



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio de la regeneración de las playas entre el Puerto de
Valencia y el Faro de Cullera, provincia de Valencia.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Millán Roldán, María del Carmen

Tutor/a: Medina Folgado, Josep Ramon

Cotutor/a: Molines Llodrá, Jorge

Cotutor/a: Gómez Martín, María Esther

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



Contenido

1. Antecedentes y objetivos	7
2. Estudios previos	9
2.1. Climatología	9
2.2. Oleaje	9
2.2.1. Fuentes de datos	9
2.2.2. Caracterización del régimen medio.....	11
2.2.3. Caracterización del régimen extremal	21
2.2.4. Conclusiones.....	24
2.3. Profundidad de cierre	24
2.4. Cambio climático.....	25
2.5. Transporte sedimentario fluvial.....	28
3. Descripción de las playas por tramos.....	29
3.1. Tramo 1: Desembocadura del río Turia – Segundo espigón de Pinedo	30
3.2. Tramo 2: Segundo espigón de Pinedo – Gola de Pujol	31
3.3. Tramo 3: Gola de Pujol – Gola del Perellonet	33
3.4. Tramo 4: Gola del Perellonet – Puerto del Perelló	34
3.5. Tramo 5: Puerto del Perelló – Gola del Rey	35
3.6. Tramo 6: Gola del Rey – Faro de Cullera.....	37
3.7. Conclusión	37
4. Volumen necesario para regenerar las playas	38
4.1. Volumen de erosiones localizadas	38
4.2. Volumen de erosión generalizada por subida del nivel medio del mar.....	40
4.3. Transporte longitudinal de sedimentos	42
4.4. Volumen total	46
5. Banco de arena de aguas profundas de Cullera.....	46
5.1. Volumen apto de extracción	48
5.2. Granulometría	49
5.3. Compatibilidad con el tramo de estudio.....	50
6. Estudio técnico y económico de la extracción de arena	50
6.1. Elección del equipo de dragado	50
6.2. Ciclo de trabajo	53
6.3. Producción y tiempo de dragado	54
6.4. Estudio económico de la extracción de arena	60
6.4.1. Movilización / Desmovilización	60

6.4.2. Costes de capital.....	61
6.4.3. Costes operativos	62
6.4.4. Gastos Generales.....	65
6.4.5. Beneficios	65
6.4.6. Conclusión	65
7. Acondicionamiento de las playas.....	65
7.1. Perfil de diseño de la playa	67
7.2. Metodología.....	69
7.3. Monitorización	73
8. Planificación de trabajos	74
9. Consideraciones ambientales	74
9.1. Impactos previsibles.....	74
9.2. Medidas preventivas y correctoras.....	77
9.3. Programa de Vigilancia Ambiental	78
9.4. Regeneración de playas	79
10. Conclusiones.....	81
11. Referencias.....	83
Anejo 1. Resultados del transporte longitudinal de sedimentos	86
Anejo 2. Perfiles a regenerar	88
Anejo 3. Programa de trabajos	93
Anejo 4. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	95

Índice de figuras

Figura 1. Localización e información de la Boya de Valencia.	10
Figura 2. Localización e información de los puntos SIMAR.	11
Figura 3. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2081113.	12
Figura 4. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2081113.	13
Figura 5. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2081113.	13
Figura 6. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2081112.	14
Figura 7. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2081112.	15
Figura 8. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2081112.	16
Figura 9. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2081111.	16
Figura 10. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2081111.	17
Figura 11. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2081111.	18
Figura 12. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2083111.	18
Figura 13. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2083111.	19
Figura 14. Frecuencias anuales por altura de ola y dirección de procedencia en el punto SIMAR 2083111.	20
Figura 15. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2083111.	21
Figura 16. Régimen extremal escalar del oleaje de la Boya de Valencia.	22
Figura 17. Valores y parámetros del régimen extremal escalar del oleaje de la Boya de Valencia.	23
Figura 18. Rosa de altura significativa de la Boya de Valencia.	23
Figura 19. Aumento de emisiones de gases de efecto invernadero entre 1850 y 2019.	26
Figura 20. Proyecciones de las variaciones de la temperatura superficial (izquierda) y del nivel medio del mar (derecha).	27
Figura 21. Aumento del nivel del mar en el periodo 2026-2045 respecto al nivel de 1985-2005 para los escenarios RCP4,5 (izquierda) y RCP8,5 (derecha).	28
Figura 22. Elementos que delimitan los tramos a caracterizar.	30
Figura 23. Comparación de las líneas de costa de 1956 - 1957 y 2018 en el Tramo 1.	31
Figura 24. Vista aérea de la urbanización la Casbah (izquierda) y paseo derrumbado de la Casbah tras la borrasca Gloria (derecha).	32
Figura 25. Comparación de las líneas de costa de 1956 - 1957 y 2018 en el Tramo 2.	32
Figura 26. Evolución de la superficie del lago de l'Albufera de Valencia.	33
Figura 27. Comparación de las líneas de costa de 1956 - 1957 y 2018 en el Tramo 3.	34
Figura 28. Comparación de las líneas de costa de 1956 - 1957 y 2018 en el Tramo 4.	35
Figura 29. Comparación de las líneas de costa de 1956 - 1957 y 2018 en el Tramo 5.	36
Figura 30. Comparación de las líneas de costa de 1956 - 1957 y 2018 en el Tramo 6.	37
Figura 31. Evolución de la superficie de las playas entre 1965 hasta 2021 (m2).	38
Figura 32. Altura de berma (h) y profundidad de cierre (d).	39
Figura 33. Puntos dónde se ha medido la distancia entre la costa de 1956-1957 y la de 2018 (izquierda: subtramo 1, derecha: subtramo 2).	39
Figura 34. Variables de Bruun.	40
Figura 35. Puntos donde se ha medido la distancia hasta la cota -5 en el tramo de actuación.	41
Figura 36. Esquema de composición del oleaje y del transporte de sedimentos generado.	43

Figura 37. Tipos de transporte longitudinal de sedimentos.	43
Figura 38. Relación de ángulos para el cálculo de transporte longitudinal.	46
Figura 39. Carta náutica y localización del yacimiento.	47
Figura 40. Clasificación de las dragas.	51
Figura 41. Draga de succión en marcha.	51
Figura 42. Curvas de carga de una draga de succión en marcha según el tipo de suelo.	57
Figura 43. Relación entre V_0 y el volumen de la cántara.	62
Figura 44. Zonificación del perfil de costa atendiendo a sus características morfodinámicas.	66
Figura 45. Perfil de barra y de berma según la clasificación de Johnson (1949), Iwagaki y Noda (1962) y Nayak (1970).	67
Figura 46. Localización del perfil Parador.	68
Figura 47. Perfiles batimétricos entre 1992 y 1997.	68
Figura 48. Perfil de los ecosistemas de la Devesa.	69
Figura 49. Rastro de tortuga marina.	70
Figura 50. Captadores de espartina para la regeneración dunar.	71
Figura 51. Croquis de perfil a regenerar.	73
Figura 52. Rutas de transporte del material extraído respecto a zonas de tráfico anual de barcos.	77
Figura 53. Ubicación de los perfiles actuales.	89

Índice de tablas

Tabla 1. Frecuencia de alturas de ola superiores a 2 metros en el punto SIMAR 2083111.	20
Tabla 2. Valores de profundidad de cierre en playas valencianas para periodos de retorno de 20 años.	25
Tabla 3. Profundidad de cierre en distintos puntos de la zona de estudio en régimen medio.....	25
Tabla 4. Profundidad de cierre para un periodo de retorno de 50 años.	25
Tabla 5. Escenarios de emisiones de CO2.	27
Tabla 6. Proyecciones de subida del nivel medio del mar respecto al nivel de 1995-2014.	28
Tabla 7. Pérdida de sedimentos en el litoral según sistemas de explotación.....	29
Tabla 8. Resultados Regla de Bruun en tramo de actuación.....	42
Tabla 9. Resultados Regla de Bruun en el resto del tramo.	42
Tabla 10. Área de extracción y volumen de arena de cada polígono.	48
Tabla 11. Volúmenes de diferentes materiales y porcentaje de finos.	49
Tabla 12. Características granulométricas del árido del yacimiento.	49
Tabla 13. Tipos de cabezales de dragado en función del terreno.	52
Tabla 14. Dragas Jumbo de mayor capacidad.	52
Tabla 15. Hipótesis de partida para determinar el ciclo de trabajo.	55
Tabla 16. Factor de esponjamiento según el tipo de terreno.	56
Tabla 17. Calificación del personal.	59
Tabla 18. Características de una draga de succión en marcha tipo Jumbo - Cristóbal Colón, 2008. .	59
Tabla 19. Coste económico de la extracción de arena.....	65
Tabla 20. Módulos de repoblación.	71
Tabla 21. Forma de repoblación.	72
Tabla 22. Frecuencia de oleaje de las direcciones influyentes en el punto SIMAR 2081112.....	87
Tabla 23. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2081112.	87
Tabla 24. Relación del TFG con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).	96

1. Antecedentes y objetivos

Por diferentes motivos (Alguacil, 2020), las playas valencianas se han visto afectada durante muchas décadas por graves procesos de recesión en algunos tramos. La dinámica del litoral desde el Delta del Ebro hasta el Puerto de Denia es fundamentalmente de norte a sur, generando fuertes erosiones al sur de las barreras litorales (diques y puertos). Las corrientes litorales son las encargadas de transportar los sedimentos a lo largo de la costa y transcurren generalmente de norte a sur, a excepción del último tramo, alrededor de Denia, donde el transporte se da de sur a norte.

Los sedimentos aportados provienen de los ríos situados a lo largo de la costa, siendo los principales el río Ebro, el Júcar y el Turia, por ser los responsables de los mayores volúmenes de sedimentos aportados históricamente a la costa valenciana. Sin embargo, las presas construidas a lo largo de dichos ríos han constituido barreras fluviales, impidiendo el libre flujo de los sedimentos hacia la costa. Consecuentemente, se han reducido considerablemente los aportes sedimentarios al litoral valenciano.

Además, desde el siglo XIX, se han construido muchos puertos a lo largo de la costa que impiden el transporte longitudinal de dichos sedimentos. Se trata de barreras totales, es decir, el paso de sedimentos de norte a sur es nulo o casi nulo. La unidad morfodinámica objeto de este estudio es la comprendida entre las barreras formadas por el Puerto de Valencia y el Faro de Cullera. En este tramo se ha podido notar un cambio significativo de la línea de costa. Entre el segundo espigón de Pinedo y la Gola del Perelló, la playa ha retrocedido, mientras que en el resto del tramo de estudio se puede decir, a niveles generales, que la playa no ha variado mucho en comparación con lo observado en 1956.

Para solucionar a nivel local los problemas generados por la falta de sedimentos descrita, se han construido obras de defensa a lo largo del litoral; estas obras tienen como objetivo defender tramos de playas reteniendo parcialmente sedimentos a barlomar de la obra. Generalmente generan un aumento de la anchura de la playa en el tramo de donde viene el flujo de sedimentos, pero en el tramo a sotamar se erosiona la playa.

Otro factor importante que ha contribuido a establecer la situación actual ha sido la intensiva construcción de urbanizaciones y otro tipo de infraestructuras en primera línea de playa desde los años 60 hasta 1979, que se paralizó el Plan de Urbanización de la Devesa. Como consecuencia, muchos sistemas dunares fueron eliminados (Benavent, J. et al., s.f.). Las dunas son un elemento fundamental en la dinámica de las costas, mucho más allá de su interés paisajístico, turístico y ecológico. Son la continuación de las playas tierra adentro y sirven como reserva de arena. En situaciones extremas, la playa se adapta a las condiciones del mar manteniendo su perfil transversal con los aportes de arena y materiales procedentes de las dunas. (Ley, C. et al., 2007). Por lo tanto, eliminando las dunas, las playas no se pueden adaptar a los episodios extremos perdiendo cantidades de arena que no se pueden recuperar con facilidad. En la playa de El Saler ya se han desmantelado muchas de las construcciones sobre dunas de las décadas anteriores. En 2017, por ejemplo, se terminó de desmantelar el Polideportivo de El Saler, que se encontraba en pleno Parque Natural de la Devesa. Sin embargo, el cordón dunar todavía no ha sido renaturalizado.

Esta situación general erosiva se ve muy agravada por el cambio climático. El aumento de las temperaturas implica la dilatación térmica de los océanos y la fusión de los glaciares y casquetes polares. El Mediterráneo es especialmente susceptible a estos cambios de temperatura ya que, al tratarse de un mar relativamente pequeño, poco profundo y semicerrado, se calienta a niveles más rápidos que los grandes océanos. Como consecuencia, el nivel del mar aumenta. Se estima que ha

subido unos 23 centímetros desde 1882 y que seguirá aumentando de manera acelerada, siendo actualmente la subida de unos 3,4 mm al año (Nunez, C., 2022). Esto implica que las playas se verán aún más erosionadas por este factor.

Adicionalmente, el cambio climático conlleva una variación en la frecuencia de fenómenos extremos, provocándose en el Mediterráneo lluvias irregulares con precipitaciones intensas cada vez más habituales y más extremas. Las consecuencias de estos temporales son cada vez más graves. Las dunas no pueden regenerar las zonas donde más sedimentos han sido erosionados y las infraestructuras fluviales (embalses) y litorales (puertos) empeoran la situación.

Esta continua erosión de la costa valenciana, específicamente en El Saler, al sur de la barrera total del Puerto de Valencia, implica una amenaza grave al Parque Natural de la Albufera. El humedal costero consta de un gran valor ambiental, económico y turístico. Ha sido declarado como “Humedal de importancia Internacional”, como “Zona de especial protección de Aves” (ZEPA), como “Lugar de Importancia Comunitaria” (LIC) y como “Microrreserva de Flora” y “Reserva de Fauna” (Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica, s. f.). Todo esto evidencia la necesidad de proteger la costa ante las futuras recesiones.

El Proyecto de regeneración de las playas del Saler y Garrofera (Valencia) (Betancourt Ingenieros, 2018) tenía como objetivo restablecer la línea de costa del año 1965 aportando el volumen de material necesario para compensar la diferencia entre el perfil de los años 60 y el de la fecha de redacción del proyecto (2018). Adicionalmente, se proponía prolongar la Gola de Pujol sin llegar a alcanzar la profundidad de cierre.

En el proyecto “Extracción de Arena en Aguas Profundas de Valencia para Alimentación de Playas y Estudio de Impacto Ambiental” de la empresa Intecsa-Inarsa de 2010 se detectó un yacimiento a 10 km de la costa de la provincia de Valencia más cercana. Se sitúa a entre 60 y 80 m de profundidad y mide aproximadamente 23,5 km². Está formado por los polígonos A, B, C, D y E de la zona 15.

Es de especial interés, ya que se considera apto para su uso en la regeneración de la costa con un volumen total de aproximadamente 95 hm³ y características granulométricas y de calidad (químicas y microbiológicas) adecuadas. El 20 de septiembre de 2013 se publicó la correspondiente Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Sin embargo, al no llevarse a cabo las extracciones descritas en menos de 6 años desde su redacción, el DIA positivo perdió su vigencia y debe volver a ser realizado.

El nuevo “Proyecto de Extracción de Arena en Aguas Profundas de Valencia y Transporte para Alimentación de Playas” de Typsa (Ramos, R., Marco, D., 2022), incluye las localizaciones concretas que se pretenden regenerar con el yacimiento, el destino de los materiales no aptos y las consideraciones necesarias en cuanto a la cuestión del rebose de finos.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la situación actual y proponer actuaciones para corregir y prevenir la erosión de las playas valencianas. Se pretende calcular el volumen de arena perdido desde el año 1956 hasta 2018 en el tramo en erosión, ya que son las fechas de las que existen ortofotos comparables. También se considera la cantidad correspondiente a los volúmenes que se prevé que sean perdidos hasta el año 2040 teniendo en cuenta la subida del nivel del mar y el transporte longitudinal de sedimentos. Se planea la aportación de dichas cantidades de sedimentos, extrayéndolas del yacimiento cercano a Cullera mediante una draga de succión en marcha. Dichas aportaciones se dispondrán en las playas en erosión agrandando el ancho y conformando dunas litorales.

2. Estudios previos

2.1. Climatología

El tipo de clima de la costa valenciana en el tramo de estudio se clasifica según el sistema de Köppen-Geiger (1936) como Csa (Mediterráneo típico) para el periodo 1991-2020. Este tipo de clima es el correspondiente a latitudes medias, específicamente del Mediterráneo. Se caracteriza por inviernos templados y veranos secos y cálidos. La mayor parte de las lluvias caen en invierno o en las estaciones intermedias, con riesgos de gota fría en la estación de otoño. La vegetación natural es el bosque mediterráneo (Simulaciones y Proyectos, 2018).

2.2. Oleaje

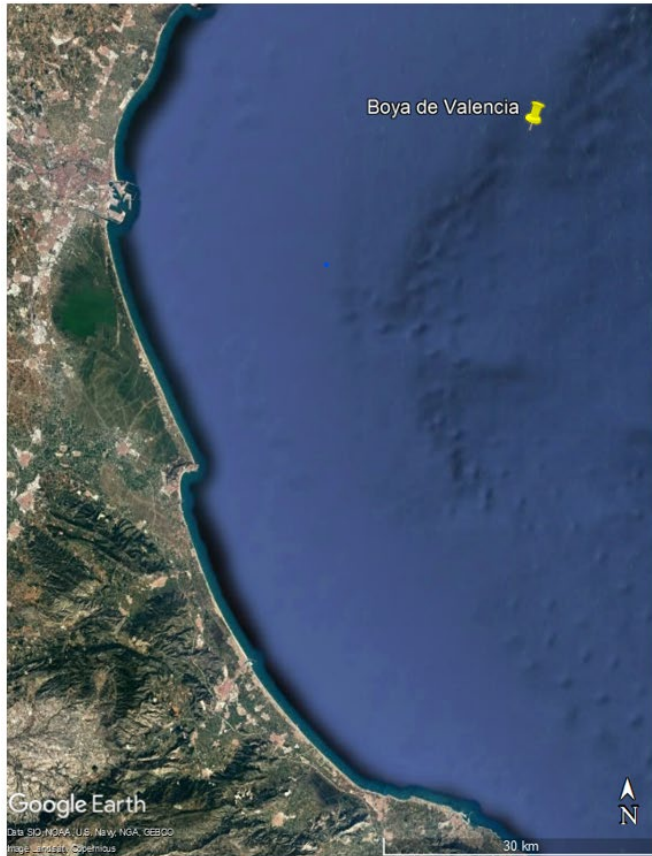
2.2.1. Fuentes de datos

Los datos necesarios para caracterizar el oleaje de la zona de estudio se recogen del banco de datos oceanográficos disponibles en la página web de Puertos del Estado (www.puertos.es). Los empleados son los descritos 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 boyas de tipo SeaWatch miden tanto oleaje como parámetros atmosféricos y oceanográficos. Las de tipo Wavescan solo miden oleaje y variables atmosféricas. Actualmente todas ellas miden el oleaje de forma direccional. Su cadencia temporal es de un dato por hora, sin embargo, su tiempo de medida es de 30 y 10 minutos para el oleaje y el viento, respectivamente, siendo el dato resultante la media de ese periodo.

La empleada para este estudio es la Boya de Valencia, con la siguiente localización e información:



Boya de Valencia	
Código BD	2630
Periodo	2005-2023
Longitud	0,20º E
Latitud	39,51º N
Profundidad de fondeo	260 m
Modelo	SeaWatch

Figura 1. Localización e información de la Boya de Valencia. (fuente: Google Earth / Puertos del Estado, 2023)

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 y WANA. El objetivo es el de ofrecer series temporales más extensas en el tiempo y actualizadas diariamente. De este modo, 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 actualmente, por lo que no son homogéneos, si no que se van alterando para mejorar los datos. Para generar los datos de oleaje se utilizan los modelos WAM y WaveWatch, alimentados por los campos de viento del modelo proporcionado por AEMET. 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.

Los puntos SIMAR empleados para el estudio son los siguientes:



Punto SIMAR 2081113	
Código BD	2081113
Longitud	0,25° O
Latitud	39,42° N
Profundidad indefinida	

Punto SIMAR 2081112	
Código BD	2081112
Longitud	0,25° O
Latitud	39,33° N
Profundidad indefinida	

Punto SIMAR 2081111	
Código BD	2081111
Longitud	0,25° O
Latitud	39,25° N
Profundidad indefinida	

Punto SIMAR 2083111	
Código BD	2083111
Longitud	0,08° O
Latitud	39,25° N
Profundidad indefinida	

Figura 2. Localización e información de los puntos SIMAR. (fuente: Google Earth / Puertos del Estado, 2023)

2.2.2. Caracterización del régimen medio

La caracterización del régimen medio se lleva a cabo mediante los puntos SIMAR, puesto que las medidas son continuas en el tiempo. Los definidos en el apartado 4.2.1. *Fuentes de datos* son representativos de toda la zona de estudio y de la zona de extracción de sedimentos.

