OLEAJES													
Dirección	α (°)	Hs (m)											
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
NNW	75	0,743	0,119	0,025	0,006	0,002							
N	52	0,727	0,194	0,050	0,019	0,005							
NNE	30	1,564	0,965	0,314	0,108	0,027	0,009	0,008	0,001				
NE	7	8,855	11,327	4,266	1,466	0,662	0,288	0,098	0,043	0,013	0,003	0,008	
ENE	-15	8,611	7,472	1,695	0,409	0,123	0,038	0,010	0,002				
E	-38	7,461	2,918	0,155	0,024	0,006	0,002						
ESE	-60	7,732	1,013	0,006	0,001								
SE	-83	1,299	0,263	0,001									

Tabla 51. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2083108 (Oliva).

OLIVA TRANSPORTE LONGITUDINAL (m ³ /año)													
Dirección	α (°)	Hs (m)											Total
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
NNW	75	949	860	498	245	143	0	0	0	0	0	0	2.696
N	52	2.239	3.380	2.400	1.873	861	0	0	0	0	0	0	10.753
NNE	30	4.682	16.342	14.653	10.346	4.518	2.376	3.105	542	0	0	0	56.563
NE (+)	7	6.329	45.799	47.533	33.531	26.452	18.153	9.081	5.564	2.258	678	1.808	197.186
NE (-)	7	-1.332	-9.642	-10.007	-7.059	-5.569	-3.822	-1.912	-1.171	-475	-143	-381	-41.513
ENE	-15	-15.295	-75.075	-46.931	-23.247	-12.213	-5.952	-2.303	-643	0	0	0	-181.657
E	-38	-24.441	-54.072	-7.915	-2.516	-1.099	-578	0	0	0	0	0	-90.620
ESE	-60	-20.176	-14.953	-244	-84	0	0	0	0	0	0	0	-35.457
SE	-83	-665	-762	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.435
												TRANSPORTE LONGITUDINAL BRUTO	617.880
												TRANSPORTE LONGITUDINAL NETO	-83.486

Tabla 52. Frecuencia de oleaje del punto SIMAR 2085107 (Les Deveses).

LES DEVESES SIMAR 2085107 FRECUENCIA DE OLEAJES												
Dirección	α (°)	Hs (m)										
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0
NW	68	2,581	0,679	0,184	0,045	0,010	0,002					
NNW	45	1,368	0,339	0,069	0,022	0,011	0,003					
N	23	0,983	0,504	0,099	0,057	0,028	0,010	0,002				
NNE	0	1,909	1,996	0,739	0,316	0,098	0,028	0,018	0,010	0,002		
NE	-22	7,574	11,413	5,042	1,832	0,798	0,361	0,190	0,077	0,031	0,011	0,011
ENE	-45	5,840	5,715	1,430	0,422	0,152	0,051	0,023	0,003			
E	-67	5,681	3,816	0,527	0,095	0,032	0,008	0,001				

Tabla 53. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2085107 (Les Deveses).

LES DEVESES TRANSPORTE LONGITUDINAL (m ³ /año)													
Dirección	α (°)	Hs (m)											Total
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
NW	68	5.026	7.480	5.586	2.804	1.089	343	0	0	0	0	0	22.328
NNW	45	4.495	6.301	3.534	2.313	2.021	869	0	0	0	0	0	19.534
N	23	2.482	7.198	3.896	4.605	3.952	2.226	655	0	0	0	0	25.014
NNE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NE	-22	-18.500	-157.694	-191.976	-143.191	-108.961	-77.755	-60.164	-34.045	-18.400	-8.496	-8.496	-827.679
ENE	-45	-19.189	-106.229	-73.247	-44.372	-27.920	-14.777	-9.798	-1.784	0	0	0	-297.317
E	-67	-11.577	-43.991	-16.742	-6.195	-3.646	-1.438	-264	0	0	0	0	-83.853
												TRANSPORTE LONGITUDINAL BRUTO	1.275.725
												TRANSPORTE LONGITUDINAL NETO	-1.141.973

ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN DE PLAYAS DE LA COSTA VALENCIANA

Tabla 54. Caracterización de playas de la costa valenciana.