Se analizan datos del periodo entre enero de 1958 y abril de 2022. Los datos mostrados son los siguientes:

- Distribución conjunta del periodo pico (T_s) y altura significativa (H_s).
- Altura de ola significativa dividida por estaciones con el fin de comprobar si existen diferencias importantes 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 presentan los valores obtenidos en cada punto:

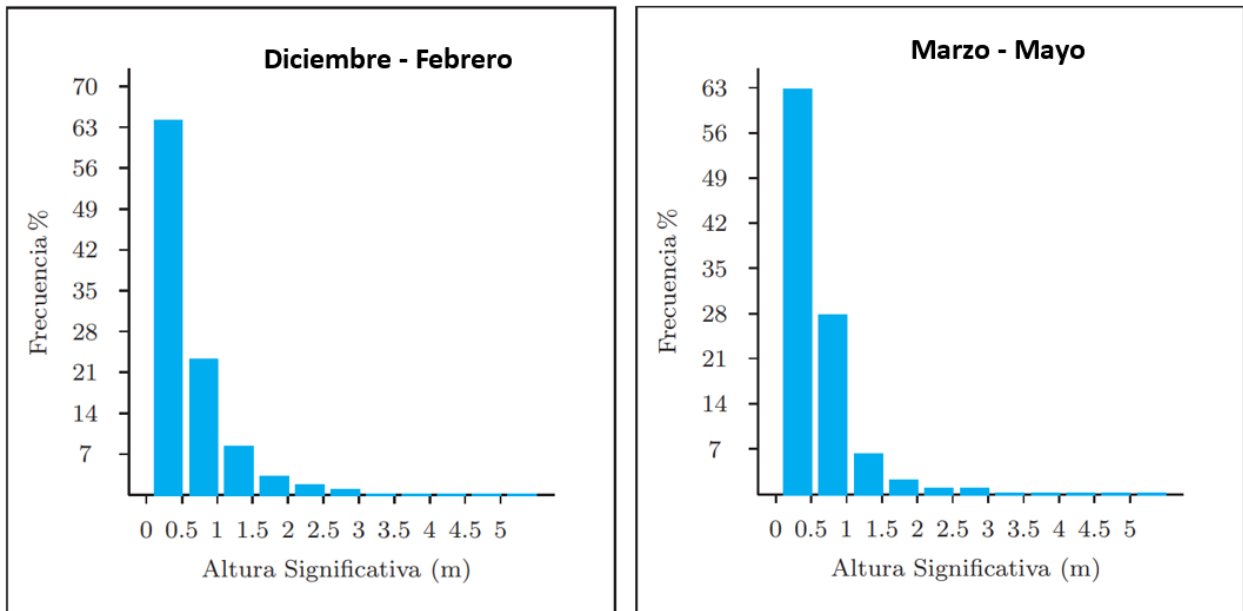
Punto SIMAR 2081113

Para cada altura de ola y cada periodo asociado se muestra la frecuencia anual de aparición:

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	-	2.748	8.843	10.305	12.945	13.672	7.370	3.443	1.402	0.521	0.120	61.371
1.0	-	0.004	0.755	3.140	4.641	7.367	7.326	3.736	1.765	0.682	0.325	29.740
1.5	-	-	0.001	0.056	0.327	1.071	1.495	1.256	0.922	0.520	0.340	5.988
2.0	-	-	-	-	0.017	0.122	0.476	0.446	0.302	0.241	0.196	1.801
2.5	-	-	-	-	-	0.003	0.096	0.219	0.160	0.122	0.091	0.690
3.0	-	-	-	-	-	-	0.005	0.087	0.100	0.044	0.030	0.266
3.5	-	-	-	-	-	-	-	0.010	0.047	0.025	0.014	0.096
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.011	0.011	0.005	0.028
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	0.011	0.014
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006	0.006
Total	-	2.752	9.599	13.502	17.931	22.234	16.768	9.197	4.708	2.170	1.139	100%

Figura 3. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2081113. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

En la figura se aprecia que la altura de ola menor que 0,5 m con un periodo de 6 segundos es lo más habitual. Es una zona que no suele mostrar alturas de ola muy grandes.



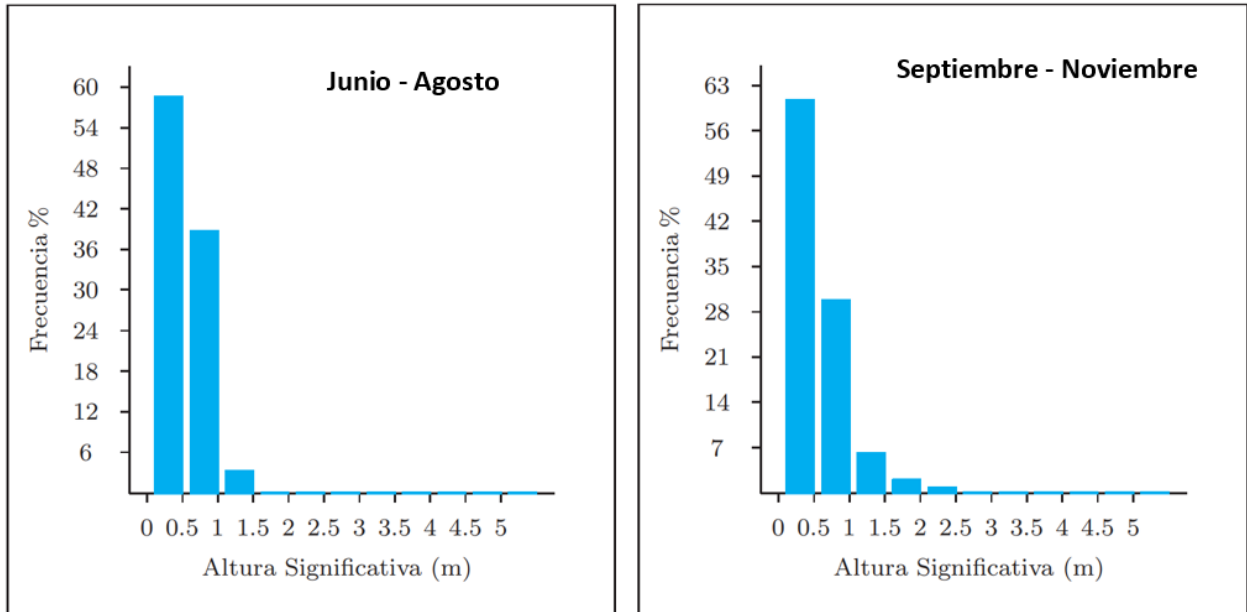


Figura 4. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2081113. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

En la Figura 4 se aprecia que en invierno se dan mayores alturas de ola más frecuentemente, pero no hay grandes diferencias.

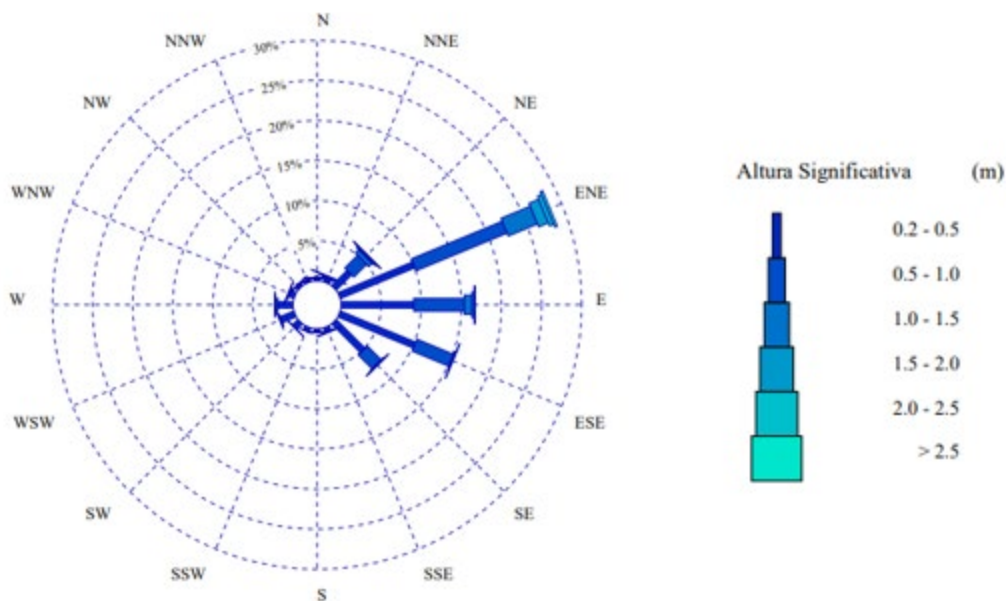


Figura 5. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2081113. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

La rosa de oleaje muestra que la dirección predominante es ENE (28,5%), seguida de E (16,5%). La probabilidad de superar los 2,5 metros de olas es muy pequeña y se da un porcentaje de calmas del 16,37%.

Punto SIMAR 2081112

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	-	3.063	8.730	10.317	13.224	14.296	7.859	3.431	1.278	0.490	0.122	62.811
1.0	-	0.001	0.616	2.725	4.384	6.908	6.970	3.703	1.760	0.708	0.313	28.088
1.5	-	-	0.003	0.042	0.330	1.138	1.465	1.254	0.922	0.564	0.342	6.061
2.0	-	-	-	-	0.014	0.138	0.490	0.443	0.315	0.246	0.219	1.867
2.5	-	-	-	-	0.001	0.002	0.111	0.224	0.145	0.120	0.098	0.700
3.0	-	-	-	-	-	-	0.005	0.105	0.109	0.055	0.034	0.309
3.5	-	-	-	-	-	-	-	0.011	0.048	0.028	0.018	0.105
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.016	0.009	0.006	0.032
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006	0.008	0.014
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.005	0.006
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006	0.006
Total	-	3.064	9.348	13.085	17.955	22.483	16.901	9.171	4.595	2.227	1.172	100 %

Figura 6. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2081112. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

En el punto SIMAR 2081112 lo más frecuente es, de nuevo, la altura de ola de menos de 0,5 m y el periodo asociado de 6 segundos. Las alturas de ola siguen siendo generalmente pequeñas.

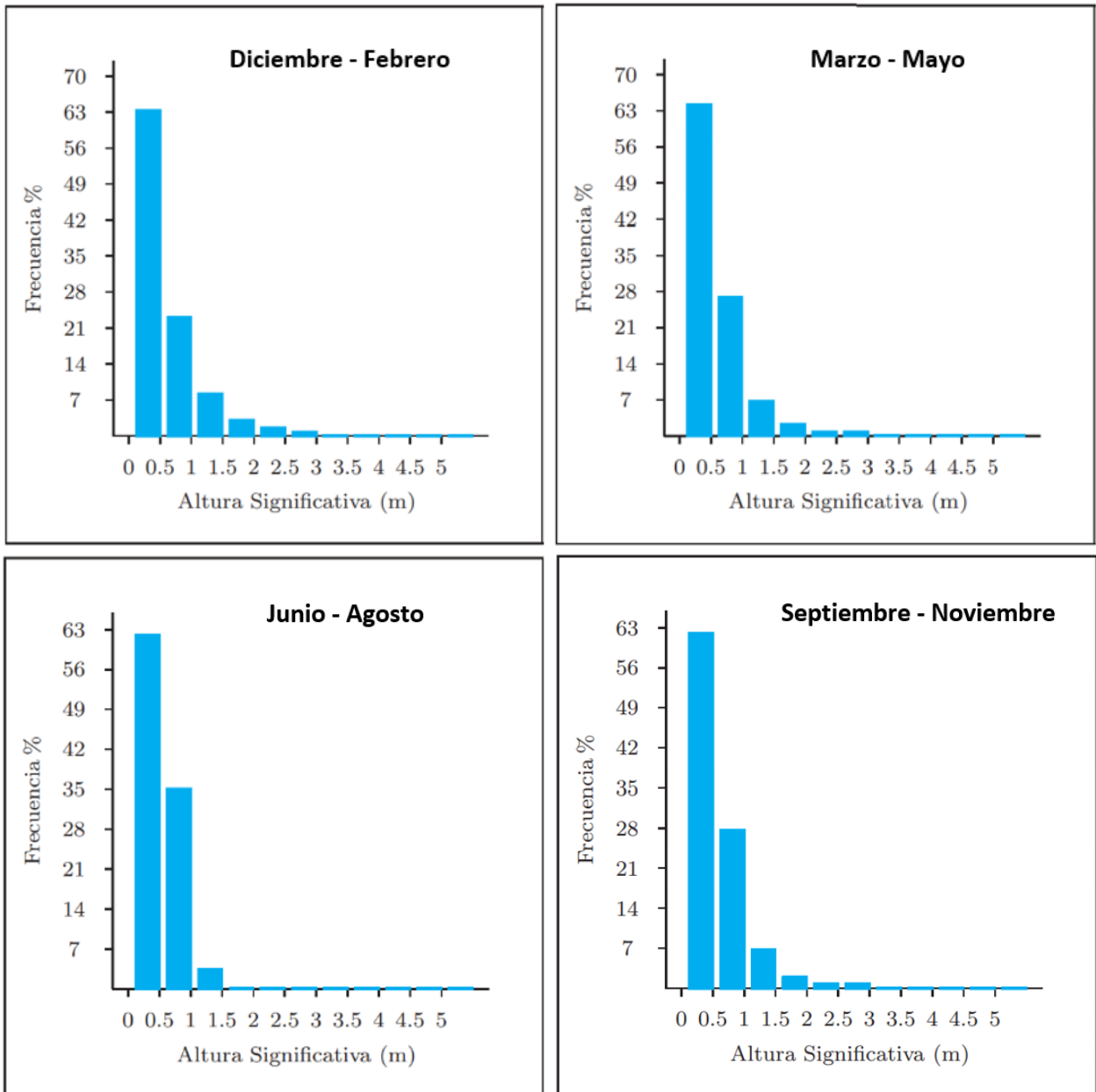


Figura 7. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2081112. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

En invierno se dan alturas de ola significativa mayores, llegando en los meses entre septiembre y mayo hasta los 3 m de ola. Sin embargo, en verano no se suelen superar los 1,5 m.

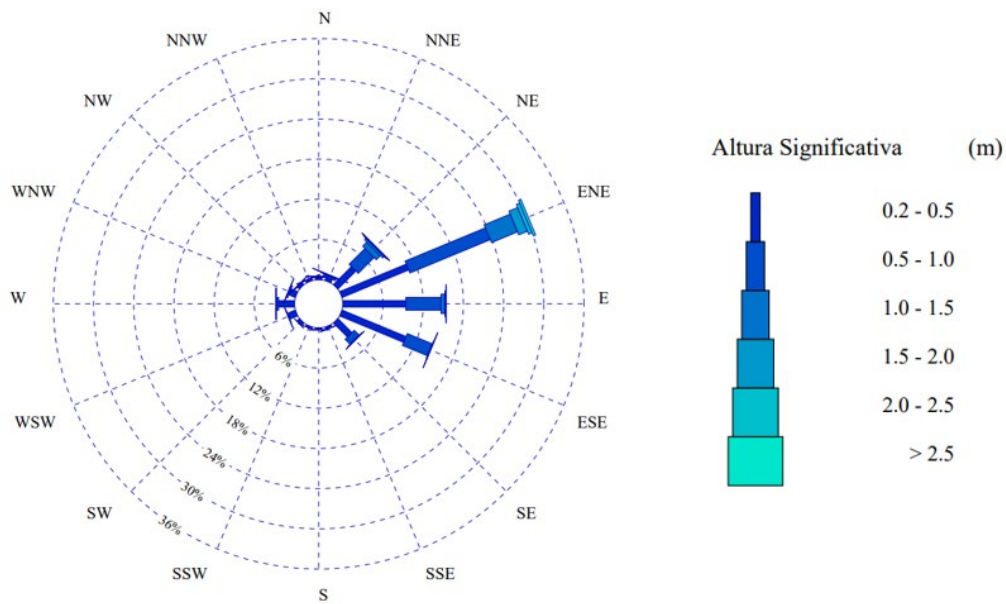


Figura 8. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2081112. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

La dirección predominante es ENE (30%), seguida de E (15%). La probabilidad de superar los 2,5 m es muy reducida y el porcentaje de calmas es del 18,11%.

Punto SIMAR 2081111

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	0.004	4.072	11.400	11.780	13.501	16.176	11.487	5.182	2.029	0.704	0.179	76.515
1.0	-	-	0.318	1.401	2.284	3.437	4.165	3.365	1.921	0.983	0.423	18.297
1.5	-	-	-	0.022	0.087	0.394	0.731	0.668	0.622	0.474	0.358	3.357
2.0	-	-	-	-	0.010	0.034	0.218	0.327	0.224	0.190	0.199	1.203
2.5	-	-	-	-	-	-	0.021	0.101	0.117	0.079	0.063	0.382
3.0	-	-	-	-	-	-	0.002	0.019	0.065	0.033	0.032	0.151
3.5	-	-	-	-	-	-	-	0.001	0.022	0.016	0.019	0.059
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.004	0.009	0.005	0.018
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	0.005	0.008
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.002
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.009	0.009
Total	0.004	4.072	11.719	13.204	15.882	20.042	16.624	9.663	5.005	2.492	1.295	100 %

Figura 9. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2081111. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

La altura y el periodo más frecuentes, una vez más, son menos de 0,5 m y 6 segundos, como es de esperar por la proximidad a los otros puntos. No hay alturas de olas muy grandes.

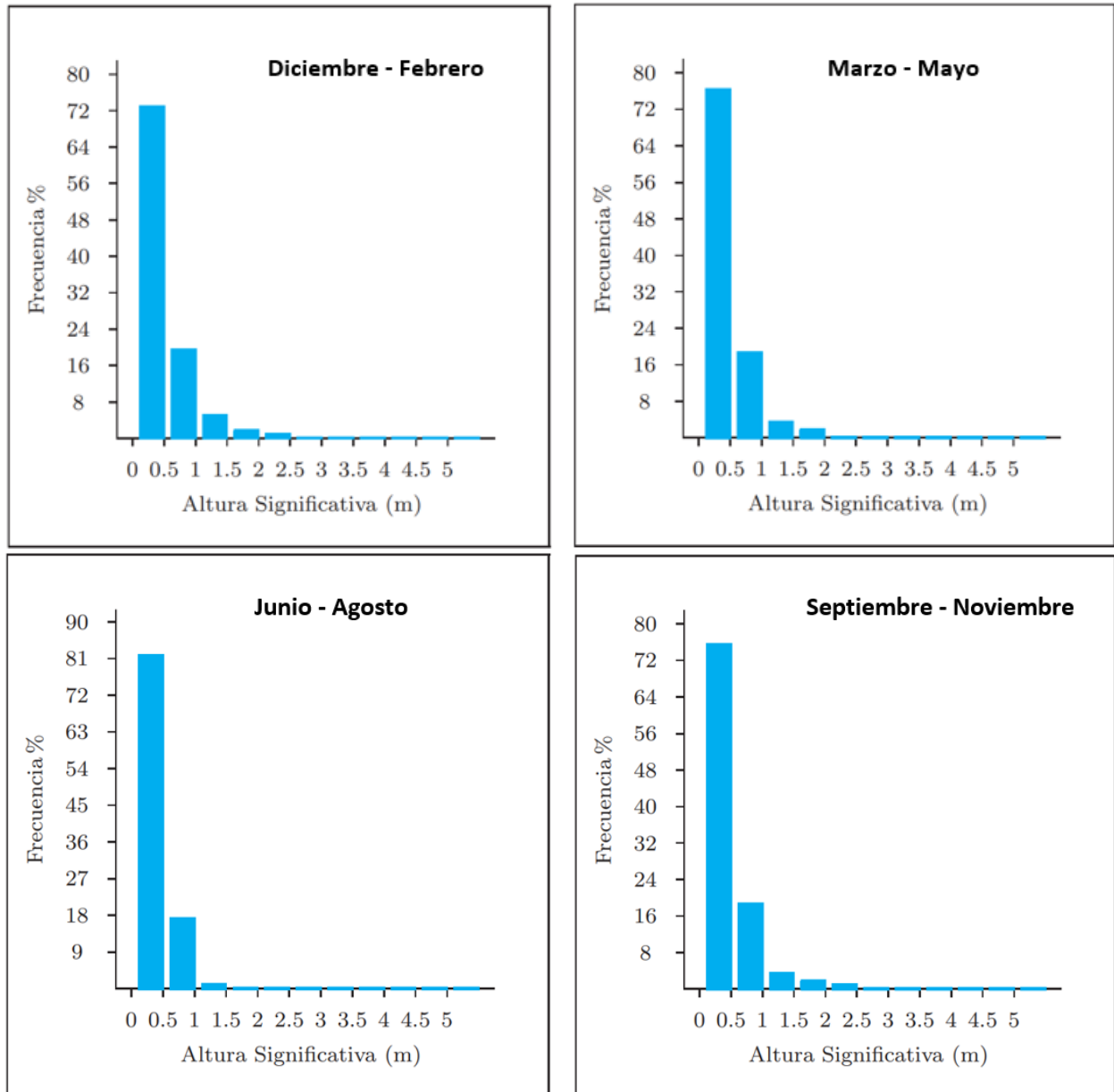


Figura 10. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2081111. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

En este caso, las alturas de ola siguen siendo mayores en invierno, aunque a diferencia de los otros casos, ni en primavera ni en otoño se dan oleajes de entre 2,5 y 3 metros. Independientemente, las diferencias entre estaciones no son muy significativas.

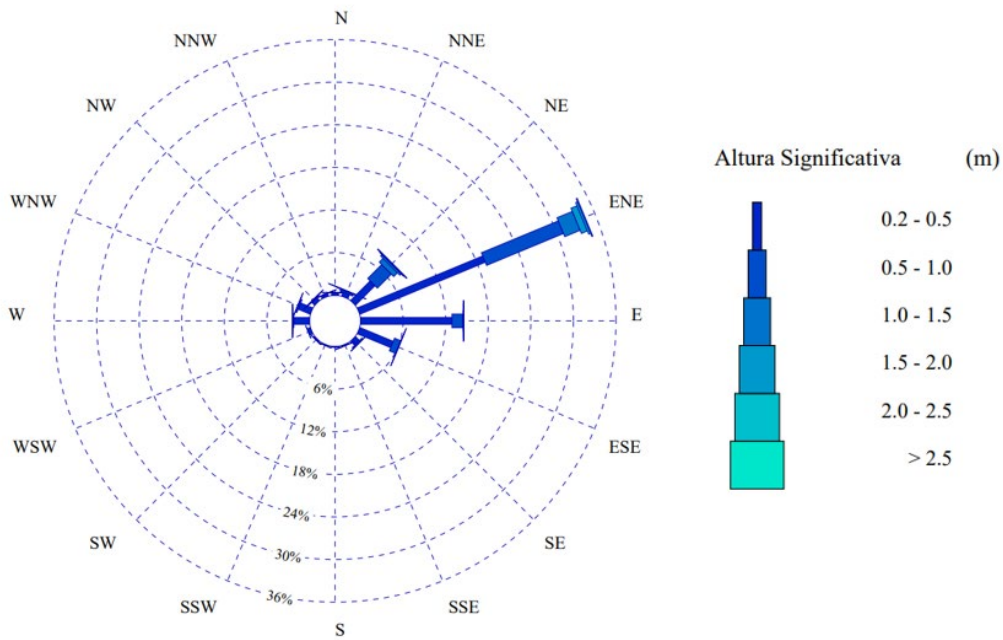


Figura 11. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2081111. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

Las direcciones principales de oleaje son ENE (35%) y E (15%). La probabilidad de superar los 2,5 m es muy reducida y el porcentaje de calmas es del 28,10%.

Punto SIMAR 2083111

Mientras que los datos de los puntos anteriores son relevantes para los cálculos de volúmenes a regenerar y para las actividades de vertido, este punto es relevante por definir la zona de extracción. Sus condiciones limitarán el dragado.

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	-	1.030	10.599	9.229	10.893	10.950	6.121	2.607	0.902	0.332	0.055	52.716
1.0	-	-	1.361	4.670	4.904	8.041	8.208	4.171	1.758	0.636	0.206	33.954
1.5	-	-	0.002	0.206	1.010	1.470	1.889	1.756	1.209	0.665	0.308	8.515
2.0	-	-	-	0.002	0.075	0.364	0.661	0.573	0.493	0.345	0.253	2.766
2.5	-	-	-	-	0.002	0.036	0.267	0.302	0.214	0.152	0.145	1.118
3.0	-	-	-	-	0.001	0.003	0.036	0.183	0.128	0.093	0.064	0.508
3.5	-	-	-	-	-	-	0.002	0.084	0.096	0.060	0.022	0.265
4.0	-	-	-	-	-	-	-	0.008	0.041	0.021	0.017	0.087
4.5	-	-	-	-	-	-	-	0.001	0.013	0.014	0.012	0.040
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	0.008	0.004	0.016
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.016	0.016
Total	-	1.030	11.962	14.107	16.885	20.864	17.183	9.684	4.859	2.326	1.102	100 %

Figura 12. Relación anual del periodo pico (Tp) y la altura significativa (Hs) en % en el punto SIMAR 2083111. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

En este caso, lo más habitual sigue siendo olas de menos de 0,5 m y de 6 segundos de periodo. Sin embargo, las probabilidades de la misma altura de ola, pero con 3 y 5 segundos de periodo son muy parecidas. Una vez más, los oleajes no suelen ser muy grandes.

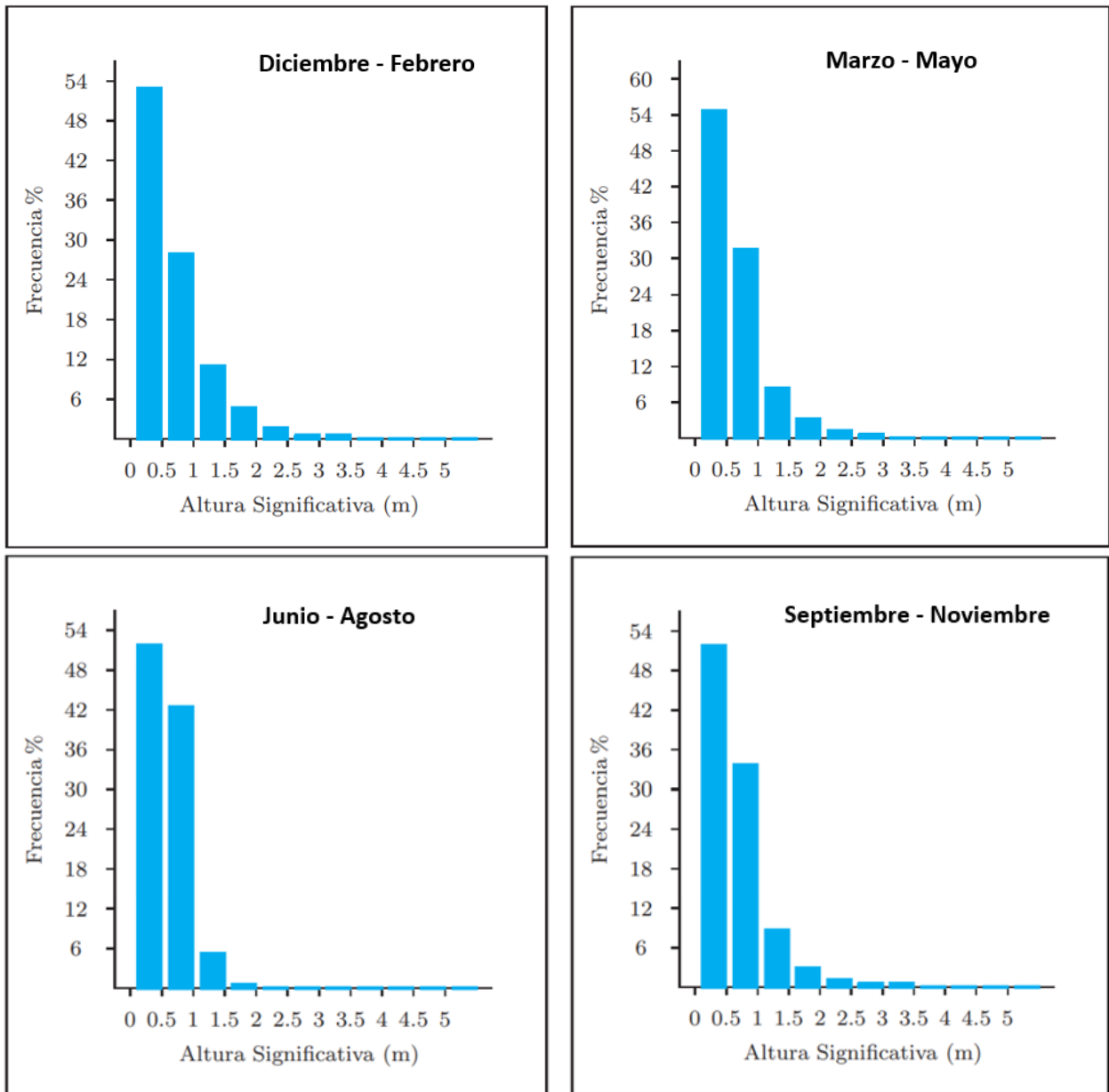


Figura 13. Alturas significantes estacionales en el punto SIMAR 2083111. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

En la Figura 13 se observa que los meses de otoño e invierno siguen siendo los de mayores alturas, pero cabe destacar que este punto, al encontrarse mar adentro, registra alturas de ola significativa generalmente superiores, alcanzando los 3,5 m en otoño e invierno y los 2 m en verano.

En este punto, por ser donde se extraerán los sedimentos, es de especial importancia determinar los días al año con alturas de ola superiores a los 2 m, pues es el límite de operatividad de una draga de succión en marcha.

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	11.093													11.093
N 0.0	.487	.333	.085	.045	.013	.002	-	-	-	-	-	-	-	.965
NNE 22.5	.928	.934	.280	.108	.030	.012	.011	-	-	-	-	-	-	2.305
NE 45.0	4.609	6.682	2.540	.883	.387	.192	.095	.035	.018	.009	.012	-	-	15.462
ENE 67.5	6.975	9.463	3.659	1.363	.577	.265	.148	.051	.021	.006	.003	-	-	22.533
E 90.0	6.183	4.729	.805	.226	.087	.026	.008	-	-	-	-	-	-	12.065
ESE 112.5	7.353	4.717	.344	.031	.006	.003	-	-	-	-	-	-	-	12.457
SE 135.0	5.703	3.774	.280	.027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.784
SSE 157.5	1.122	.393	.031	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.548
S 180.0	.486	.121	.009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.616
SSW 202.5	.404	.088	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.494
SW 225.0	.571	.123	.004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.700
WSW 247.5	.986	.246	.011	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.244
W 270.0	2.606	1.090	.130	.017	.002	-	.001	-	-	-	-	-	-	3.847
WNW 292.5	2.071	.709	.207	.026	.002	.003	-	-	-	-	-	-	-	3.019
NW 315.0	.818	.261	.061	.010	.001	.001	-	-	-	-	-	-	-	1.151
NNW 337.5	.435	.212	.045	.018	.007	.001	-	-	-	-	-	-	-	.718
Total	11.093	41.737	33.872	8.494	2.759	1.115	.507	.264	.087	.040	.015	.015		100%

Figura 14. Frecuencias anuales por altura de ola y dirección de procedencia en el punto SIMAR 2083111. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

Como se distingue en la Figura 14, la frecuencia anual de olas superiores a los 2 m es de 4,8%, es decir 18 días al año. Se debe tener en cuenta para planificar los trabajos de extracción de áridos. Para definir el mejor momento para llevarlos a cabo, se deben estudiar las diferencias entre estaciones:

Tabla 1. Frecuencia de alturas de ola superiores a 2 metros en el punto SIMAR 2083111. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

Meses	Frecuencia (%)	Frecuencia (días)
Diciembre - Febrero	7,96	7
Marzo - Mayo	5,18	5
Junio - Agosto	0,77	1
Septiembre - Noviembre	5,40	5
TOTAL		18

En los meses de invierno se dan las peores condiciones para realizar el dragado del yacimiento, pues se estima que 7 días se registrarán alturas superiores a los 2 m. En los meses de verano es cuando menor es la probabilidad de aparición de olas de dicho tamaño, por lo que se considera el más adecuado para llevar a cabo los trabajos.

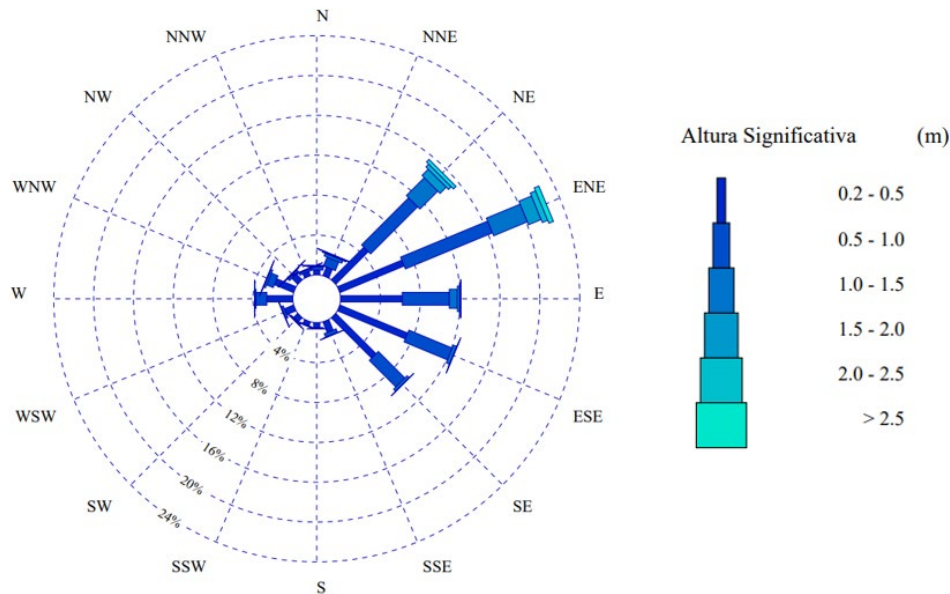


Figura 15. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR 2083111. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

Las direcciones de oleaje principales son ENE (22,5%) y NE (15,5%). En comparación con los otros puntos, se puede observar que los porcentajes de las direcciones principales no son tan elevadas, pues las otras direcciones muestran frecuencias superiores a las de otros casos. Cabe destacar que en esta rosa de oleaje también se pueden apreciar los tamaños de oleaje mayores en comparación con los otros puntos. Se alcanzan alturas significantes de entre 4 y 5 m, aunque se dan con muy poca frecuencia.

2.2.3. Caracterización del régimen extremal

La descripción del régimen extremal es deseable hacerla mediante datos reales, por lo que los registros de la red REDEXT son más convenientes. El punto empleado es el definido en el apartado 4.1. *Fuentes de datos*, es decir, la Boya de Valencia.

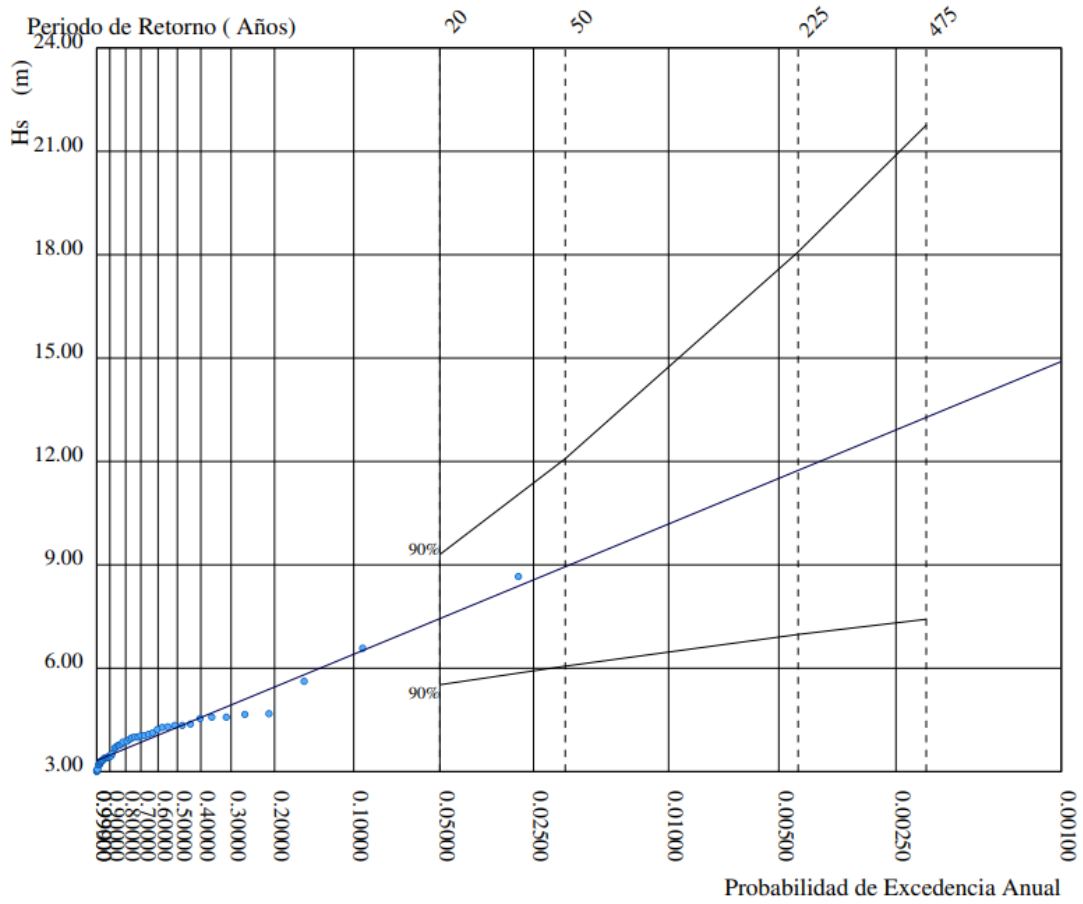


Figura 16. Régimen extremal escalar del oleaje de la Boya de Valencia. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

En la Figura 16 se pueden obtener las probabilidades de excedencia anuales de una altura de ola teniendo en cuenta el periodo de retorno.

P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	225.00	475.00
Estima Central de Hs (m)	7.43	8.94	11.73	13.27
Banda Sup. 90% Hs	9.31	12.07	18.08	21.77
Valor Esperado de Tp (s)	10.87	11.76	13.23	13.95
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 = 3.31
Num. Mín. de Dias Entre Picos	5.00	Distribucion Weibull	Beta = 0.38
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	4.13	de Excedencias	Gama = 0.62

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

$$T_p = 4.58 H_s^{0.43}$$

Figura 17. Valores y parámetros del régimen extremal escalar del oleaje de la Boya de Valencia. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

El periodo de retorno empleado en este estudio es de 50 años por hacer cálculos del retroceso de la línea de costa desde el año 1956 hasta el 2018. Como se observa en la Figura 17, la altura de ola asociada a dicho periodo de retorno es de 8,94 metros y su periodo de pico asociado de 11,7 segundos.

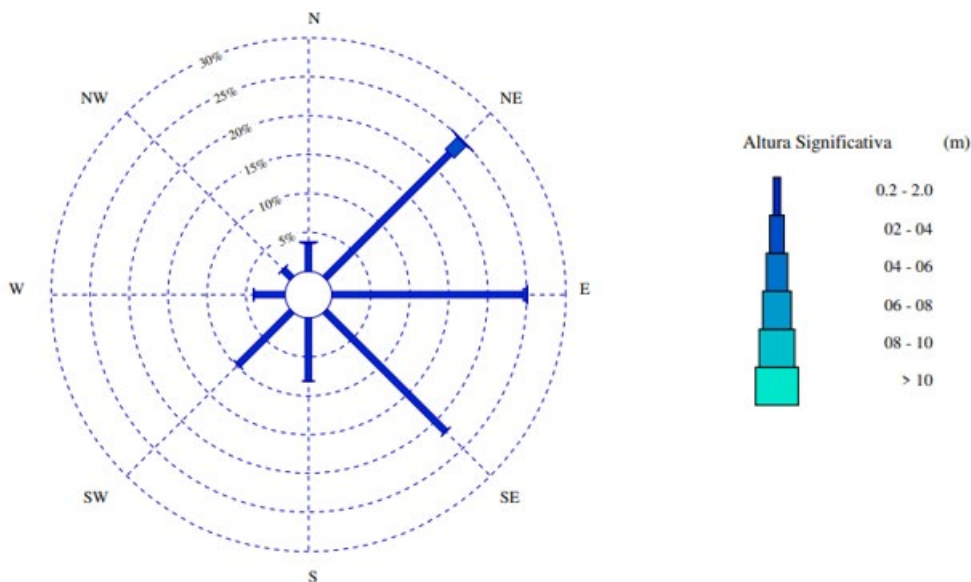


Figura 18. Rosa de altura significativa de la Boya de Valencia. (fuente: Puertos del Estado, 2023)

En la Figura 18 se observa que en régimen extremal se dan tres direcciones principales con frecuencias bastante similares. Predominan olas de hasta 2 m, pero llega a haber olas de entre 4 y 6 m.