Nombre	Tipo de playa	Tipo de sedimento	D ₅₀ (mm)	Nombre	Tipo de playa	Tipo de sedimento	D ₅₀ (mm)
Cala de Les Llanetes	Semiurbana	Grava / Bolos	0	Playa de Venecia	En difracción	Arenas finas	0,23
Cala del Faro de Cullera	Encajada	Arenas medias	0,27	Playa del Arenal	Urbana	Bolos / Grava / Arena	0,4049
Cala SN	Semiurbana	Grava / Arena	0,7633	Playa del Capicorb	Semiurbana	Bolos	0
Playa de Corinto	Abierta	Arenas gruesas	0,26	Playa del Delta de Palancia	Frente deltaico	Arenas medias	0,28
Playa Almadrava	Urbana	Arena	0,3208	Playa del Dosel	Abierta	Arenas finas	0,23
Playa Cala Arsilaga	Aislada	Bolos / Grava / Arena	0,75	Playa del Estany	De bolsillo	Arenas medias	0,3
Playa Campanar	Semiurbana	Bolos / Grava / Arena	0,4517	Playa del Fortí	Urbana	Arena	0,5643
Playa Casablanca	Urbana	Roca / Grava / Arena	0,8179	Playa del Grao de Gandía	Apoyada	Arenas finas	0,21
Playa Cosis	Semiurbana	Bolos / Grava / Arena	0,505	Playa del Gurugú	Urbana	Bolos / Grava / Arena	1,023
Playa Cudolá	Aislada	Grava	0	Playa del Gurugú	Semiurbana	Arena	0,1817
Playa de agua Oliva	Semiurbana	Grava / Bolos	0,524	Playa del Mar	Abierta con espigones	Arenas medias	0,47
Playa de Alboraya-Port Sa Playa	Abierta	Arenas finas	0,17	Playa del Mareny	Abierta	Arenas medias	0,29
Playa de Almará	Abierta	Arenas medias	0,28	Playa del Marenyet	Abierta	Arenas medias	0,26
Playa de Bellreguard	Abierta	Arenas finas	0,21	Playa del Masbo	Urbana	Bolos / Arena	0,6413
Playa de Ben Afeli	Urbana	Grava	0,6913	Playa del Perelló	Abierta	Arenas medias	0,27
Playa de Cabañal-Malvarrosa	Apoyada	Arenas finas	0,17	Playa del Pinar	Urbana	Arena	0,2045
Playa de Canet de Berenguer	Apoyada	Arenas finas	0,2	Playa del Puerto de Sagunto	Apoyada	Arenas finas	0,19
Playa de Daimuz	Abierta	Arenas finas	0,23	Playa del Puntal I	Urbana	Grava / Arena	0,9727
Playa de El Dorado	Abierta	Arenas medias	0,4	Playa del Racó	En difracción	Arenas finas	0,19
Playa de Fora Forat	Urbana	Arena	0,399	Playa del Recatí	Abierta	Arenas finas	0,23
Playa de Jaraco	Abierta	Arenas medias	0,26	Playa del Rey	Abierta	Arenas medias	0,26
Playa de la Alboraya	Abierta	Arenas finas	0,18	Playa del Russo	Aislada	Arena	0,399
Playa de la Barbiguera	Semiurbana	Bolos / Grava / Arena	1,0023	Playa del Saler	Abierta	Arenas medias	0,48
Playa de la Concha	Urbana	Arena	0,2882	Playa del Serradal	Semiurbana	Bolos	0
Playa de la Dehesa	Abierta	Arenas medias	0,31	Playa del Serradal	Semiurbana	Arena	0,3392
Playa de La Renega	Aislada	Roca	0	Playa del Triador	Semiurbana	Arena	1,6517
Playa de La Torre	Urbana	Grava / Arena	0,2826	Playa El Carregador	Urbana	Arena	0,2268