2.2.4. Conclusiones

Con los datos resumidos en los apartados anteriores, se concluye que la costa valenciana muestra generalmente alturas de ola moderadas o pequeñas, pudiendo distinguirse alturas ligeramente superiores en los meses de invierno. Se considera muy favorable a la hora de llevar a cabo los trabajos de extracción de áridos, puesto que requieren alturas de ola inferiores a 2 m para asegurar la operatividad de la maquinaria. Se calcula que, durante 18 días al año, este requisito no se cumple, concentrándose la mayor cantidad de días con olas superiores a 2 m en los meses de invierno. Adicionalmente, la gota fría común de los meses de octubre también se ha de tener en cuenta, ya que implica fuertes y dañinas tormentas que dificultan los trabajos previstos.

2.3. Profundidad de cierre

La profundidad de cierre para un intervalo de tiempo determinado se define como la profundidad más cercana a la costa a partir de la cual ya no hay cambios significativos en la elevación del fondo del mar, ni un transporte neto de sedimentos significativo entre la costa y el mar (Kraus et al., 1998). Es de especial utilidad para llevar a cabo los cálculos necesarios en la regeneración de playas.

Varios autores llevaron a cabo diferentes estudios para determinar métodos con los que obtener la profundidad de cierre (Hallermeier, 1978; Birkemeier, 1985; Nicholls et al., 1996, 1998), sin embargo, todos ellos toman la ecuación propuesta por Hallermeier en 1978 como referencia.

Hallermeier:

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

Birkemeier:

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

Con:

d	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 de oleaje (s)

Estudios posteriores como el de Aragonés et al. (2019) han desarrollado nuevos métodos para obtener la profundidad de cierre. En la publicación de 2019, se determina comparando diferentes perfiles de la costa valenciana, obteniendo que, para 20 años de periodo de retorno, la playa La Dehesa tiene una profundidad de cierre de 5,92 metros. Otras conclusiones a las que se ha llegado son que, a mayor escala temporal, mayores son las profundidades de cierre, y que la estacionalidad también es relevante, ya que, según la época del año, se puede dar un perfil de berma o de barra.

En 2018, Aragonés et al. llevaron a cabo otro estudio en el que se comparaban los resultados de informes sedimentológicos y los datos calculados con los métodos de Hallermeier y de Birkemeier para la costa valenciana en un periodo de retorno de hasta 20 años, que es el máximo que se considera válido para el método sedimentológico. Llegaron a la conclusión de que los métodos numéricos obtienen siempre valores ligeramente superiores, especialmente el de Hallermeier, y que,

considerando periodos menores a un año, en comparación con los 20 años del estudio, se podían esperar diferencias de la profundidad de cierre de 2 metros aproximadamente. Extrapolando este valor a periodos de 50 años, se estiman diferencias de 5 metros. En la tabla siguiente se muestran los resultados obtenidos por cada método en la costa valenciana.

Tabla 2. Valores de profundidad de cierre en playas valencianas para periodos de retorno de 20 años. (fuente: Aragonés et al., 2018)

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

Con la última conclusión, se estima que podrían esperarse profundidades de cierre de entre 9 y 11 metros para un periodo de retorno de 50 años siguiendo el método sedimentológico.

En el presente estudio se emplea el método de Birkemeier (Ecuación 1) por generar resultados similares a los reales. Es necesario obtener tanto las profundidades de cierre para periodos de retorno de 20 años, como los de 50 años, ya que las actuaciones a realizar serán para compensar los retrocesos de costa desde 1956 y los retrocesos que se esperan hasta el año 2040.

Para el cálculo de periodo de retorno de 20 años se emplean los parámetros H_{12} y T del régimen medio, es decir los de temporales habituales a corto plazo. La altura significativa excedida doce horas al año es la correspondiente a frecuencias de aparición inferiores a 0,137%. Considerando los datos mostrados en el apartado 4.2.1. *Caracterización del régimen medio*, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3. Profundidad de cierre en distintos puntos de la zona de estudio en régimen medio. (fuente: Elaboración propia)

Punto	H_{12} (m)	T (s)	Profundidad de cierre d (m)
SIMAR 2081113	3,38	10,73	5,33
SIMAR 2081112	3,42	11,12	5,43
SIMAR 2081111	3,08	10,95	4,92

Se puede apreciar que los valores se encuentran en el rango de profundidades estimado por Aragonés et al. (2018).

En cuanto al periodo de retorno de 50 años, es necesario emplear los valores extremales, por lo que se aplica la fórmula de Birkemeier con los datos de la Boya de Valencia descritos en el apartado 4.2.2. *Caracterización del régimen extremal*, calculando el siguiente resultado:

Tabla 4. Profundidad de cierre para un periodo de retorno de 50 años. (fuente: Elaboración propia)

Punto	H_s (m)	T (s)	Profundidad de cierre d (m)
Boya de Valencia	8,94	11,76	12,23

2.4. Cambio climático

Varios territorios de España, entre ellos la Comunidad Valenciana, se encuentran entre los más afectados por riesgos de la naturaleza según el informe sobre peligros naturales y tecnológicos en Europa de 2006. Se trata de una península rodeada y muy expuesta a la acción del mar con grandes

concentraciones poblacionales en las zonas costeras, que cada año aumentan. Entre 1987 y 2001, las regiones españolas mediterráneas acumularon el mayor porcentaje de pérdidas económicas por dichos riesgos, especialmente por inundaciones (Olcina, 2009).

El Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH Cantabria) declaró en 2014 que los mayores aumentos en % de la cota de inundación de las playas debido al aumento del nivel del mar, se darían en las costas del Mediterráneo. Otro tipo de inundación que se considera es la esporádica, la correspondiente a los eventos extremos de periodo de retorno de 50 años que tienen consecuencias catastróficas. Estos eventos se prevé que sufrirán un aumento de intensidad y frecuencia. Adicionalmente, en el Mediterráneo se encuentran grandes praderas de Posidonia, fundamentales para la diversidad y los ecosistemas del mar, por ser sumideros de CO₂, proteger la costa ante erosión y conformar el hábitat de numerosas especies. Sin embargo, los aumentos de temperatura esperados para los años futuros conllevarán una disminución de sus densidades, pudiendo disminuirse hasta el 10% de las densidades de 2014 a mediados del siglo actual (IH Cantabria, 2014).

En este estudio es de especial relevancia cuantificar la subida del nivel del mar en los próximos años, ya que se trata de uno de los volúmenes de erosión que se pretende compensar con las aportaciones de arena.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), creado en 1988, lleva a cabo numerosos informes resultado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático. Actualmente se han llevado a cabo 6 informes de evaluación, siendo el más reciente el Sexto Informe de Evaluación (AR6) de marzo de 2023 (IPCC, 2023).

En el AR6 se demuestra que todo el calentamiento global producido desde los años 1850-1910 ha sido provocado por actividades humanas, principalmente las que generan gases de efecto invernadero. Las emisiones de estos gases han ido en aumento exponencial desde 1850, como se observa en la siguiente figura:

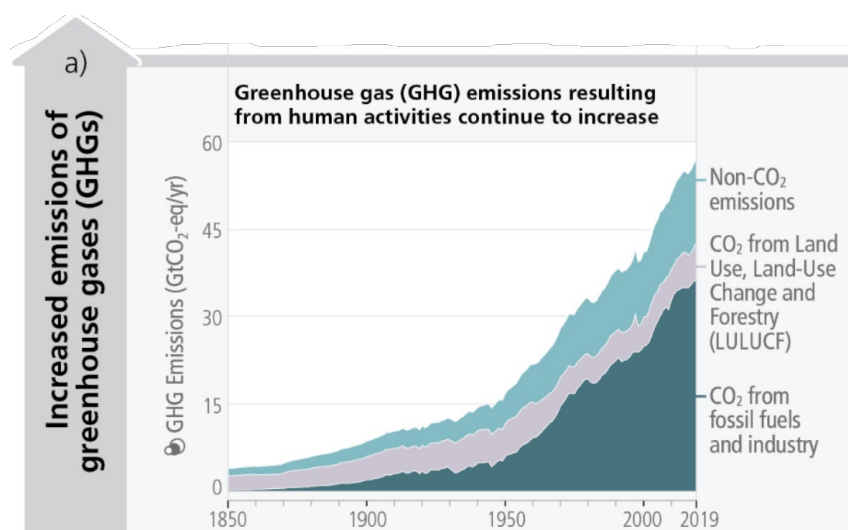


Figura 19. Aumento de emisiones de gases de efecto invernadero entre 1850 y 2019. (fuente: IPCC, 2023)

Se distinguen los gases de efecto invernadero por CO₂ de combustión de carburante e industrias (verde oscuro), por CO₂ de uso de suelo y deforestación (gris) y otros gases como CH₄, N₂O y gases fluorados (verde claro).

Se ha comprobado que, desde 1970, la capa superior oceánica (de 0 a 700 m de profundidad) se ha calentado por influencia humana. El calentamiento oceánico conforma el 91% del calentamiento de todo el sistema climático. El resto de porcentajes pertenecen al calentamiento del suelo (5%), a la pérdida de hielo (3%) y al calentamiento atmosférico (1%) (IPCC, 2023).

Para llevar a cabo las proyecciones a futuro de las situaciones de los próximos años, se emplean diferentes escenarios, definidos mediante el sistema SSPx-y, basado en las tendencias socioeconómicas (SSPx) y en el nivel de forzamiento radioactivo en Wm⁻² del año 2100 (y). En la siguiente tabla se resumen las características de los 5 escenarios evaluados:

Tabla 5. Escenarios de emisiones de CO₂. (fuente: IPCC, 2023)

Escenarios	Calificación respecto a emisiones de CO ₂	Emisiones de CO ₂ respecto a la actualidad		
		2050	2070	2100
SSP5-8.5	Muy altas	Doble		
SSP3-7.0	Altas			Doble
SSP2-4.5	Intermedias	Igual		
SSP1-2.6	Bajas		0	
SSP1-1.9	Muy bajas	0		

Con los escenarios descritos se han llevado a cabo proyecciones hasta el año 2100 tanto del aumento de la temperatura superficial como del aumento medio del nivel del mar (Figura 20). Se aprecia que se espera un aumento de las temperaturas de mínimo medio grado y aumentos de mínimo 15 cm del nivel del mar desde la actualidad hasta el año 2050 independientemente del escenario.

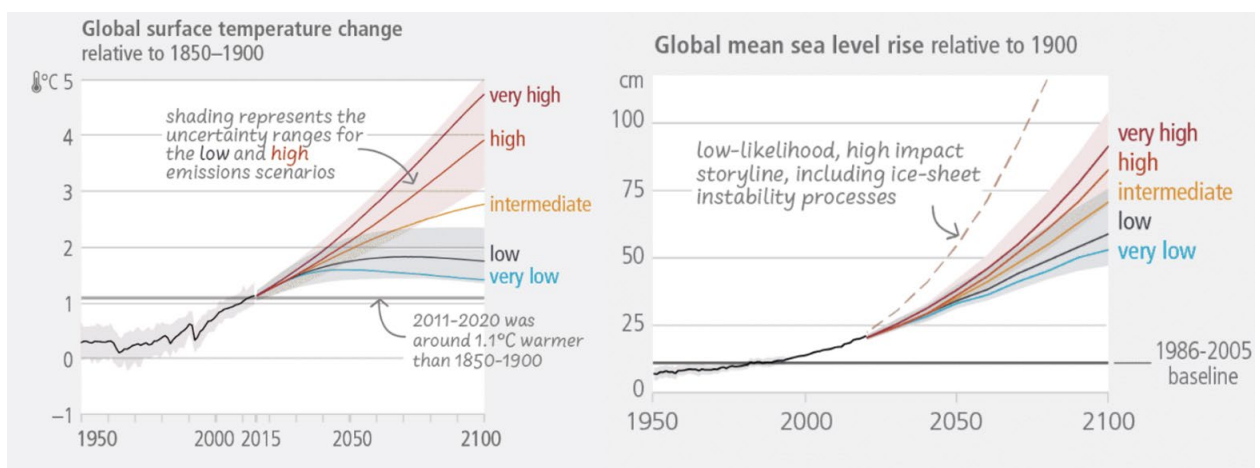


Figura 20. Proyecciones de las variaciones de la temperatura superficial (izquierda) y del nivel medio del mar (derecha). (fuente: IPCC, 2023)

Hasta la actualidad, no solo el nivel del mar ha aumentado, sino que también la tasa de aumento anual. Entre 1901 y 1971 la tasa era de 1,3 mm/año (pudiendo encontrarse entre 0,6 y 2,1 mm/año). Entre 1971 y 2006 la tasa aumentó a 1,9 mm/año (0,8 - 2,9) y entre 2006 y 2018 se ha observado una tasa de 3,7 mm/año (3,2 - 4,2) (IPCC, 2023).

En la siguiente tabla se resumen las variaciones del nivel medio del mar proyectadas para cada escenario, en relación al nivel medio de 1995-2014:

Tabla 6. Proyecciones de subida del nivel medio del mar respecto al nivel de 1995-2014. (fuente: IPCC, 2023)

Escenarios	2050 (m)	2100 (m)	2150 (m)
SSP5-8.5	0,20 - 0,29	0,63 – 1,01	0,98 – 1,88
SSP1-1.9	0,15 - 0,23	0,28 - 0,55	0,37 – 0,86

Para obtener resultados más específicos para el caso de las costas españolas, se recurre al visor C3E del IHCantabria, que recoge los resultados del informe “Cambio Climático en la Costa Española” de 2014. Seleccionando el parámetro nivel del mar (MSL) para el periodo 2026 - 2045 y los dos escenarios RCP4,5 y RCP8,5, se obtienen los resultados de la Figura 21.

Los escenarios descritos son los correspondientes al Quinto Informe de Evaluación (AR5) de 2014. Se trata de 4 trayectorias de emisiones y concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, las emisiones de contaminantes atmosféricos y el uso del suelo. RCP2,6 es el correspondiente a una mitigación estricta, RCP4,5 y RCP6,0 son casos intermedios, y RCP8,5 hace referencia a emisiones muy altas de gases de efecto invernadero.

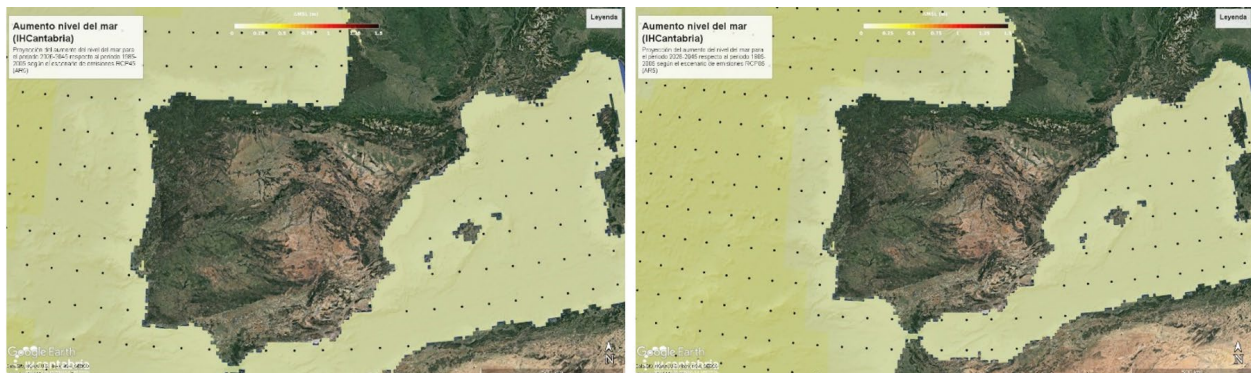


Figura 21. Aumento del nivel del mar en el periodo 2026-2045 respecto al nivel de 1985-2005 para los escenarios RCP4,5 (izquierda) y RCP8,5 (derecha). (fuente: C3E IHCantabria)

Con los datos de las proyecciones mostradas en este apartado, se fija el valor de subida del nivel del mar hasta el año 2040 en 0,15 m para los cálculos correspondientes a los volúmenes necesarios para compensar la erosión generalizada.

2.5. Transporte sedimentario fluvial

Las aportaciones de sedimentos al litoral por parte de los ríos son un componente muy importante del equilibrio sedimentario de las playas. Sin embargo, las necesidades humanas han llevado a la construcción de numerosas presas a lo largo de los ríos. Constituyen un almacén de agua tanto para abastecimiento, como para riego, explotación eléctrica, para la industria, etc.

Estas infraestructuras conllevan graves problemas. Por un lado, el empeoramiento de la calidad del agua debido al estancamiento. Se reduce el oxígeno del agua (eutrofización), se dan cambios de temperatura y se estratifican los sedimentos. También afectan muy notablemente a la biodiversidad, alterando la hidrología y el entorno del río, lo cual pone en peligro a ciertas especies y facilita la

intrusión de especies endémicas (CEDEX, 2007). Adicionalmente, constituyen una barrera tanto a especies como a sedimentos, que es el foco principal de este estudio.

Cuando el agua reduce su velocidad por alcanzar un embalse, pierde su capacidad de transporte de sedimentos, provocando la deposición de los materiales más gruesos, formando un “delta de cola”. Los más finos, que todavía pueden ser transportados, son depositados una vez alcanzan la presa, donde las velocidades son nulas, conformando un “delta de presa” (Cobo, 2008).

Como consecuencia de estas deposiciones, no solo se pierden aportaciones al mar, sino que también se generan erosiones en los tramos aguas abajo del río, alterando su geomorfología, y se producen pérdidas de capacidad de los embalses por aterramiento.

En el tramo de estudio originalmente llegaban sedimentos de varios ríos aguas arriba, ya que, desde el Delta del Ebro hasta Oliva, el transporte sólido longitudinal transcurre de norte a sur. Se pueden dividir en los siguientes sistemas de explotación: Ebro, Cenia-Maestrazgo, Mijares-Plana Castellón, Palancia-Los Valles y Turia. Todos estos ríos han sufrido una notoria pérdida de aportaciones de sedimentos al litoral, como se muestra en la siguiente tabla, resultado del trabajo de Hernández (2022):

Tabla 7. Pérdida de sedimentos en el litoral según sistemas de explotación. (fuente: Hernández, 2022)

Sistema de explotación	Pérdida de sedimentos (Tn/año)	Pérdida de sedimentos (hm ³ /año)
Ebro	10.628.934	11,55
Cenia-Maestrazgo	28.611,61	0,03
Mijares-Plana Castellón	934.809,61	1,02
Palancia-Los Valles	265.393,15	0,29
Turia	515.316,92	0,56

Sin barreras totales al transporte, las pérdidas de todos los ríos serían relevantes. Sin embargo, en el caso del tramo entre el Puerto de Valencia y el Faro de Cullera, las pérdidas que siguen influyendo anualmente son las del río Turia, es decir 0,56 hm³/año.

La solución óptima a esta situación sería la restitución de la dinámica de sedimentos fluvial mediante trasvases. Sin embargo, se trata de una técnica muy compleja que debe ser estudiada a muchos niveles (técnico, ambiental, etc.) y debería llevarse a cabo en decenas de embalses ubicados en las Cuencas de las Confederaciones Hidrográficas del Ebro y del Júcar. El corto plazo de actuación que exige la urgencia de la regeneración de las playas valencianas, imposibilita plantear esta opción actualmente. No por ello se ha de ignorar la necesidad de llevar a cabo dichos trabajos en el futuro.

3. Descripción de las playas por tramos

En este apartado se analizan las playas de los tramos elegidos. Se describen tanto las características base como las morfológicas de la playa. Para ello se emplea el trabajo de Caracterización ecocartográfica de playas del Plan de Ecocartografías del litoral español del MITECO (2006 – 2007) y Google Earth para obtener ciertos datos más actuales. También se comparan las líneas de costa de los años 1956-1957 con las de 2018, mediante el Comparador de ortofotos del Plan Nacional de Ortografía Aérea (PNOA) del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana.

Los tramos elegidos quedan limitados por las siguientes obras de defensa, puertos o cambios bruscos de la línea de costa:



Figura 22. Elementos que delimitan los tramos a caracterizar. (fuente: Elaboración propia, Google Earth)

3.1. Tramo 1: Desembocadura del río Turia – Segundo espigón de Pinedo

El Tramo 1, ubicado inmediatamente al sur del Puerto de Valencia, mide aproximadamente 1.150 m, con anchos máximos de 280 m y lo conforma la Playa de Pinedo. Se trata de una playa de tipo abierta de arenas gruesas ($D_{50} = 0,58\text{mm}$) con una pendiente media de 1,33%.



Figura 23. Comparación de las líneas de costa de 1956 - 1957 y 2018 en el Tramo 1. (fuente: Elaboración propia, Comparador PNOA)

Como se observa en el Figura 23, la mitad norte del Tramo 1 ha sufrido una acreción, mientras que la mitad sur ha sido erosionada. Al igual que el resto de playas del tramo de estudio, prácticamente no recibe aportaciones sedimentarias por parte del río Turia, sin embargo, la mitad norte del Tramo 1 se ve afectada por el efecto sombra del Puerto de Valencia. Este no es solo una barrera total que impide el paso de sedimentos de un lado a otro, sino que también intercepta oleajes con componentes direccionales que provocan transporte sedimentario de norte a sur. Es por ello que, en la zona en acreción, el transporte litoral longitudinal predominante es de sur a norte provocando acumulaciones de arena.

Entre la zona de transporte neto de sur a norte, y la de norte a sur, se encuentra un punto intermedio donde el transporte longitudinal de sedimentos neto es nulo. Por lo tanto, al alimentar a ambos tramos colindantes sin tener ninguna aportación, este punto se encuentra en constante erosión. Sin embargo, no entra en el alcance de este estudio, pues ya se ha encontrado una solución al respecto: para evitar graves erosiones, se ha optado por retranquear la costa, obteniendo resultados positivos en los últimos años, pues no ha habido erosiones significativas (CEDEX, 2015).

3.2. Tramo 2: Segundo espigón de Pinedo – Gola de Pujol

El segundo tramo, delimitado por el segundo espigón de Pinedo y la Gola de Pujol tiene una longitud de aproximadamente 7.450 m y está formado por las playas de l'Arbre del Gos, El Saler y la Garrofera. Son playas abiertas de arenas medias ($D_{50} = 0,48$ mm). Tiene una pendiente de 1,96% y presenta anchos en numerosos puntos inferiores a los 40 m recomendados, siendo la zona más precaria donde se encuentra la urbanización La Casbah, a menos de 5 m de la línea de costa. Se trata de una urbanización que ha sufrido en varias ocasiones las consecuencias de estar tan expuesta al mar, siendo enero de 2020 la más reciente. El paseo marítimo sufrió graves daños por la borrasca Gloria.

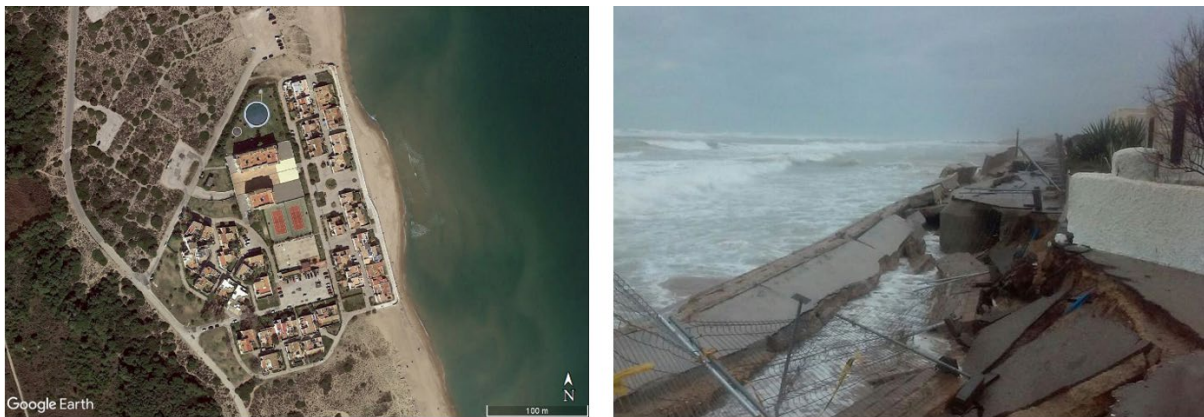


Figura 24. Vista aérea de la urbanización la Casbah (izquierda) y paseo derrumbado de la Casbah tras la borrasca Gloria (derecha). (fuente: Google Earth y Google)

A continuación, se muestra la comparación de las líneas de costa de 1956-1957 y de 2018. Se observa que a lo largo de todo el tramo ha habido una erosión notoria, siendo mayor en las zonas más al norte, alcanzando retrocesos de la línea de costa de 100 m.

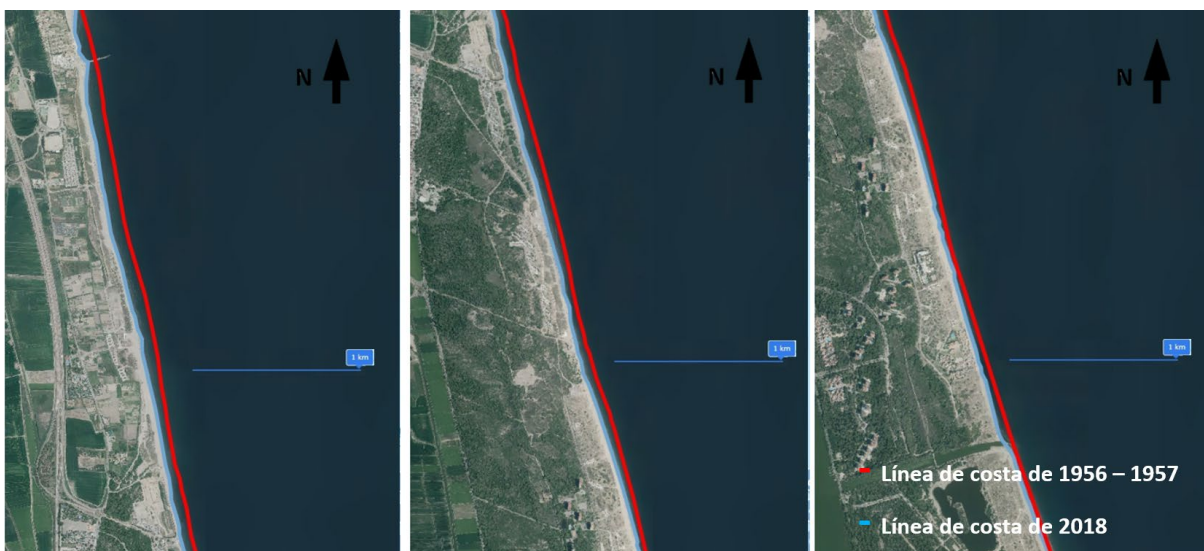


Figura 25. Comparación de las líneas de costa de 1956 - 1957 y 2018 en el Tramo 2. (fuente: Elaboración propia, Comparador PNOA)

La anchura mínima de playa seca de 40 m desde contorno rígido o desde la línea de Dominio Público Marítimo y Terrestre (DPMT) pretende asegurar varios objetivos. No solo pretende satisfacer la función de la costa como lugar de ocio, sino que también busca proteger los bienes ubicados tras la playa. Como ya se ha comentado, en la costa valenciana, ya se han dado destrozos en paseos marítimos y edificaciones en numerosas ocasiones debidos al poco resguardo que implica la playa ante temporales. Sin embargo, el bien con mayor valor ecológico, paisajístico y ambiental que se ve en peligro, es el Parque Natural de l'Albufera de Valencia. Con una recesión de la costa cada año más pronunciada y una escasa elevación de los terrenos frente al litoral, aumenta el riesgo de inundación marina, pudiendo causar consecuencias negativas sobre el sistema de desagüe y el sistema hídrico del parque natural (Iberport Consulting, 2012).

La evolución histórica muestra que la superficie del lago de l'Albufera se lleva viendo reducida desde finales del siglo XVII debido a su colmatación por los aportes continentales de los barrancos que lo alimentan. Sin embargo, el aterramiento aumentó considerablemente a finales del siglo XIX por la intensa actividad humana llevada a cabo en el medio natural (principalmente agricultura). A pesar de la regulación del parque a partir de la década de 1930 por parte del Ayuntamiento de Valencia para frenar la evolución tan desfavorable del lago, este sigue disminuyendo en tamaño continuamente, encontrándose actualmente en su totalidad tras la zona correspondiente a los tramos de mayor erosión de la costa, las Playas de El Saler y la Dehesa (Typsa, s.f.).

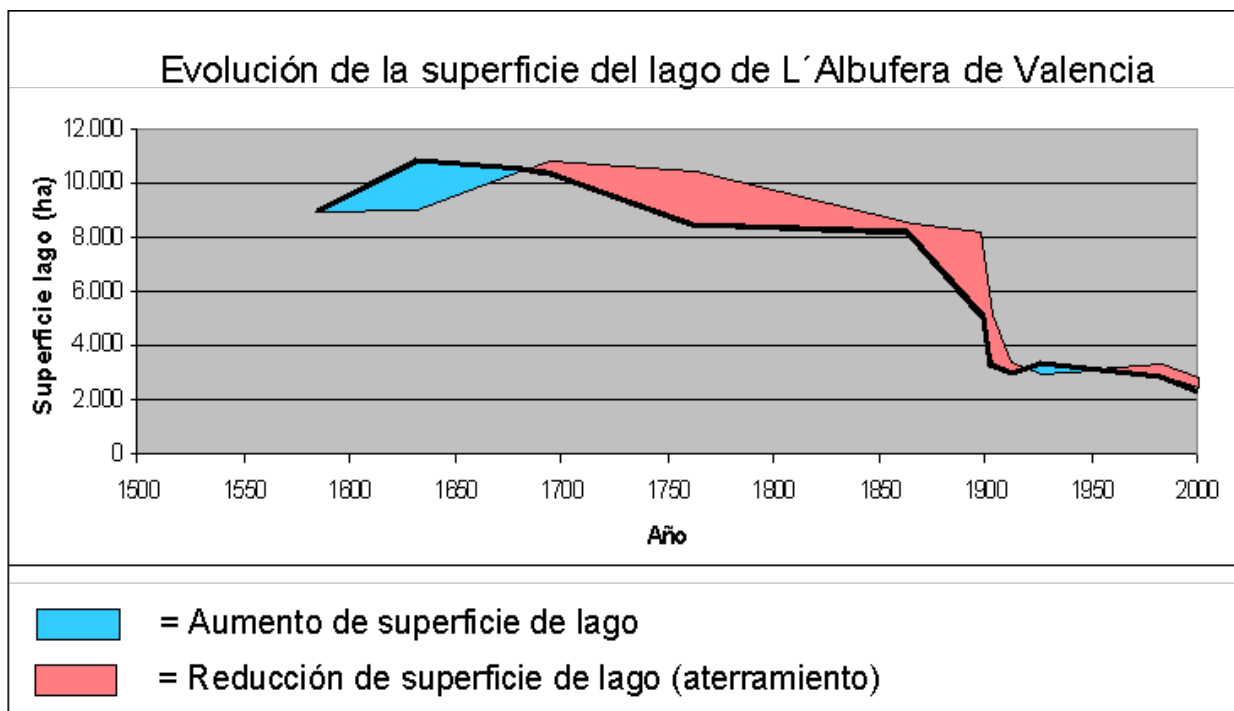


Figura 26. Evolución de la superficie del lago de l'Albufera de Valencia. (fuente: Typsa, s.f.)

3.3. Tramo 3: Gola de Pujol – Gola del Perellonet

El Tramo 3 mide 5 km y está formado por la playa abierta de la Dehesa, con una pendiente media de 1,88%. Sus arenas son medias ($D_{50} = 0,31$ mm). La evolución de su línea de costa se muestra en la siguiente imagen:

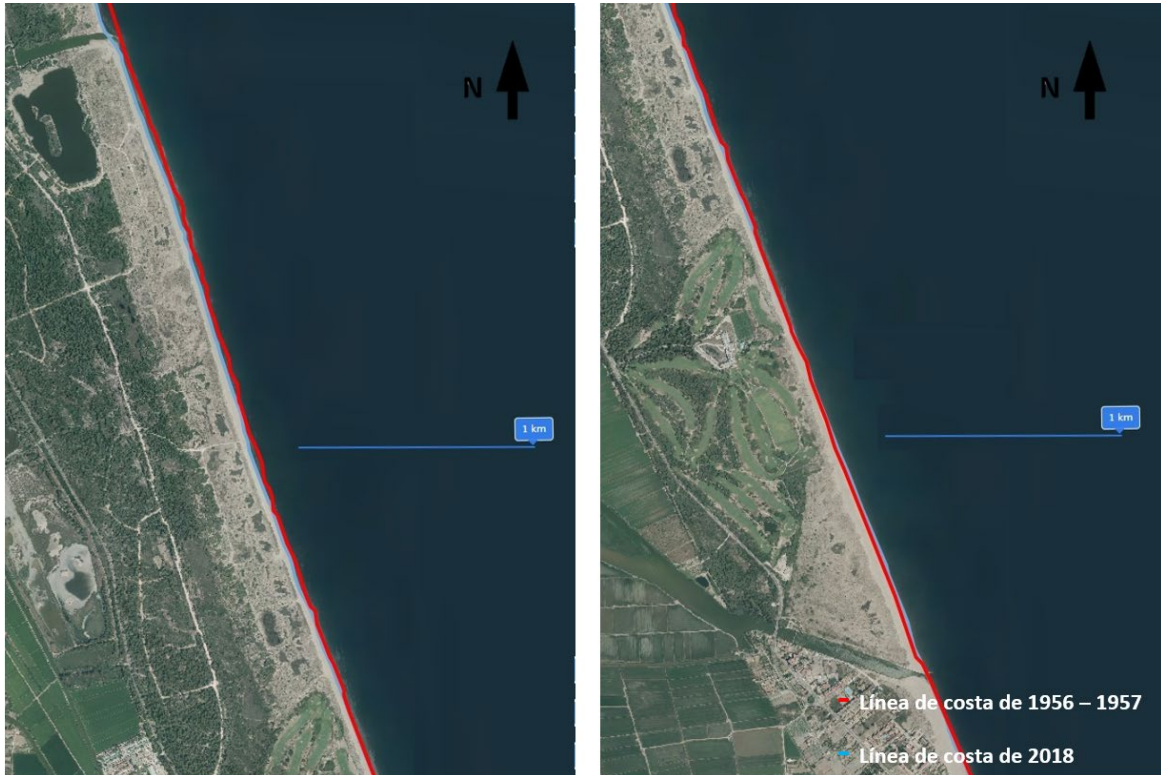


Figura 27. Comparación de las líneas de costa de 1956 - 1957 y 2018 en el Tramo 3. (fuente: Elaboración propia, Comparador PNOA)

Esta playa ha sido erosionada, a excepción de los últimos dos kilómetros, donde la presencia de la Gola de Pujol ha provocado una acreción de la costa. Las recesiones llegan a los 35 m en las zonas más al norte. Este tramo, al igual que el anterior, se encuentra entre el Parque Natural de L'Albufera y el mar, por lo que es de gran relevancia su conservación.

3.4. Tramo 4: Gola del Perellonet – Puerto del Perelló

El Tramo 4, entre la Gola del Perellonet y el Puerto del Perelló mide 3.500 m y está formado por la playa del Perellonet o playa del Recatí. Es de tipo abierta, tiene una pendiente media del 1,29% y su arena se clasifica como media ($D_{50} = 0,23$ mm). Tiene anchuras máximas de 170 m y mínimas de 40 m.

Se trata de un tramo urbanizado en toda su longitud. Se encuentra en acreción, como se observa en la Figura 28, y muestra anchos de playa de dimensiones aceptables. Sin embargo, la gran cercanía de las urbanizaciones a la costa sin la protección de frentes dunares de por medio pone en peligro a los habitantes ante fuertes temporales y puede llevar a futuras erosiones del tramo.



Figura 28. Comparación de las líneas de costa de 1956 - 1957 y 2018 en el Tramo 4. (fuente: Elaboración propia, Comparador PNOA)

3.5. Tramo 5: Puerto del Perelló – Gola del Rey

El Tramo 5 mide 3,5 km y lo componen las playas del Perelló, la Llastra y les Palmeres. Tienen una pendiente media de 1,60% y arenas medias ($D_{50} = 0,25$ mm). Se trata de un tramo con anchuras mínimas de apenas 15 m, lo cual pone en peligro ante temporales a las urbanizaciones que se encuentran en primera línea de playa.

En la Figura 29 se observa que, en líneas generales, la costa de 2018 es muy similar a la de 1956, con ciertas erosiones y acreciones no muy significativas. Sin embargo, es un tramo que se ha de analizar con mayor detalle.

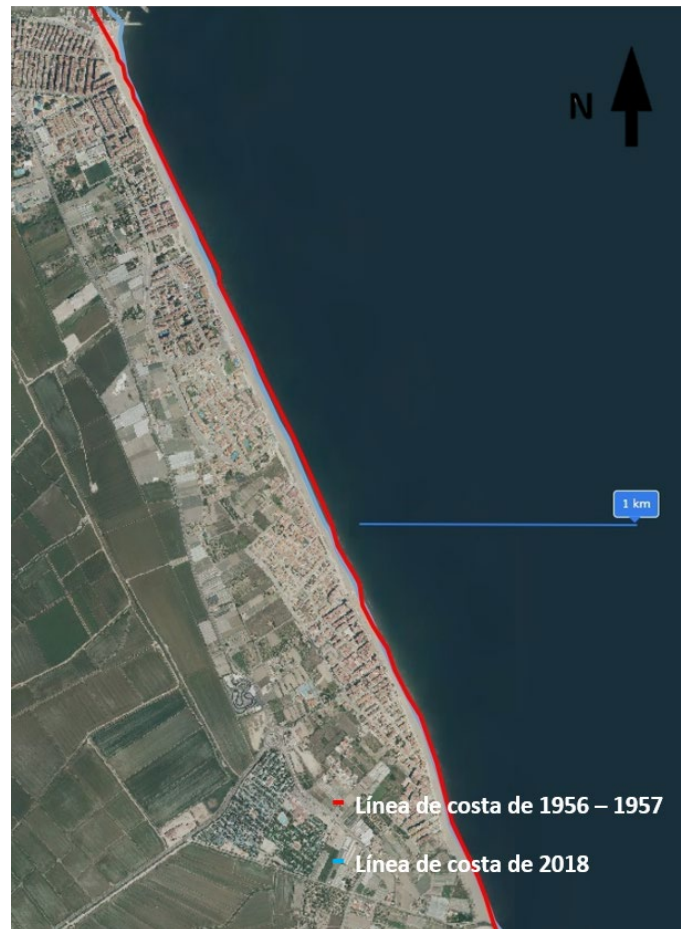


Figura 29. Comparación de las líneas de costa de 1956 - 1957 y 2018 en el Tramo 5. (fuente: Elaboración propia, Comparador PNOA)

Tras la construcción del Puerto de Perelló en 1972, hubo una reducción significativa de las tasas de transporte netas anuales, llevando a una erosión generalizada en todo el tramo, excepto por la zona inmediatamente al sur del puerto. La difracción del oleaje por efectos del dique provocó acreciones en esa zona. Los datos aportados por el Documento de Inicio de “Recuperación del tramo de costa entre las desembocaduras de los ríos Turia y Júcar (Valencia)” de Iberport Consulting (2012) muestran que el transporte neto anual entre 1965 y 1972 fue de $65.581 \text{ m}^3/\text{año}$, mientras que entre 1972 y 1981 fue de $48.014 \text{ m}^3/\text{año}$.

Sin embargo, a partir del año 1986, el puerto ya no perturbaba el equilibrio sedimentario, pues la saturación de los fondos en las inmediaciones del puerto discretizó el efecto de barrera al transporte que suponía el puerto. Como consecuencia, en los años noventa se alcanzaron los valores de transporte anteriores a la construcción del puerto, de unos $75.000 \text{ m}^3/\text{año}$.

Por lo tanto, se considera que los problemas de erosión de este tramo son consecuencia del nivel de antropización y de la eliminación del frente dunar, pues sigue recibiendo los aportes sedimentarios de las playas ubicadas al norte. Se han llevado a cabo numerosas aportaciones de sedimentos desde 1986, que no han conseguido solucionar los problemas de inundaciones y pérdidas de ancho de playa, por lo que se concluye que en este tramo se deberían llevar a cabo obras que modifiquen las condiciones de contorno impuestas por las urbanizaciones y el paseo marítimo, y quedan, por lo tanto, fuera del alcance de este estudio.

3.6. Tramo 6: Gola del Rey – Faro de Cullera

El último tramo es el más largo, midiendo aproximadamente 7,4 km, y está formado por las playas del Rey, del Mareny, de San Lorenzo y del Dosel. La pendiente va aumentando hacia el sur, con una media de 1,60%, mientras que el tamaño de la arena va en descenso, con una media de $D_{50} = 0,26$ mm, considerándose arenas medias.

Actualmente se encuentra en acreción. Se trata de un tramo que, antes de la construcción del Puerto del Perelló, conformaba, con las playas desde la Gola del Perellonet, una unidad morfodinámicamente estable que recibía los sedimentos de los tramos al norte y crecía aproximadamente $0,2-0,3$ m²/año.ml. Al igual que el Tramo 5, sufrió ligeros retrocesos tras la construcción del puerto, sin embargo, desde el año 1986, se revirtieron las acreciones anteriores volviendo a alcanzar el equilibrio sedimentario del tramo (Iberport Consulting, 2012).