Nombre	Tipo de playa	Tipo de sedimento	D ₅₀ (mm)	Nombre	Tipo de playa	Tipo de sedimento	D ₅₀ (mm)
Playa de L'Ahuir	Abierta	Arenas finas	0,23	Playa El Cerezo	Semiurbana	Bolos / Grava / Arena	0,797
Playa de las Palmeras	Abierta	Arenas finas	0,24	Playa El Estanyol	Semiurbana	Bolos / Grava / Arena	1,0267
Playa de Las Playetas	Urbana	Arena	0,192	Playa El Grau	Urbana	Bolos / Arena	2,514
Playa de las Viudas	Semiurbana	Grava / Arena	0,3903	Playa El Moro	Semiurbana	Bolos / Arena	0,3533
Playa de L'Illa	Encajada	Arenas finas	0,21	Playa Els Amplaries	Urbana	Grava / Arena	1,0661
Playa de Massalfasar	Escollerado	Gravas	0	Playa Els Terrers	Urbana	Arena	0,14
Playa de Meliana	Apoyada	Arenas medias	0,36	Playa La Llosa	Aislada	Bolos / Grava / Arena	1,614
Playa de Miramar	Abierta	Arenas medias	0,25	Playa La Romana	Urbana	Arena	0,2053
Playa de Morro de Gos	Urbana	Grava / Arena	0,9554	Playa La Torre	Aislada	Bolos / Arena	0
Playa de Morrongo	Urbana	Arena	0,7003	Playa Las Casas	Urbana	Bolos / Grava / Arena	0,4428
Playa de Nules	Urbana	Bolos / Grava / Arena	2,3869	Playa Las Fuentes	Urbana	Arena	0,1937
Playa de Oliva-L'Aigua Blanca	Abierta	Arenas finas	0,2	Playa Les Deveses	Semiurbana	Grava / Bolos	0
Playa de Oliva-Les Deveses	Abierta	Arenas finas	0,24	Playa Mañetes o Tropicana	Semiurbana	Bolos / Grava / Arena	0,6917
Playa de Oliva-Pau Pi	Abierta	Arenas finas	0,21	Playa Mar Chica	Semiurbana	Bolos / Grava / Arena	0,3584
Playa de Oliva-Rabdels	Abierta	Arenas finas	0,22	Playa Norte de Peñíscola	Urbana	Arena	0,4554
Playa de Oliva-Terranova	Abierta	Arenas finas	0,23	Playa Norte de Torreblanca	Semiurbana	Bolos	0
Playa de Oropesa Vieja	Semiurbana	Arena	0,1917	Playa Pedra Roja	Urbana	Grava / Arena	3,6557
Playa de Piles	Abierta	Arenas finas	0,24	Playa Río Cervol	Urbana	Grava / Bolos	0
Playa de Pinedo	Abierta	Arenas gruesas	0,58	Playa Sud de Benicasim	Urbana	Grava / Arena	1,1418
Playa de Pobla de Farnals Sur	Abierta con espigones	Arenas finas	0,19	Playa Sur de Peñíscola	Urbana	Arena	0,1383
Playa de Puig	Abierta con espigones	Arenas finas	0,21	Playa Sur de Sagunto	Vertido cenizas	Arenas medias	0,47
Playa de San Antonio	Encajada	Arenas finas	0,19	Playa Sur de Torreblanca	Aislada	Bolos / Grava / Arena	0,0988
Playa de San Lorenzo	Abierta	Arenas finas	0,25	Playa Sur de Vinaroz	Urbana	Arena	0,26
Playa de Tabernes de Valldigna	Abierta	Arenas medias	0,34	Playa Torre de la Sal	Semiurbana	Bolos / Arena	1,3957
Playa de Tamarit	Aislada	Bolos	0	Playa Torre Sant Vicent	Urbana	Arena	0,188
Playa de Torrenostra	Urbana	Arena	0,184				

Fuente: Plan de Ecocartografías del litoral español (2006).

ANEXO 3. ZONIFICACIÓN POR TRAMOS

Tramo 1. Delta del Ebro – Puerto de Peñíscola

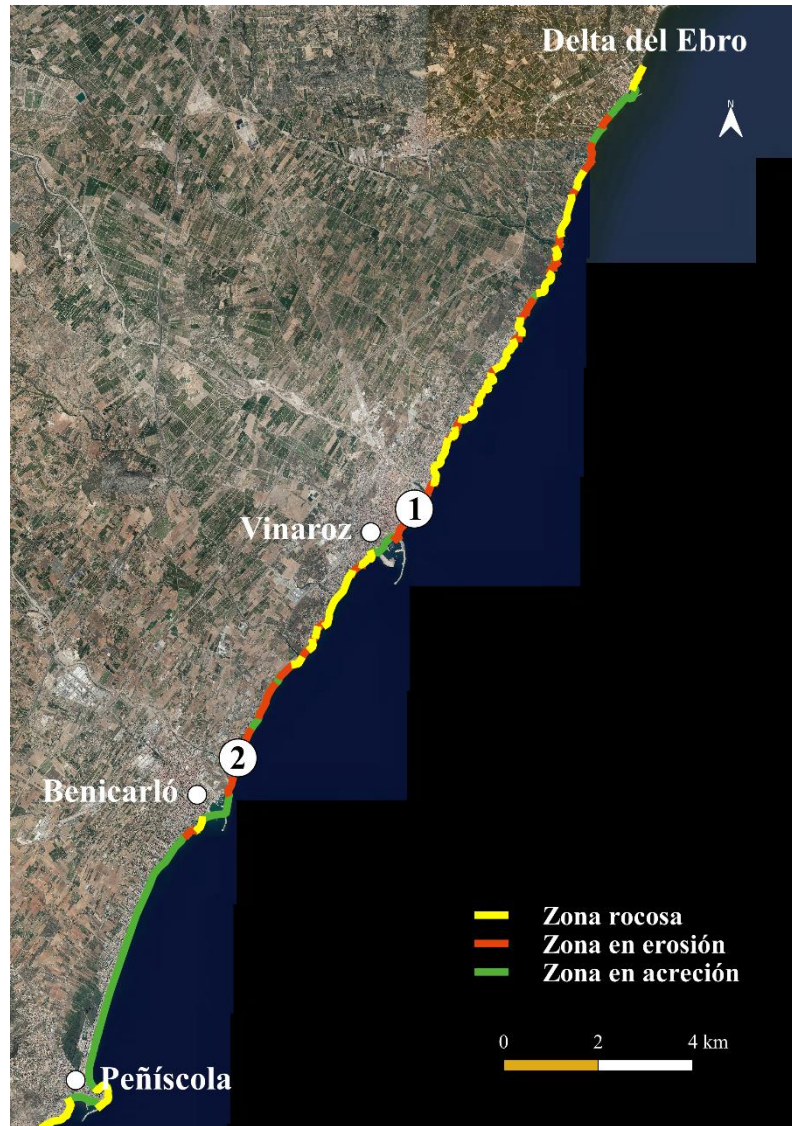


Figura 96. Zonificación del Tramo 1. Fuente: PNOA (2020).