Figura 30. Comparación de las líneas de costa de 1956 - 1957 y 2018 en el Tramo 6. (fuente: Elaboración propia, Comparador PNOA)

3.7. Conclusión

La evolución de la superficie de las playas hasta 2021 de los tramos descritos se puede observar en la siguiente figura:

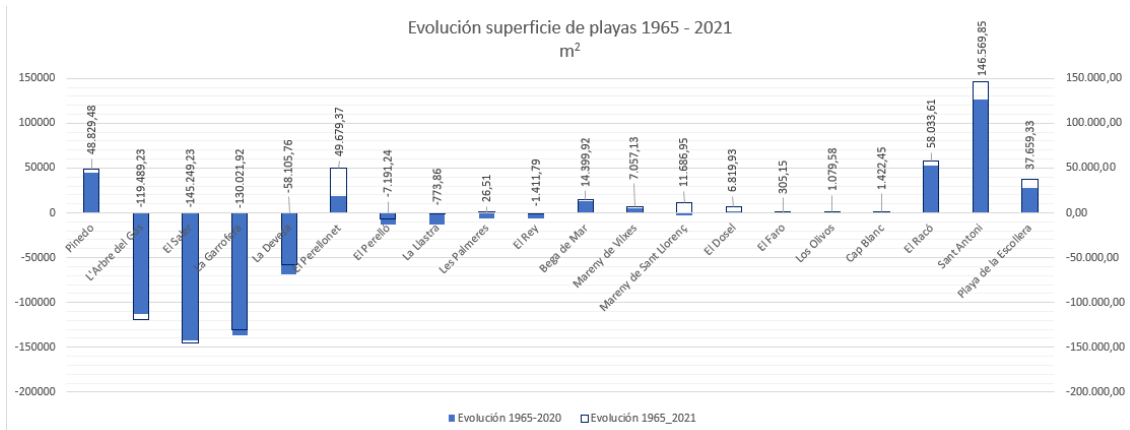


Figura 31. Evolución de la superficie de las playas entre 1965 hasta 2021 (m²). (fuente: Demarcación de Costas en Valencia)

Teniendo en cuenta la situación de cada tramo anteriormente comentada, se concluye que el tramo de actuación será el conformado por los Tramos 2 y 3. Se trata de las zonas con mayores erosiones y sin equilibrio sedimentario. Se considera que la erosión de toda la zona de estudio se irá propagando hacia el sur, por lo que se ha de buscar soluciones en los tramos más al norte. Se estudia la aportación de arena a las playas de l'Arbre del Gos, El Saler, la Garrofera y la Dehesa, contando con que el transporte longitudinal de sedimentos arrastrará una porción de la arena a las playas al sur. Se encuentran en situaciones menos graves o que no pueden ser solucionadas mediante aportes. Los volúmenes proyectados para compensar la subida del nivel del mar llegarán a las playas con el tiempo.

4. Volumen necesario para regenerar las playas

En este capítulo se llevan a cabo los cálculos considerados para obtener el volumen sedimentario necesario para regenerar las playas del tramo de estudio. Se tienen en cuenta tres volúmenes: el correspondiente a la erosión producida desde el año de la línea de costa a regenerar (1956) y los precisos para adelantarse al transporte litoral y a la subida del nivel del mar de los próximos años (hasta el 2040).

4.1. Volumen de erosiones localizadas

El volumen de las erosiones localizadas hace referencia a la cantidad de arena necesaria para compensar las erosiones desde el año 1956, por ser el primero del que se tienen datos fotográficos. Se obtiene multiplicando la longitud del tramo por la reducción del ancho de la costa por la suma de la profundidad de cierre (d) y la altura de berma (h).

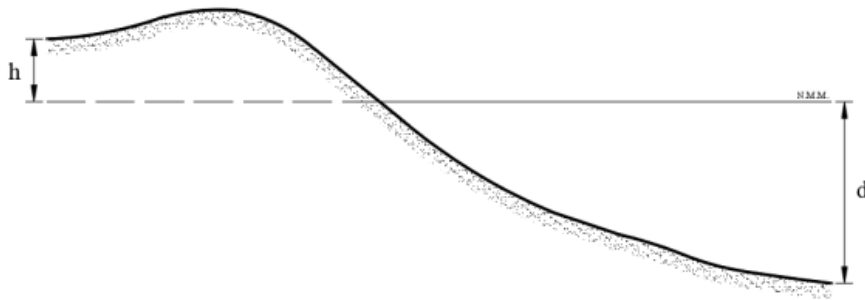


Figura 32. Altura de berma (h) y profundidad de cierre (d).

Se ha decidido dividir la zona de actuación en dos subtramos por darse niveles de erosión diferentes, el primero corresponde al Tramo 2 y el segundo al Tramo 3.

Para obtener el retroceso de la línea de costa, se han comparado ortofotos del año 1956-1957 y del 2018. Se ha medido la distancia entre ambas líneas en diferentes puntos para calcular la media de ambos subtramos. Se ha empleado el comparador de ortofotos del PNOA del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Los puntos medidos se muestran en la siguiente figura.

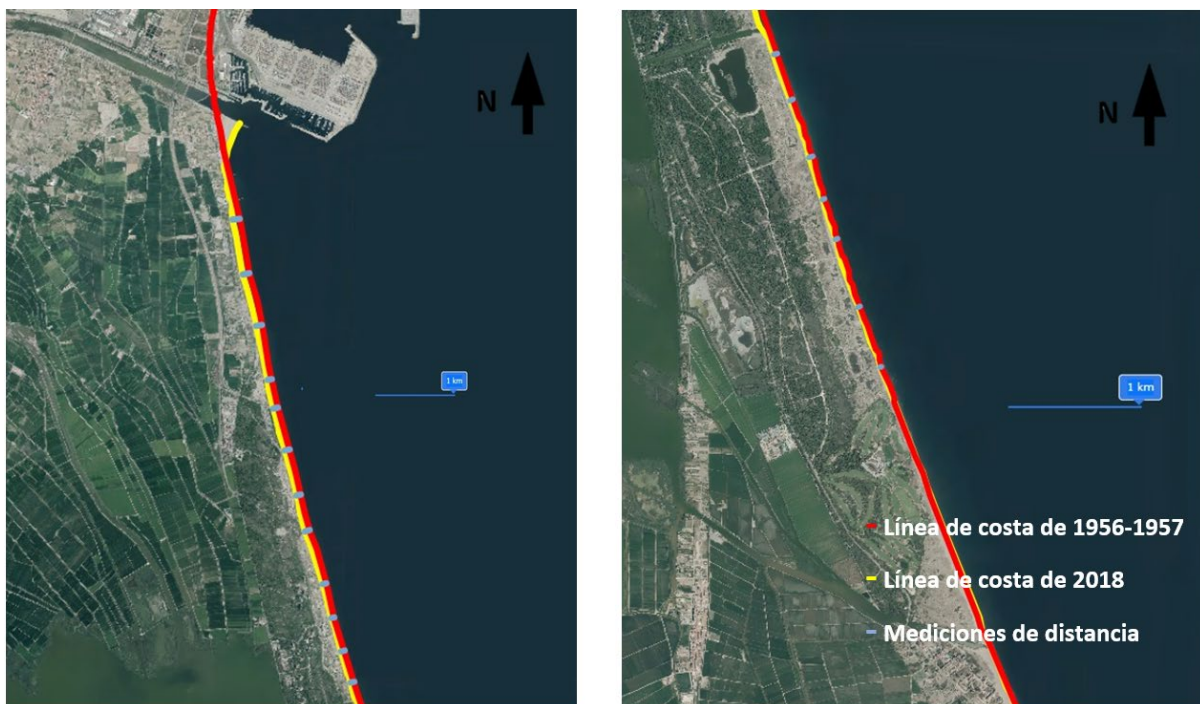


Figura 33. Puntos dónde se ha medido la distancia entre la costa de 1956-1957 y la de 2018 (izquierda: subtramo 1, derecha: subtramo 2). (fuente: Elaboración propia)

Del subtramo 2 se han tomado medidas de diferencia de línea de costa hasta la zona en la que se comienza a dar acreción, aproximadamente a 2 km de la Gola del Perellonet. La altura de berma considerada es de 2 m y la profundidad de cierre que se ha considerado es de 12,2 m, como se explica en el apartado 4.3. Profundidad de cierre. Se ha seleccionado la correspondiente a un periodo de retorno de 50 años por tratarse de reducciones de ancho de costa desde el año 1956.

Teniendo en cuenta que las longitudes son de 7,5 y de 3 km para el subtramo 1 y 2 respectivamente, se han obtenido los volúmenes aproximados de erosiones localizadas de 7 y 0,9 millones de metros cúbicos. El volumen total exacto es de 8.007.108,68 m³, por lo que el transporte longitudinal estimado es de 119.500 m³/año.

4.2. Volumen de erosión generalizada por subida del nivel medio del mar

La erosión generalizada es la correspondiente al volumen de material necesario para restablecer la anchura de playa perdida debido a la subida del nivel del mar provocada por el cambio climático. Para calcularlo, se emplea la Regla de Bruun (Bruun, 1962). Con ella se pueden obtener, tanto el retroceso esperado de la línea de costa, como la cantidad de arena que conseguiría compensar los efectos del calentamiento global.

De la Peña y Sánchez publicaron en 2018 en la Revista Digital del CEDEX las fórmulas que permiten calcular estos valores por la Regla de Bruun. Este método asume que la costa está en equilibrio y que se mueve sin cambiar su forma, es decir, que el material que entra es igual al que sale. No necesita una forma específica para mantener el perfil de equilibrio (De la Peña y Sanchez, 2018).

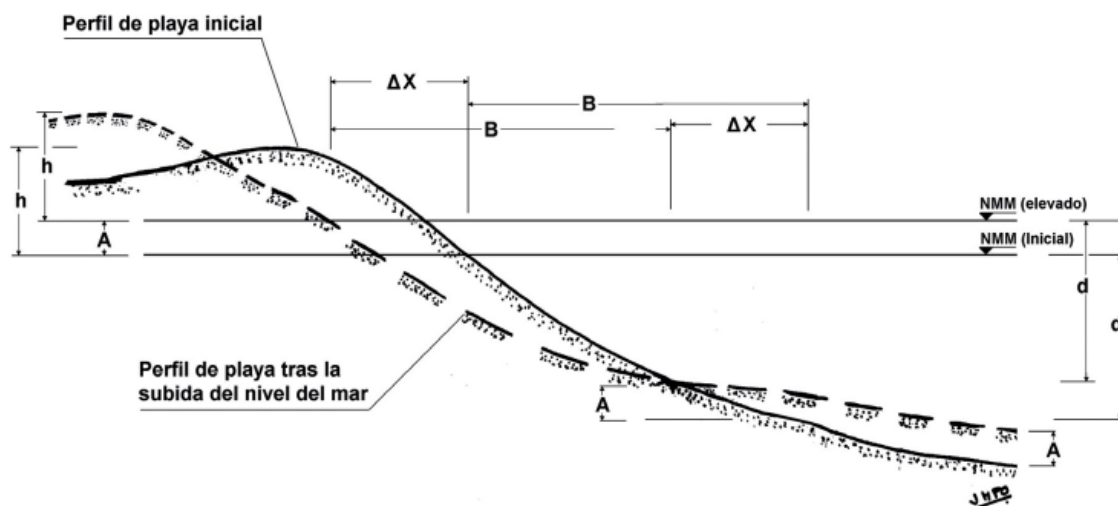


Figura 34. Variables de Bruun. (fuente: De la Peña y Sanchez, 2018)

Las fórmulas para obtener los valores nombrados son las siguientes:

$$AB = \Delta X(h + d) \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\Delta X = \frac{AB}{(h+d)} = \frac{A}{\tan \theta} \quad \text{Ecuación 4}$$

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

La subida del nivel del mar (A) se fija en el valor de 0,15 m hasta el año 2040 siguiendo las estimaciones del IHCantabria como se detalla en el apartado 4.4. *Cambio climático*.

La distancia entre la orilla y la profundidad de cierre (B) se obtiene mediante las batimetrías de 2006 y 2007 proporcionadas por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). La profundidad de cierre tomada en este caso es la correspondiente a un periodo de retorno de 20 años, pues se trata de las predicciones hasta el año 2040. El valor se toma de lo calculado en el apartado 4.3. *Profundidad de cierre*, siendo este de 5,38 m, pero la distancia medida se aproxima a la de la cota -5, ya que las batimetrías muestran isobatas de números enteros.

Las distancias se toman de diferentes puntos a lo largo del tramo de estudio. Al percibirse una tendencia creciente de la distancia hacia el sur, se ha decidido, una vez más, dividir la zona de actuación en los mismos subtramos que en el apartado anterior. Se obtienen las distancias medias de 275 m en el primer subtramo y de 348 m en el segundo subtramo.

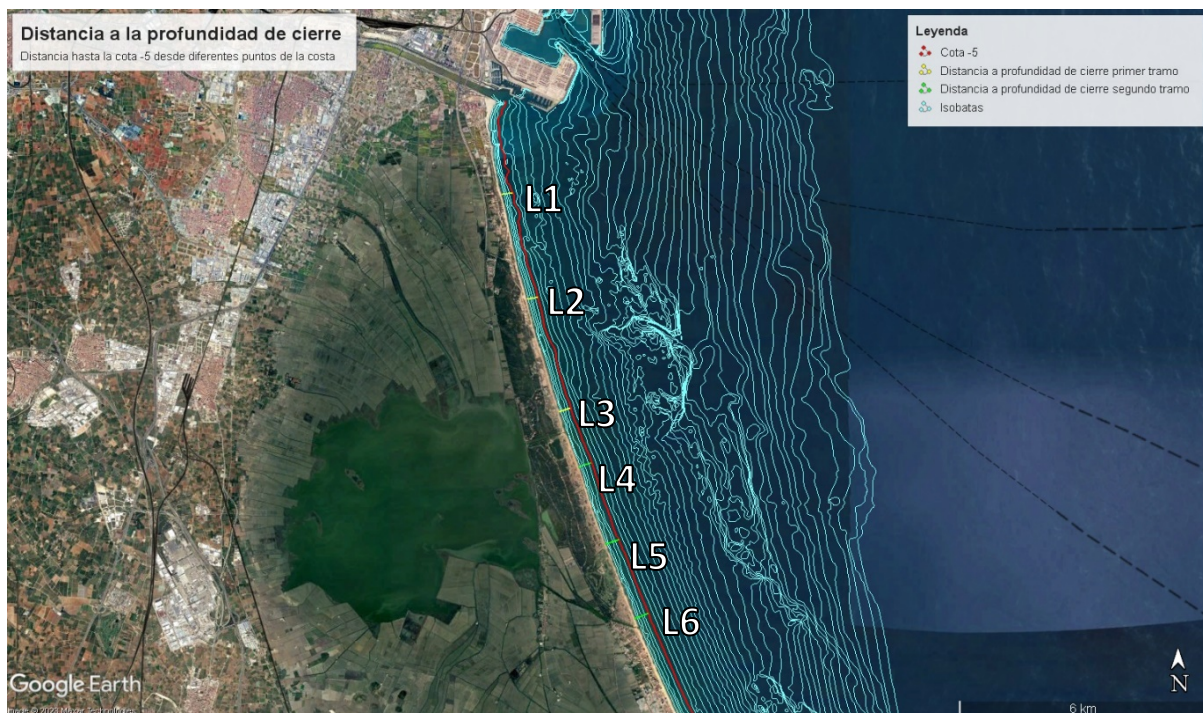


Figura 35. Puntos donde se ha medido la distancia hasta la cota -5 en el tramo de actuación. (fuente: Elaboración propia)

La altura de berma se fija en 1 m en todo el tramo como procede el IHCantabria en sus informes de previsión de retroceso de línea de costa.

Con estos valores, se obtienen los resultados resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 8. Resultados Regla de Bruun en tramo de actuación. (fuente: Elaboración propia)

Subtramo	AB (m ³ /m)	Retroceso de la orilla (m)	Volumen necesario para regenerar el subtramo (m ³)
Segundo espigón de Pinedo – Gola de Pujol	41,25	6,55	309.375
Gola de Pujol – Gola del Perellonet	52,25	8,29	261.250
TOTAL			570.625

Sin embargo, en el caso del ascenso del nivel del mar, se debe calcular el volumen correspondiente a todo el tramo entre el Puerto de Valencia y el Faro de Cullera. A pesar de que los volúmenes de material vayan a ser aportados en las playas de El Saler y de la Dehesa, todo el tramo sufrirá las consecuencias del cambio climático y deben compensarse sus efectos.

El procedimiento es el mismo al mostrado anteriormente, pero con diferente valor de profundidad de cierre. El obtenido mediante el punto SIMAR 2081111 para un periodo de retorno de 20 años es de 4,92 m, como se obtiene en el apartado 4.3. *Profundidad de cierre*, por lo que la isobata hasta la que se ha medido la distancia es la de 5 m. Para llevar a cabo los cálculos de la distancia hasta la profundidad de cierre (B), se divide el resto del tramo en los siguientes subtramos: Tramos 4, 5 y 6.

Los parámetros obtenidos y los resultados calculados quedan resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 9. Resultados Regla de Bruun en el resto del tramo. (fuente: Elaboración propia)

Subtramo	AB (m ³ /m)	Retroceso de la orilla (m)	Volumen necesario para regenerar el subtramo (m ³)
Gola del Perellonet – Puerto del Perelló	52,1	8,83	183.913
Puerto del Perelló – Gola del Rey	48,05	8,14	174.902
Gola del Rey – Faro de Cullera	53,1	9	389.754
TOTAL			748.569

Teniendo en cuenta las Tablas 8 y 9, el volumen final necesario para compensar la subida del nivel del mar en todo el tramo es de 1.319.194 m³.

4.3. Transporte longitudinal de sedimentos

El concepto de transporte litoral se refiere al transporte de sedimentos debido a las olas y las corrientes que se da en la zona entre la costa y la profundidad de cierre. Se distinguen dos tipos: el transversal y el longitudinal. El primero es la componente perpendicular a la costa del transporte de sedimentos. Se trata de un movimiento oscilatorio. El segundo es la componente paralela a la costa del transporte, que varía según la altura del oleaje y la dirección y es el relevante en aguas más profundas (U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 1984).

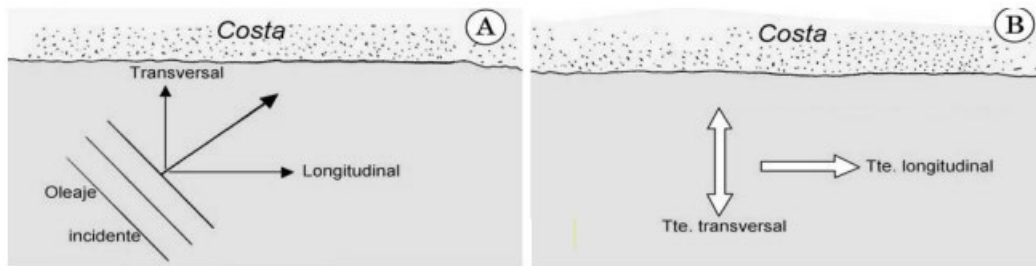


Figura 36. Esquema de composición del oleaje y del transporte de sedimentos generado. (fuente: De la Peña, 2007)

El relevante para este estudio es, por lo tanto, el longitudinal. Se distinguen dos valores: el transporte bruto y el neto. El bruto suma todo el volumen transportado independientemente de su dirección, mientras que el neto le da signo positivo o negativo a cada una de las dos direcciones para finalmente obtener el balance con la dirección resultante.

$$Q_{bruto} = Q_{derecha} + Q_{izquierda} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$Q_{neto} = Q_{derecha} - Q_{izquierda} \quad \text{Ecuación 6}$$

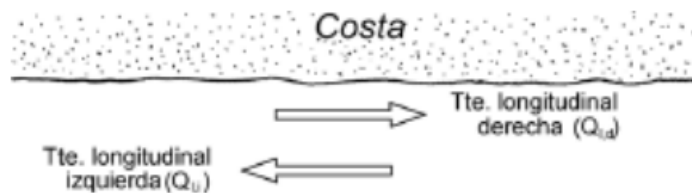


Figura 37. Tipos de transporte longitudinal de sedimentos. (fuente: De la Peña, 2007)

En el caso de este estudio, se considera positivo el transporte de norte a sur, y negativo el de sur a norte. Su valor se puede obtener por varios métodos: con campañas de toma de datos, con evidencias morfológicas de la costa, con la evolución de la línea de costa y con cálculos teóricos.

Con los resultados obtenidos en el apartado 6.1. *Volumen de erosiones localizadas* se puede estimar el transporte longitudinal por el método de evolución de la línea de costa. Del año 1956 al 2018 se ha obtenido una erosión de 8.007.108,68 m³, por lo que el transporte anual neto ha sido en ese periodo de tiempo de 119.509,08 m³/año de norte a sur.