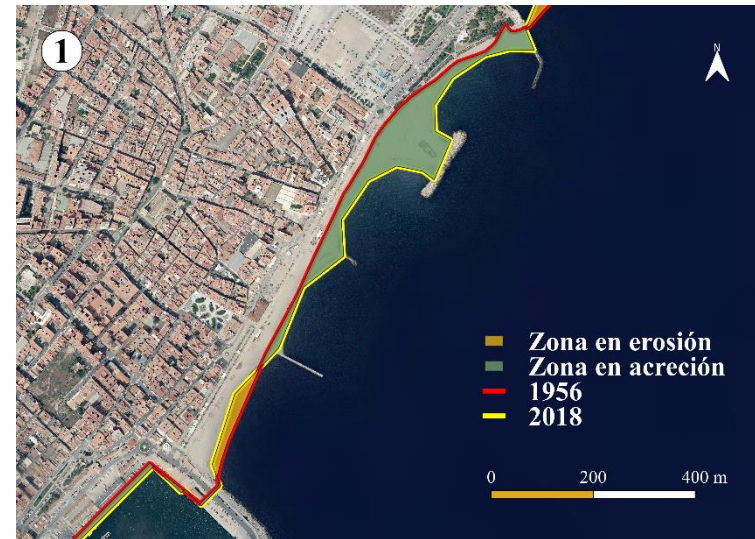


Figura 94. Detalle 1 del Tramo 1. Fuente: PNOA (2020).



Figura 95. Detalle 2 del Tramo 1. Fuente: PNOA (2020).

Tramo 2. Puerto de Peñíscola – Puerto de Castellón

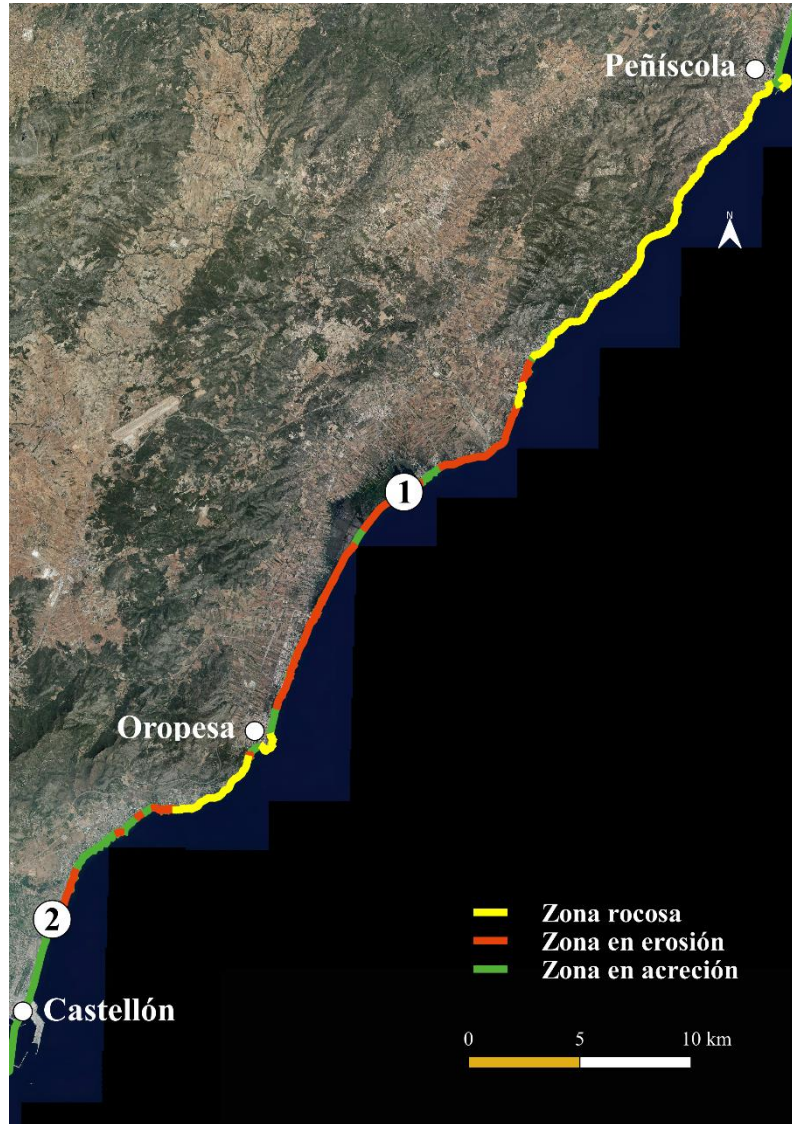


Figura 99. Zonificación del Tramo 2. Fuente: PNOA (2020).



Figura 97. Detalle 1 del Tramo 2. Fuente: PNOA (2020).



Figura 98. Detalle 2 del Tramo 2. Fuente: PNOA (2020).

Tramo 3. Puerto de Castellón – Puerto de Burriana



Figura 102. Zonificación del Tramo 3. Fuente: PNOA (2020).

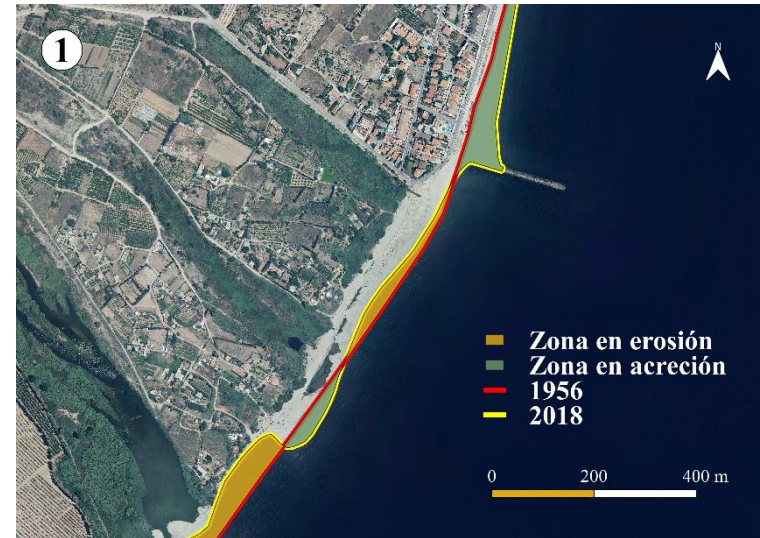


Figura 100. Detalle 1 del Tramo 3. Fuente: PNOA (2020).



Figura 101. Detalle 2 del Tramo 3. Fuente: PNOA (2020).

Tramo 4. Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto



Figura 105. Zonificación del Tramo 4. Fuente: PNOA (2020).

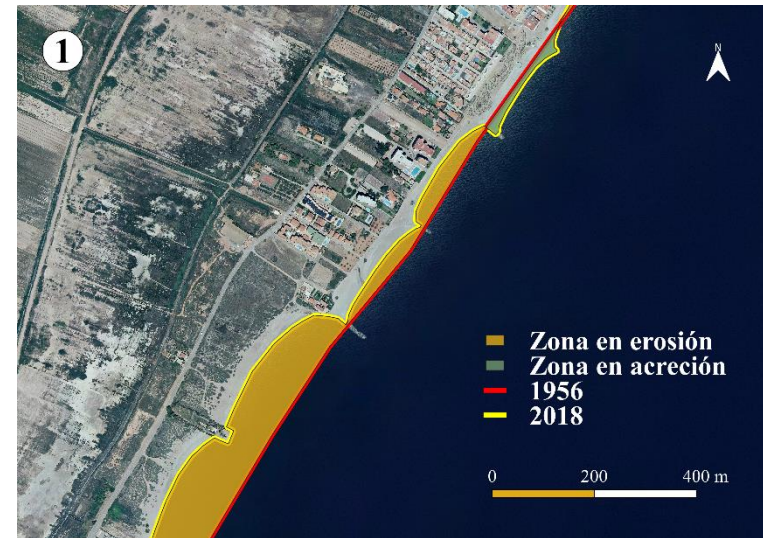


Figura 103. Detalle 1 del Tramo 4. Fuente: PNOA (2020).



Figura 104. Detalle 2 del Tramo 4. Fuente: PNOA (2020).

Tramo 5. Puerto de Sagunto – Puerto de Valencia



Figura 108. Zonificación del Tramo 5. Fuente: PNOA (2020).

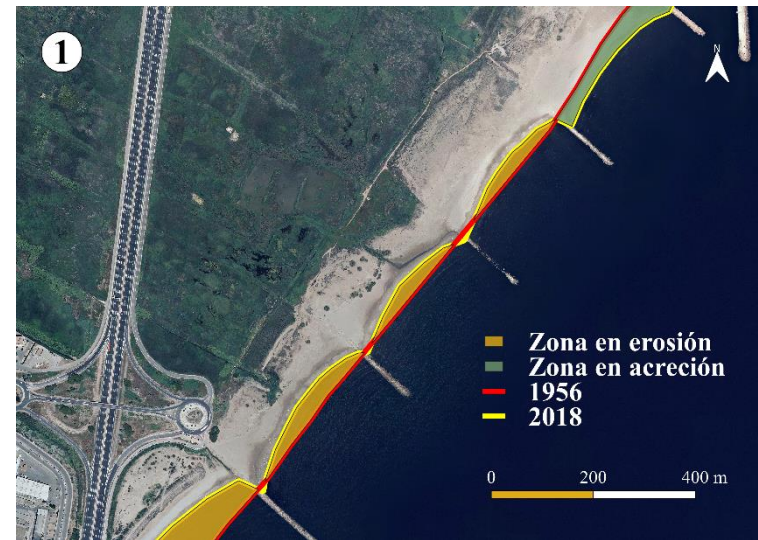


Figura 106. Detalle 1 del Tramo 5. Fuente: PNOA (2020).