En cuanto al cálculo teórico, se emplea el “Método del flujo de energía” del Coastal Engineering Research Center (CERC), desarrollado en el Shore Protection Manual (1984). Este asume que la tasa de transporte longitudinal depende de la componente paralela a la costa del flujo de energía en la zona de rompientes.

El flujo de energía por unidad de cresta de ola se obtiene mediante:

$$P_l = (E \cdot c_g)_b = \frac{\rho g H_b^2}{8} c_{g_b} \quad \text{Ecuación 7}$$

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

Si la cresta de ola crea un ángulo α con la línea de costa, el flujo de energía en la dirección del avance de la ola por unidad longitudinal de playa es:

$$P_l = P \cdot \cos \alpha_b \cdot \sin \alpha_b = \frac{pgH_b^2}{8} c_{g_b} \cdot \cos \alpha_b \cdot \sin \alpha_b \quad \text{Ecuación 8}$$

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

En teoría linear y con aguas poco profundas, se puede asumir que $c_g \approx c$. Teniendo en cuenta que $\cos \alpha \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot \sin 2\alpha$, se puede reescribir la ecuación de la siguiente manera:

$$P_l = \frac{pgH_b^2}{16} c_b \cdot \sin 2\alpha_b \quad \text{Ecuación 9}$$

Se asumen los siguientes aspectos para trabajar con las alturas de ola significativa obtenidas de datos en aguas profundas:

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

$$C_g \cong C = \sqrt{2gH_b} \quad \text{Ecuación 10}$$

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:

$$H_b = k_s \cdot k_r \cdot H_0 \quad \text{Ecuación 11}$$

Con:

k_s	Coficiente de asomeramiento. Se considera constante $k_s^{1/2} = 1,14$
k_r	Coficiente 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 altura de ola en rotura puede obtenerse con:

$$H_b^{1/4} = 1,14 \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot H_0^{1/2} \quad \text{Ecuación 12}$$

Por lo tanto, la componente longitudinal del flujo de energía en aguas profundas es:

$$P_l = 0,05 \cdot p \cdot g^{3/2} \cdot H_{S0}^{5/2} \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot \sin 2\alpha_0 \quad \text{Ecuación 13}$$

Para los cálculos de este informe, es necesario obtener la tasa potencial de transporte volumétrica Q_l . Esta se puede obtener mediante la siguiente relación con la tasa potencial de transporte de peso sumergido I_l :

$$I_l = (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot (1 - n) \cdot Q_l \quad \text{Ecuación 14}$$

Siendo:

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

El transporte sedimentario sumergido I_l se relaciona con el flujo de energía por unidad longitudinal de playa P_l mediante la siguiente ecuación:

$$I_l = K \cdot P_l \quad \text{Ecuación 15}$$

Juntando las Ecuaciones 14 y 15, se puede despejar el transporte longitudinal:

$$Q_l = \frac{K \cdot P_l}{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot (1 - n)} = \frac{K \cdot 0,05 \cdot \rho \cdot g^{3/2} \cdot H_{S0}^{5/2} \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot \sin 2\alpha_0}{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot (1 - n)} \quad \text{Ecuación 16}$$

El coeficiente K se determinó mediante alturas de ola media cuadráticas con el oleaje regular en rotura. El Shore Protection Manual (1984) definió el valor $K_{SPM,rms} = 0,92$. Al utilizar alturas de ola significativa se convierte de la siguiente manera:

$$K_{SPM,s} = 0,92 \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)^{5/2} = 0,39 \quad \text{Ecuación 17}$$

A algunas de las variables se les puede asignar valores fijos. La aceleración gravitacional es $9,81 \text{ m/s}^2$. En el caso medio de arenas de cuarzo la densidad del sedimento es de 2650 kg/m^3 y la porosidad de $0,4$. La densidad del agua de mar es de 1025 kg/m^3 .

Teniendo en cuenta todas las variables, se obtiene la fórmula del transporte longitudinal de sedimentos como la suma del transporte para cada altura y dirección teniendo en cuenta su probabilidad de presentación:

$$Q_l = \sum (2,027 \cdot 10^6 \cdot H_0^{5/2} \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot \sin 2\alpha_0 \cdot K_p) \quad \text{Ecuación 18}$$

Con:

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

El ángulo α_0 es el que forma la dirección de ola con la normal a la costa, sin embargo, los datos de oleaje suelen proporcionar los ángulos respecto al norte, por lo que este valor debe ser transformado:

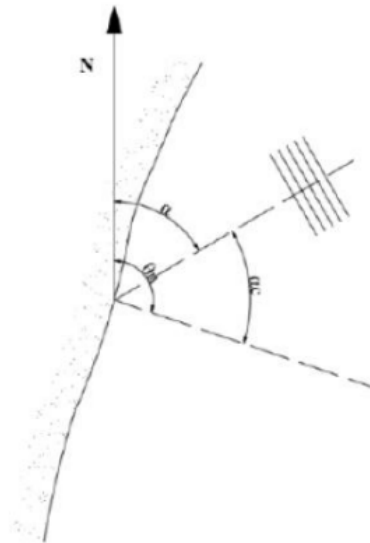


Figura 38. Relación de ángulos para el cálculo de transporte longitudinal. (fuente: De la Peña, 2007)

- 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 $\alpha_c = \theta_n - \alpha$

En el caso del tramo de actuación, se ha obtenido mediante Google Earth un ángulo entre la normal y la costa de 73,98 grados. Con las probabilidades obtenidas del punto SIMAR 2081112 para cada altura de ola y dirección, se ha obtenido un transporte bruto de 1.148.886 m³/año y un transporte neto de 387.059 m³/año. En el Anejo 1 se muestran los datos detallados. Este valor es aproximadamente el triple del calculado directamente por la evolución de la línea de costa; esta diferencia es razonable por el error admisible del cálculo teórico del SPM (1984), la curvatura de las líneas batimétricas, el cambio de la granulometría media con los años y otros factores.

Considerando que las actuaciones a realizar pretenden adelantarse a los retrocesos hasta el año 2040, y que los volúmenes obtenidos por erosión localizada son los correspondientes al año 2018, se ha de calcular el volumen necesario a introducir para estos 22 años de diferencia, que resulta en 8.515.307 m³.

4.4. Volumen total

El volumen total a regenerar, teniendo en cuenta las erosiones localizadas, las erosiones generalizadas y el transporte longitudinal de sedimentos, es finalmente de 17.841.610,05 m³.

5. Banco de arena de aguas profundas de Cullera

En el año 2022, la empresa consultora Tyspa redactó el “Proyecto de extracción de arena en aguas profundas de Valencia y transporte para alimentación de playas” (Ramos y Marco, 2022) y el 22 de

julio del mismo año, la Subdirección General para la Protección de la Costa de la Dirección General de la Costa y el Mar informó favorablemente someter el proyecto.

Hace referencia a un yacimiento de unos 23,5 km² de extensión a 10 km de la costa más cercana, entre el Perelló y Cullera. Se encuentra a una profundidad de entre 60 y 80 m y se divide en los polígonos A, B, C y D de la “zona 15”. Es de especial interés ya que se considera apto para ser empleado en la regeneración de las playas de la costa valenciana. Consta de aproximadamente 66 hm³ aptos para ser dragados y está cubierto de una capa de finos con un valor medio de 0,5 m de espesor.

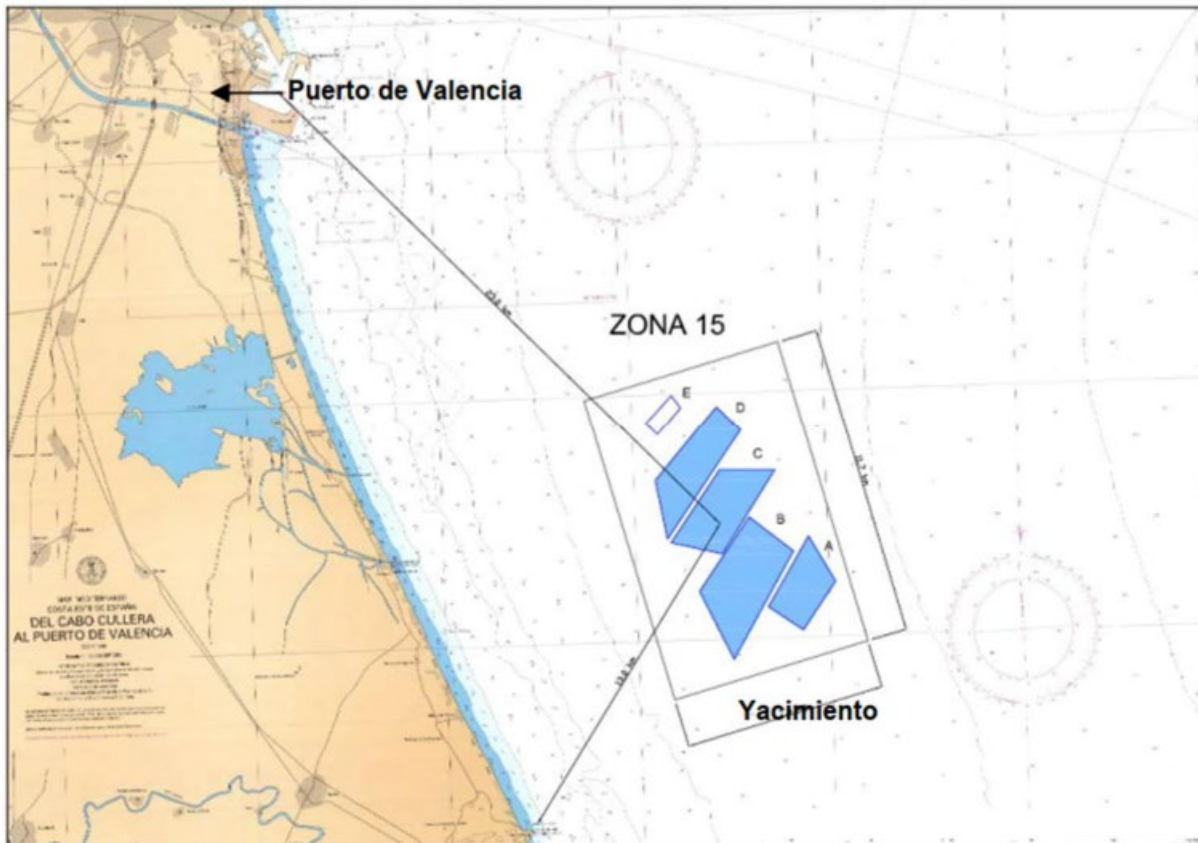


Figura 39. Carta náutica y localización del yacimiento. (fuente: Ramos, R., Marco, D., 2022)

En 2007 ya se llevó a cabo un estudio exhaustivo del yacimiento en el “Estudio de caracterización sedimentológica y bionómica de zonas en aguas profundas de Valencia y Alicante”. Se realizaron cientos de sondeos y se tomaron miles de muestras para analizar la zona, información que fue ampliada en el proyecto de Tysa. En 2010 se redactó el “Proyecto Extracción de arena en aguas profundas de Valencia para alimentación de playas (Valencia)” y obtuvo una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) favorable por parte de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente en septiembre de 2013. Sin embargo, el DIA caducó tras 6 años, ya que todavía no estaban redactados los proyectos específicos de actuaciones de regeneración de playas. Por ello fue necesario redactar el proyecto de 2022, que pretendía a la vez completar ciertos aspectos que el de 2010 obviaba, como los destinos y actuaciones concretas de las aportaciones a llevar a cabo y el lugar de vertido de los materiales no adecuados para las actuaciones.

La zona de dragado no interfiere con ninguno de los espacios protegidos del entorno, como pueden ser Espacios Naturales Protegidos, Espacios Protegidos Red Natura 200 y Áreas protegidas por

instrumentos internacionales. Tampoco se considera ningún factor paisajístico por la profundidad a la que se encuentra el yacimiento. Sin embargo, la embarcación que vierta los sedimentos sí puede tener impactos visuales significativos, por lo que se limita su distancia a la costa en 2 km (Ramos y Marco, 2022).

A nivel turístico, se prevé que los registros de visitantes mejoren por consecuencia de la regeneración de las playas, especialmente tras los años de pandemia de COVID-19, en los que el turismo valenciano se vio afectado muy drásticamente y negativamente. En cuanto a la actividad económica, solo ciertos sectores pesqueros se verán afectados. En la zona de dragado se lleva a cabo pesca de arrastre y de artes menores frecuentemente. Sin embargo, los datos actuales no permiten cuantificar el nivel de afección sobre el sector.

En la caracterización del sedimento realizada en el Proyecto de 2022, se demostró que el yacimiento sigue siendo apto para regenerar las playas valencianas. Sigue cumpliendo los requisitos granulométricos (% de finos y carbono orgánico total, COT) y de calidad ambiental (químicos y microbiológicos). Los muestreos para caracterizar sedimentológicamente el sedimento tampoco han variado en los 2 primeros metros de profundidad, y se estima que a mayores profundidades tampoco han cambiado.

5.1. Volumen apto de extracción

A pesar de constar el yacimiento de 5 polígonos, el E no se tiene en consideración, ya que muestra mayores porcentajes de finos que el resto. Los estudios realizados para el proyecto de 2010 respecto al área de extracción y los volúmenes de cada polígono quedan recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 10. Área de extracción y volumen de arena de cada polígono. (fuente: García y Moreno, 2010)

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

En el proyecto se distingue el volumen fino del utilizable, que es el correspondiente a arena media y gruesa. Para ello se utilizaron los siguientes documentos:

- 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.

Se obtuvieron los siguientes volúmenes correspondientes a material fino y utilizable, junto a su porcentaje de finos:

Tabla 11. Volúmenes de diferentes materiales y porcentaje de finos. (fuente: García y Moreno, 2010)

Polígono	Tipo de material	Volumen ($\cdot 10^6 \text{ m}^3$)	% finos
Polígono A	Finos	3,5	29,2
	Explotable	12,0	
Polígono B	Finos	8,0	27,6
	Explotable	29,0	
Polígono C	Finos	4,0	16,0
	Explotable	25,0	
Polígono D	Finos	9,5	42,2
	Explotable	22,5	
TOTAL	Finos	25,0	28,25
	Explotable	88,5	

El porcentaje de finos del yacimiento se debe tener en cuenta para determinar el volumen a extraer, con el fin de asegurar que haya la cantidad necesaria de arena explotable. Con el valor calculado en el apartado 5.4. *Volumen total*, se estima que sería necesario extraer 24.866.355,47 m³.

Se puede apreciar con los volúmenes mostrados en la anterior tabla que el yacimiento consta de cantidades más que suficientes para suplir las necesidades del tramo de estudio. El contenido en finos superior al 10% hace que sea necesario tomar medidas preventivas durante la extracción y el vertido de los sedimentos para evitar los efectos ambientales negativos causados por la turbidez.

5.2. Granulometría

El CEDEX establece en 2013 que, para regenerar costas, uno de los factores más importantes a tener en cuenta es la granulometría, tanto de las playas como de las aportaciones. El sedimento vertido debe ser de igual o mayor granulometría que el natural de la costa. Por ello es necesario comparar el tamaño de los sedimentos del yacimiento con los de las playas de El Saler y la Dehesa. También es importante considerar la turbidez que pueden generar las actuaciones. A mayor proporción de finos, mayores las consecuencias negativas, por lo que el porcentaje de limos y arcillas (menor que 0,075mm) se limita al 5% de la distribución granulométrica (CEDEX, 2013).

El proyecto de 2010 resume los datos granulométricos obtenidos por los 279 sondeos realizados en el yacimiento y quedan resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 12. Características granulométricas del árido del yacimiento. (fuente: García y Moreno, 2010)

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

Como se puede apreciar en la tabla, la cantidad de conchas no es de gran importancia, pues el diámetro a penas cambia. La proporción de finos obtenida es del 28,25%.

5.3. Compatibilidad con el tramo de estudio

En cuanto a la granulometría del tramo de estudio, como se describe en el apartado 5. *Descripción por tramos*, es muy variada a lo largo de los tramos. En las playas más al norte se dan tamaños de áridos muy superiores a los de playas del sur. Sin embargo, el valor de interés en este estudio es la media, ya que a pesar de que las actuaciones se centren en las playas de El Saler y la Dehesa, se cuenta con que el transporte longitudinal de sedimentos lleve las aportaciones a todo el tramo. El diámetro medio del material granular (D_{50}) de las playas del tramo obtenido por el Plan de Ecocartografías del litoral español de 2006 y 2007 es de 0,31 mm.

Se tiene en cuenta que una playa en equilibrio sedimentario suele recibir aportes de partículas gruesas menores a los de partículas finas. Sin embargo, las partículas finas son las primeras en ser transportadas a sotamar y a profundidades mayores. Granulometrías con mayores porcentajes de material grueso son, por lo tanto, comunes en playas en erosión (De la Peña, 2007), por lo que los mayores diámetros medios de las playas más cercanas al Puerto de Valencia no implican que así fuera su granulometría original.

Por lo tanto, se concluye que el yacimiento es adecuado para regenerar las playas del tramo entre el Puerto de Valencia y el Faro de Cullera. El diámetro promedio del yacimiento es superior al de las playas y se cuenta con que su granulometría también es variada, lo cual compatibiliza mejor su utilización.

Como los polígonos A y B constan de diámetros más compatibles con los de las playas del norte, y constan de una gran suma de volumen extraíble, se plantea la extracción de sedimentos principalmente de esos dos polígonos. Para aceptar esta propuesta, se deberían comparar los diámetros en las otras zonas a las que está destinado el material del yacimiento, por si otros tramos precisasen diámetros medios todavía superiores.

6. Estudio técnico y económico de la extracción de arena

El yacimiento del que se pretende extraer la arena es subacuático, por lo que es necesario emplear equipo de dragado. Este consta de la maquinaria encargada de la excavación (draga), la de transporte del material si es necesaria (gánguil), la remolcadora del gánguil en caso de que no sea autopropulsado (remolcador) y otros elementos auxiliares como romperrocas, tuberías, bombas, etc. (Chaparría, 2004).

6.1. Elección del equipo de dragado

Para elegir el equipo óptimo se han de tener diferentes condicionantes en cuenta:

- Condiciones meteorológicas (exposición a oleaje)
- Condiciones físicas (naturaleza, volumen y profundidad del material a extraer, accesibilidad a la zona, distancia hasta la zona de vertido)
- Condiciones técnicas del equipo (disponibilidad en el mercado, capacidad, autopropulsión y sistema de fijación)

Hay varios tipos de dragas que se pueden diferenciar según su técnica de ejecución del dragado, de acción mecánica y de succión. Dentro de las últimas se pueden diferenciar dragas hidráulicas, neumáticas y sumergidas. Sin embargo, las más comunes quedan resumidas en el siguiente esquema:

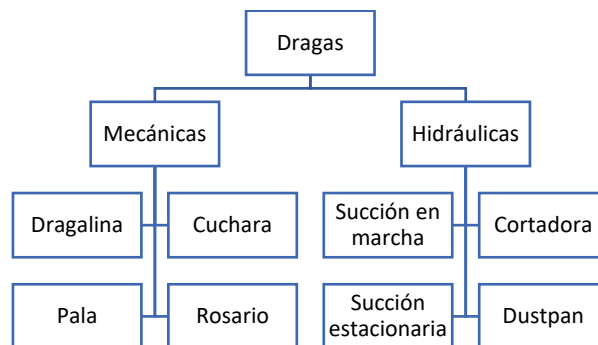


Figura 40. Clasificación de las dragas. (fuente: Elaboración propia)

Teniendo en cuenta la profundidad del yacimiento y los volúmenes que se pretenden extraer, el equipo más adecuado es la draga de succión en marcha o de arrastre (Trailing Suction Hopper Dredger o Trailer).

Este tipo de draga puede navegar en aguas profundas transportando en su interior, en la cántara o bodega, el material extraído. La capacidad de la cántara varía entre 1.000 y 46.000 m³. La extracción se lleva a cabo mediante un tubo que succiona la arena mientras navega, reduciendo así el ciclo de dragado y obteniendo excavaciones más uniformes. Se puede realizar sin problema con alturas de ola de hasta 2 m. El cabezal suele tener dientes y jets de agua para arrancar el material. El vertido se puede realizar por fondo, por cañón o por tuberías (Del Campo y Negro, 2009).