Figura 107. Detalle 2 del Tramo 5. Fuente: PNOA (2020).

Tramo 6. Puerto de Valencia – Puerto de Cullera



Figura 111. Zonificación del Tramo 6. Fuente: PNOA (2020).



Figura 109. Detalle 1 del Tramo 6. Fuente: PNOA (2020).



Figura 110. Detalle 2 del Tramo 6. Fuente: PNOA (2020).

Tramo 7. Puerto de Cullera – Puerto de Gandía

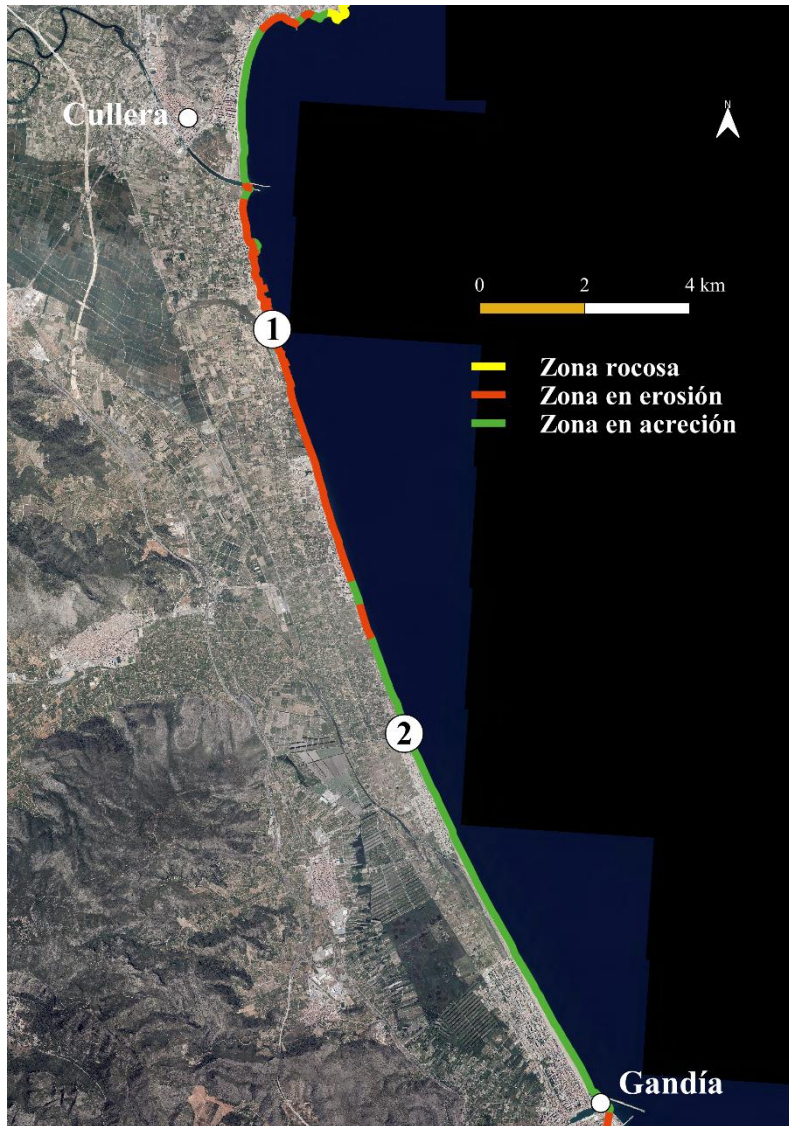


Figura 114. Zonificación del Tramo 7. Fuente: PNOA (2020).

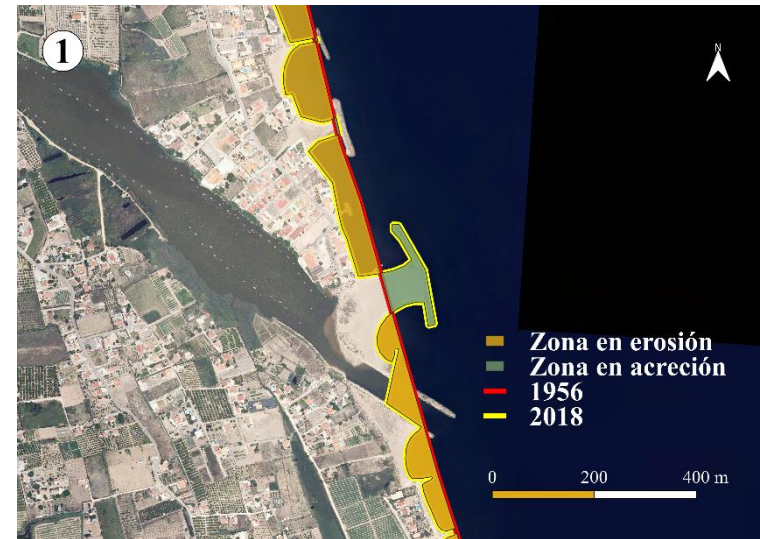


Figura 112. Detalle 1 del Tramo 7. Fuente: PNOA (2020).



Figura 113. Detalle 2 del Tramo 7. Fuente: PNOA (2020).

Tramo 8. Puerto de Gandía – P.D. La Goleta (Oliva)



Figura 117. Zonificación del Tramo 8. Fuente: PNOA (2020).

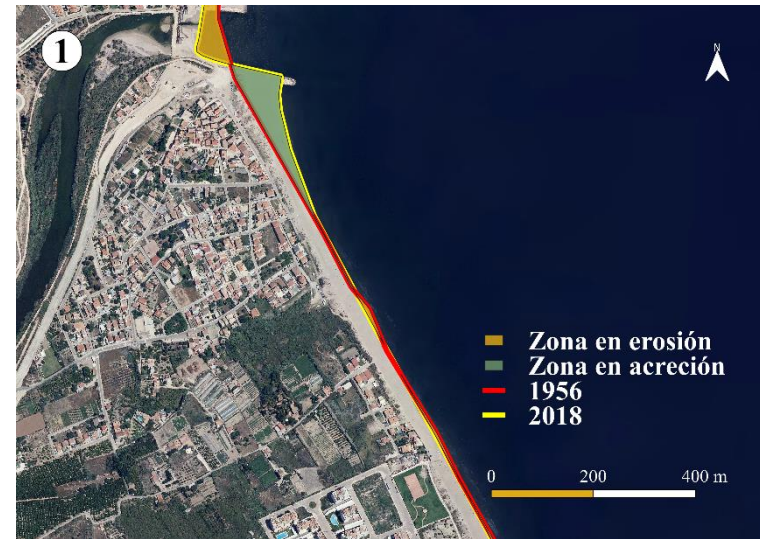


Figura 115. Detalle 1 del Tramo 8. Fuente: PNOA (2020).



Figura 116. Detalle 2 del Tramo 8. Fuente: PNOA (2020).

Tramo 9. P.D. La Goleta (Oliva) – Puerto de Denia

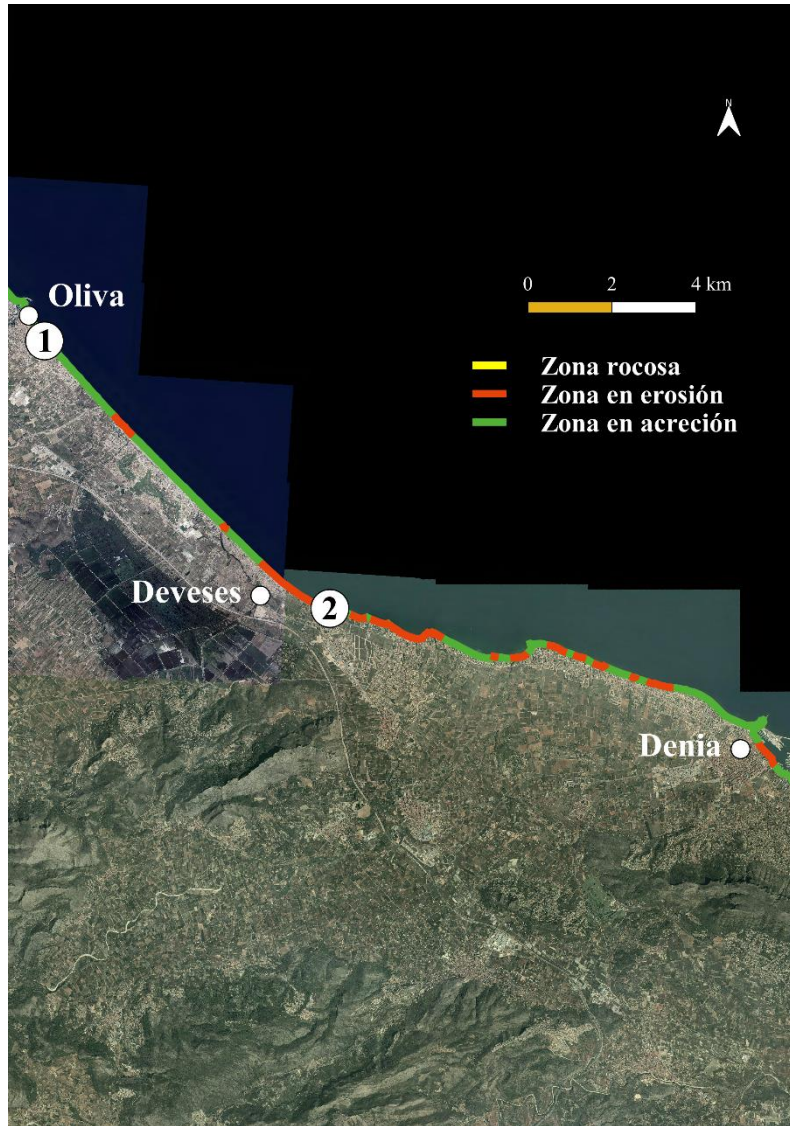


Figura 120. Zonificación del Tramo 9. Fuente: PNOA (2020).



Figura 119. Detalle 1 del Tramo 9. Fuente: PNOA (2020).



Figura 118. Detalle 2 del Tramo 9. Fuente: PNOA (2020).

ANEXO 4. PROGRAMA DE TRABAJOS

Id	Nombre	Duración	2022												2023													
			T3 '21 jul	ago	sep	T4 '21 oct	nov	dic	T1 '22 ene	feb	mar	T2 '22 abr	may	jun	T3 '22 jul	ago	sep	T4 '22 oct	nov	dic	T1 '23 ene	feb	mar	T2 '23 abr	may	jun	T3 '23 jul	ago
1	Dragado del Tramo 6. Puerto de Valencia - Puerto de Cullera	92 días				04/10																						
2	Dragado del Tramo 7. Puerto de Cullera - Puerto de Gandía	44 días					04/01																					
3	Dragado del Tramo 9. P.D. La Goleta (Oliva) - Puerto de Denia	11 días							17/02																			
4	Dragado del Tramo 8. Puerto de Gandía - P.D. La Goleta (Oliva)	12 días						28/02																				
5	Dragado del Tramo 1. Delta del Ebro - Puerto de Peñíscola	23 días								12/03																		
6	Dragado del Tramo 2. Puerto de Peñíscola - Puerto de Castellón	125 días									04/04																	
7	Dragado del Tramo 3. Puerto de Castellón - Puerto de Burriana	54 días										07/08																
8	Dragado del Tramo 4. Puerto de Burriana - Puerto de Sagunto	157 días											30/09															
9	Dragado del Tramo 5. Puerto de Sagunto - Puerto de Valencia	56 días																			06/03							30/04

ANEXO 5. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Relación del TFM “Estudio de la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Tabla 55. Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

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	

ODS 5. Igualdad de género.

Pese a no ser un objetivo que pueda relacionarse de forma directa con el presente estudio, es cierto que, a lo largo de la historia, el porcentaje de hombres dedicados al ámbito de la ingeniería ha sido muchísimo mayor que el de mujeres. Aunque esta situación ha ido cambiando en los últimos años, se debe seguir alentando a las féminas y potenciar su matriculación en estudios más técnicos.

ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.

Se plantea una actuación que, de llevarse a cabo, incidirá directa e indirectamente en el trabajo y el crecimiento económico. Por una parte, las operaciones de dragado y regeneración de playas generarán numerosos puestos de trabajo (redacción de proyecto, dirección facultativa, operarios, etc.), todos ellos bajo las condiciones laborales pertinentes. Por otra parte, el objetivo principal del estudio es la recuperación de las playas de la costa valenciana, elementos que tienen una componente económica muy importante. El turismo es uno de los sectores más relevantes tanto a nivel comunitario como nacional y, si las playas se encuentran en buen estado, esta actividad se verá favorecida.

ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.

Desde hace años el litoral valenciano se enfrenta a graves problemas erosivos para los que se han ido construyendo numerosas obras de defensa como medida urgente. Sin embargo, estas no son más que soluciones locales a muy corto plazo. La estrategia propuesta en este estudio comprende un ámbito de actuación muy extenso y requiere grandes recursos económicos y de tiempo, pero se trata de una solución real y efectiva a largo plazo que evitará los continuos “parches” y beneficiará tanto a las generaciones presentes como futuras.

ODS 13. Acción por el clima.

El cambio climático es una gran amenaza medioambiental. La propuesta de actuación no es en sí una medida para combatirlo, pero sí se han estudiado sus efectos en relación con la ingeniería de costas. El calentamiento global lleva asociada una subida del nivel del mar que se debe tener en cuenta de cara a la regeneración de la costa. Para asegurar que los trabajos realizados sean eficientes a largo plazo y favorecer la sostenibilidad de los mismos, este es un importante aspecto a considerar.

ODS 14. Vida submarina.

El desarrollo sostenible incluye utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos ya que son una de las bases fundamentales de nuestra existencia y protegerlos debe ser una prioridad. Este objetivo quizás está más enfocado a la contaminación de las aguas y la acidificación de los océanos que afectan a los ecosistemas y a la biodiversidad. Sin embargo, resulta evidente que los trabajos de dragado y regeneración 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.

ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.

Todas las partes implicadas en el desarrollo de esta actuación, ya sean organismos o empresas, han de estar comprometidas con los objetivos del desarrollo sostenible y cooperar entre sí para asegurar su consecución.