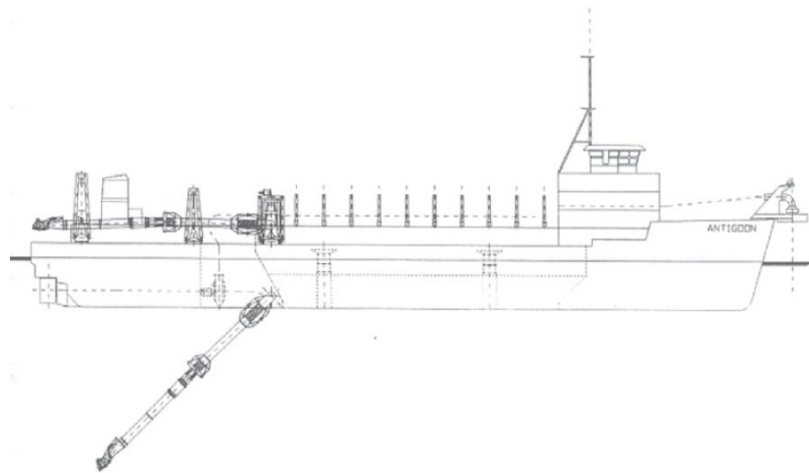


Figura 41. Draga de succión en marcha. (fuente: Chaparría, 2004)

El ciclo de trabajo de las dragas de succión en marcha consta de las siguientes fases:

- Navegación sin carga (ida)
- Tiempo de carga
- Navegación con carga (hasta la zona de descarga)
- Tiempo de descarga (por compuerta o por tubería)

- Navegación sin carga
- Giros y maniobras

Muestra grandes ventajas, entre ellas, cierta inmunidad a las condiciones atmosféricas y del mar, la independencia de operación y el elevado volumen de producción. Los elementos principales de este equipo de dragado son las bombas de dragado, los tubos de succión y aspiración, los cabezales de dragado y la cántara.

Lo más común es que haya 1 o 2 bombas, pudiendo llegar a haber 4. La profundidad de dragado depende de la altura de vacío que genere la bomba. Se ubican generalmente en la sala de máquinas, aunque también pueden estar en el tubo de aspiración. Los tubos de succión conectan el material a extraer con la cántara. Puede haber 1 o 2 y se extienden durante el dragado. Se pueden configurar según la profundidad máxima a la que se vaya a dragar. Su diámetro varía entre los 300 y los 1.400 mm dependiendo de la potencia de las bombas y el volumen de la cántara (Escalante, 2023)

Los cabezales de succión conectan el material a dragar con el tubo de succión, por lo que es necesario garantizar su buen funcionamiento, siendo de especial relevancia su diseño, calidad y resistencia. Su producción depende del ancho, de la profundidad de penetración y de la velocidad de dragado. Se distinguen diferentes tipos de cabezales en función del terreno a dragar:

Tabla 13. Tipos de cabezales de dragado en función del terreno. (Del Campo y Negro, 2009)

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

La cántara es donde se retiene el material dragado hasta ser vertido. Es el principal elemento caracterizador de las dragas. Con el tiempo se han creado dragas de mayor capacidad para satisfacer las necesidades de obras de enormes volúmenes de arena. Varían entre los 1.000 y 46.000 m³, sin embargo, existen muy pocos equipos de más de 20.000 m³. A partir de los 17.000 m³ pasan a denominarse dragas de succión en marcha tipo “Jumbo”, que es el tipo considerado para este estudio por las dimensiones de sedimentos proyectadas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que hay una cantidad muy limitada de este tipo de dragas, siendo las de capacidades superiores a 15.000 m³ tan solo el 6% (25 unidades) de las dragas existentes en el mundo en el año 2018 (Escalante, 2023). Las dragas más modernas constan de un sistema ALMOB (Automatic Light Mixture Overboard), que permite devolver al mar el material con densidades más bajas que las deseadas.

Tabla 14. Dragas Jumbo de mayor capacidad. (fuente: Escalante, 2023)

Draga	Cántara (m ³)	Profundidad (m)	Calado cargada (m)
Leiv Eriksson	46.000	155	15,15
Cristóbal Colón	46.000	155	15,15
HAM 318	37.293	100	13
Queen of Netherlands	35.500	160	13,67
Fairway	35.500	160	13,67

6.2. Ciclo de trabajo

Como ya se ha comentado, el ciclo de dragado de las dragas de succión en marcha consta de 6 fases.

Navegación sin carga

La navegación al lugar de dragado depende de la velocidad de la draga y la distancia al yacimiento. Para asegurar la estabilidad de la embarcación, es común el llenado de la cántara con cierta cantidad de agua.

Tiempo de carga

Antes de comenzar los trabajos de extracción, se ha de vaciar el agua de la cántara empleada para conseguir estabilidad durante el transporte en lastre de la draga. A continuación, con una velocidad de 2 a 3 nudos, se extienden los tubos, teniendo en cuenta la importancia de navegar con velocidad positiva respecto al suelo para evitar que los tubos, ya en contacto con el fondo, se apoyen en dirección contraria. El posicionamiento de la embarcación se lleva a cabo mediante un sistema de hélices y/o toberas a proa y popa.

Se han de configurar las bombas con su máxima capacidad de succión para reducir al máximo los tiempos de operación. La velocidad de la draga, la presión de los cabezales sobre el fondo y el tipo de cabezal también dependerán del tipo de suelo a extraer.

A la cántara llega una mezcla de agua y suelo, que inicialmente puede ser de una densidad inferior a la deseada, para lo que se emplea el sistema ALMOB. Todo el proceso de dragado es controlado por el timonel y el operador y queda registrado en un sistema computarizado automático.

Según el tipo de material a dragar, el proceso de llenado es distinto. En el caso de materiales granulares, la parte con mayor concentración de sólidos se deposita en el fondo, mientras que la de menor concentración queda en la parte superior. Cuando se alcanza el nivel de vertido, se sigue dragando, de tal manera que la parte superior es sustituida por la mezcla de mayor concentración hasta alcanzar el máximo hundimiento permitido.

Los materiales finos, al contrario, permanecen en suspensión, por lo que la mezcla que empieza a salir por el vertedero suele tener concentraciones muy similares a la que se queda en el interior. Por este motivo, se finaliza el dragado una vez alcanzado el nivel del vertedero, que se coloca lo más alto posible. La draga navega cargada al volumen máximo, pero no a la carga máxima.

Navegación con carga

La navegación depende de la velocidad de la draga y la distancia al lugar de vertido. Se debe considerar el precio del combustible, pues navegar a máxima velocidad puede no ser la opción más económica. Se ha de encontrar la relación óptima entre precio y tiempo.

Tiempo de descarga

El tiempo de descarga del material dragado depende del mecanismo empleado, pudiendo distinguir los siguientes:

- Descarga por fondo

Se realiza mediante la apertura de compuertas giratorias o deslizantes del fondo de la draga. Es un proceso muy rápido que puede llevar entre 5 y 10 minutos, pero se ha de tener en cuenta que la embarcación puede balancearse peligrosamente en aguas poco profundas o agitadas. Las compuertas pueden golpear con el fondo o ejercer resistencia a las corrientes submarinas existentes.

- Descarga por bombeo a través de tubería

Se emplea un sistema de transporte de la tubería para verter el material directamente en la zona a restaurar. Este método es muy común en rellenos de terrenos o playas. Implica tiempos de operación superiores a la descarga por fondo, pudiendo durar la descarga una hora.

Se une la tubería fija a un dispositivo de proa de la draga mediante otra tubería flexible. Para facilitar la labor de las bombas, se crea una pulpa formada por el material almacenado mezclado con agua obtenida con una bomba auxiliar que aspira desde la parte inferior del casco.

Las tuberías fijas pueden colocarse sobre el fondo del mar o ser flotantes. Las sumergidas son de acero y se suelen ramificar para depositar el material en distintos puntos. Las flotantes pueden tener diferentes resistencias y flexibilidades y no necesitan ramificaciones, pues se desplazan mediante una pequeña pontona a los distintos puntos de vertido. Con este método se consigue acercar la tubería hasta la costa y descargar directamente sobre la parte emergida, sin embargo, deben ser retiradas con alturas de ola superiores a 2 m.

- Descarga mediante chorro de proa (rainbowing)

La descarga mediante chorro de proa consiste en lanzar una mezcla fluida de agua y arena a una distancia máxima de 100/150 m de la costa. Este método dura menos que la descarga por tubería, pero más que la descarga por fondo.

Giros y maniobras

Se deben tener en cuenta varios aspectos en las maniobras de giro. El área disponible para girar la embarcación debe ser el suficiente, considerándose de 4 veces la eslora en caso de no contar con hélice de proa, y de 2,5 veces la eslora en el caso contrario. Longitudes del tramo a dragar inferiores a 1.000 m pueden ser restrictivas, exigiendo los tramos inferiores a 250 m el empleo de otros métodos de dragado. Se recomiendan tramos a dragar suficientemente largos para llenar la cántara sin tener que girar la draga de por medio (Escalante, 2023).

6.3. Producción y tiempo de dragado

Para obtener la producción de la draga de succión en marcha se emplea el método BBL (Bray et al., 1996). Este sistema estima los rendimientos reduciendo la producción teórica mediante factores de reducción correspondientes a las pérdidas de tiempo. El tiempo se divide en cuatro tipos:

- Tiempo muerto

Tiempo establecido en el que no se llevan a cabo trabajos productivos. Incluye festivos, tiempo de transporte de la draga entre proyectos, horas no laborales de cada día, etc.

- Tiempo para operaciones preparatorias y auxiliares

Implica operaciones esenciales para el funcionamiento de la draga e incluye el transporte del personal a la draga, el abastecimiento de combustible, el mantenimiento necesario, etc.

- Tiempo de trabajo productivo

Tiempo durante el que la draga lleva a cabo su ciclo de trabajo.

- Tiempo de trabajo no productivo

Hace referencia al tiempo en el que la draga debería funcionar, pero no lo hace. Son los retrasos debidos a condiciones climáticas adversas, averías, interrupciones imprevistas e ineficiencia del personal.

El objetivo de este apartado es determinar la producción obtenida durante el tiempo de trabajo productivo, descontando el tiempo de trabajo no productivo. Tanto el tiempo muerto, como el tiempo para operaciones preparatorias y auxiliares viene determinado por el tipo de ubicación y de contexto geográfico y el tipo de draga.

Las hipótesis que se tienen en cuenta para determinar el ciclo de una draga de succión en marcha son las siguientes:

Tabla 15. Hipótesis de partida para determinar el ciclo de trabajo. (fuente: García y Moreno, 2010)

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 (por tubería)
Velocidad de succión	6 m/s

El primer paso es determinar la unidad básica de producción (U_b). Este parámetro depende del tipo de draga, según su potencia disponible y el tamaño de los componentes de la excavación. En el caso de las dragas de succión coincide con la capacidad de la cántara (H).

Este valor debe ser modificado mediante el factor de esponjamiento (B). Este corresponde a las condiciones del terreno y del bombeo y permite obtener el volumen que puede almacenar realmente la cántara:

$$U_m = \frac{H}{B} \quad \text{Ecuación 19}$$

Con:

U_m	Unidad de producción modificada
H	Capacidad de la cántara de la draga (m^3)
B	Factor de esponjamiento

El factor de esponjamiento (B) depende del tipo de suelo y el método de excavación.

Tabla 16. Factor de esponjamiento según el tipo de terreno. (fuente: Bray et al., 1996)

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 o 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

El banco de arena de este estudio está formado por arena blanda, por lo que el factor de esponjamiento que se considera es de 1,10.

Para obtener el tiempo del ciclo de trabajo, se calcula primero el correspondiente a cada fase:

$$t_{\text{ciclo}} = t_{\text{carga}} + t_{\text{giro}} + t_{\text{navegación}} + t_{\text{descarga}} \quad \text{Ecuación 20}$$

El tiempo de carga hasta el punto de rebose es similar en todas las dragas de succión, ya que las bombas se dimensionan para obtener tiempos aceptables. Por lo tanto, las variaciones dependen del tipo de suelo, pérdidas por desbordamiento, y concentraciones en la tubería de succión por la profundidad de dragado, obstrucciones, etc. Se puede obtener mediante la siguiente figura:

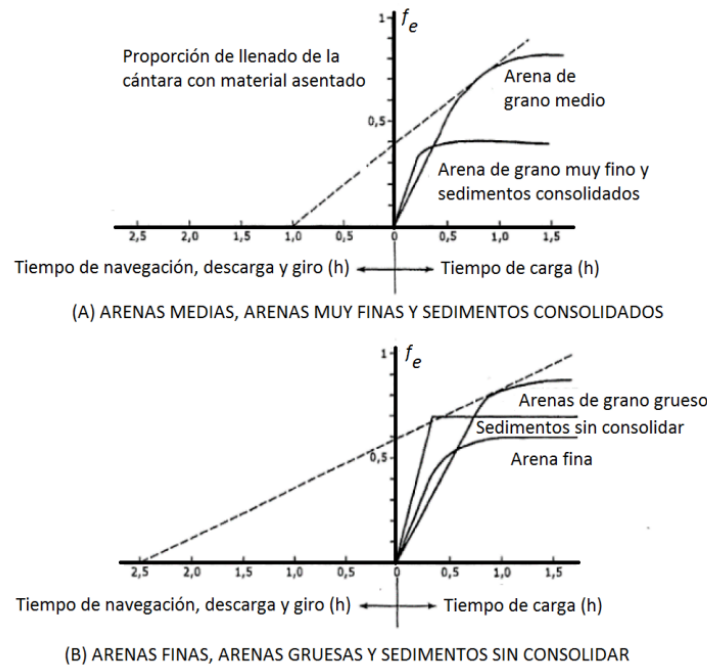


Figura 42. Curvas de carga de una draga de succión en marcha según el tipo de suelo. (fuente: Bray et al., 1996)

Para determinar el valor de t_{carga} o t_1 , y de f_e , se puede calcular el caudal de succión de la draga mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \text{Sección del tubo} \cdot \text{Velocidad de succión} \quad \text{Ecuación 21}$$

Se han de tener en cuenta las hipótesis descritas en la Tabla 15 para saber el volumen de sólidos que es absorbido realmente, y el volumen de sólidos que se espera alcanzar en la cántara.

El tiempo de giro que realiza la draga para volver a la zona de extracción se calcula con la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{ giros} = \frac{3,91 \cdot t_1}{l} \quad \text{Ecuación 22}$$

Se asume que la velocidad durante el llenado de la cántara es de 2 nudos. l representa la longitud de la zona de dragado en km. El tiempo empleado en los giros se obtiene, por lo tanto, con la siguiente ecuación, siendo t_t el tiempo necesario para cada giro:

$$t_g = \frac{3,91 \cdot t_1 \cdot t_t}{l} \quad \text{Ecuación 23}$$

De manera estándar se fija el tiempo de giro en 4 minutos ($t_t = 0,066$ h).

El tiempo de navegación hasta el punto de vertido y de vuelta a la zona de extracción se obtiene de la siguiente manera:

$$t_{nav} = \frac{1,02 \cdot g}{V_g}$$

Ecuación 24

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)

La Ecuación 24 no tiene en cuenta las velocidades de navegación superiores de la vuelta a la zona de dragado por ir la cántara vacía. Esto se compensa con el hecho de que tampoco se consideran la aceleración y la deceleración al inicio y al fin de los trayectos.

El tiempo de descarga depende del método empleado. Como se explica en el apartado 7.2. *Ciclo de trabajo*, si se trata de descarga por fondo se han de considerar de 5 a 10 minutos, mientras que por tubería se necesita una hora.

Con el factor de llenado de la cántara (f_e) se puede obtener la carga total de la draga de la siguiente manera:

$$C_{total} = \frac{H \cdot f_e}{B}$$

Ecuación 25

Siendo:

C_{total}	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

La producción máxima se define, por lo tanto, de la siguiente manera:

$$P_{max}(m^3/h) = \frac{C_{total}}{t_{ciclo}}$$

Ecuación 26

La producción real se obtiene aplicando los factores de reducción correspondientes a retrasos (f_d), eficiencia (f_o) y fallos mecánicos (f_b).

Los retrasos son causados tanto por malas condiciones meteorológicas como por tráfico marítimo. Las relaciones son las siguientes:

$$f_d = f_t \cdot f_w$$

Ecuación 27

$$f_t = \frac{TTD - TPT}{TTD}$$

Ecuación 28

$$f_w = \frac{NTDA}{NTD}$$

Ecuación 29

Con:

TTD	Tiempo total de trabajo disponible
TPT	Tiempo perdido debido al tráfico y otras contingencias durante las horas de trabajo

NTDA Número total de horas en las que las condiciones atmosféricas permiten trabajar
 NTD Número total de horas de trabajo

El factor de operación (f_o), correspondiente a la eficiencia de los trabajadores, asume que no se trabaja todo el tiempo al máximo rendimiento posible. La siguiente tabla resume los diferentes escenarios según la calificación de la dirección y de la tripulación:

Tabla 17. Calificación del personal. (fuente: Bray et al., 1996)

		Calificación de la tripulación				
		Muy buena	Buena	Mediana	Mediocre	Pobre
Calificación de la dirección	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

En cuanto al factor de fallos mecánicos (f_b), se ha de tener en cuenta el año de antigüedad de la draga. Para material al que se le aplica mantenimiento preventivo y en marcha normal sin repuestos, se puede asumir que los primeros 5 años no muestra problemas por fallos ($f_b = 1$), mientras que en los siguientes años el factor se va reduciendo en un 1% anual, hasta llegar al 85%, correspondiente a 20 años de vida.

A continuación, se aplican los anteriores cálculos al tramo de actuación. En el apartado 7.1. *Volumen apto de extracción* se obtuvo que, teniendo en cuenta el porcentaje de finos del yacimiento, era necesario extraer 24.866.355,47 m³. Se considera una distancia media al punto de vertido desde el yacimiento de 22,5 km y se emplea una draga de succión en marcha tipo Jumbo - Cristóbal Colón con las siguientes características:

Tabla 18. Características de una draga de succión en marcha tipo Jumbo - Cristóbal Colón, 2008. (fuente: Escalante, 2023)

Parámetro	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 navegación con cántara llena (nudos)	18

La unidad básica de producción (U_b) es de 46.000 m³ y, teniendo en cuenta el factor de esponjamiento obtenido anteriormente, se concluye que la unidad básica de producción modificada (U_m) es de 41.818,18 m³.

Con una sección del tubo de 1,33 m² y la velocidad de succión de 6 m/s, se obtiene un caudal de succión de 28.728 m³/h, del cual tan solo 7.182 m³ serán sólidos. Por lo tanto, para llenar el 85% del volumen de la cántara con sólidos se necesitan aproximadamente 5 horas. El factor de llenado según la Figura 41 es 0,85.

El tiempo de giro (t_g) no es necesario tenerlo en cuenta en el caso del yacimiento de Cullera, ya que la zona es suficientemente ancha como para realizar los giros sin detener el proceso de dragado.

El tiempo de navegación (t_{nav}), considerando la distancia de 22,5 km a la zona de vertido y la velocidad de navegación de 18 nudos, resulta en 1,27 horas.

Al tratarse de la regeneración de playas y, por lo tanto, convenir una tubería flotante que pueda ser transportada al punto de vertido necesario, se supone un tiempo de descarga (t_d) de una hora.

El tiempo total del ciclo de trabajo de la draga es de 7,27 horas y la carga total de la draga (C_t), teniendo en cuenta el factor de llenado (f_e) de la cántara de 0,85, es de 35.545,45 m³. Por lo tanto, la producción máxima (P_{max}) es de 4.885,97 m³/h.

Para obtener la producción real se han tenido en cuenta varias suposiciones. Se cuenta con la draga trabajando 24 horas al día durante 7 días a la semana. Se asume que las pérdidas de tiempo por tráfico y por condiciones atmosféricas son de una hora cada una. Por lo tanto, el factor de retraso (f_d) es de 0,918. Suponiendo que tanto la tripulación como la dirección trabajan con rendimientos muy buenos, se obtiene un factor de operación (f_o) de 0,9. El factor de fallo (f_b), considerando que la draga tiene 15 años desde su fabricación, es de 0,9.

La producción real es, finalmente, de 3.633,11 m³/h, y la producción en un ciclo es de 26.430,89 m³/ciclo. Considerando que se pueden llevar a cabo 23 ciclos por semana, el tiempo estimado para dragar todo el material necesario para regenerar las playas del tramo de estudio es de 40,7 semanas, es decir 10,2 meses. Este valor se obtiene por el siguiente cálculo:

$$T = \frac{V}{N^{\circ}_{Ciclos/sem} \cdot P_{ciclo}} = \frac{24.866.355,47}{23,09 \cdot 26.430,89} = 40,7 \text{ semanas} = 10,2 \text{ meses}$$

6.4. Estudio económico de la extracción de arena

Para obtener el costo de la extracción se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Movilización / Desmovilización
- Costes de capital
- Costes operativos
- Gastos Generales
- Riesgos
- Beneficios
- Costes financieros
- Impuestos

Para proceder con los cálculos pertinentes, se siguen las indicaciones de Escalante, 2023.

6.4.1. Movilización / Desmovilización

La maquinaria ha de ser transportada a la zona de dragado y de actuación. En el caso de las dragas autopropulsadas como la que se propone emplear en este estudio no es necesaria maquinaria auxiliar

para movilizarla. En obras de gran magnitud como la presente, el costo de movilización puede ser de gran significancia, ya que se suelen tener que transportar desde grandes distancias y el tiempo empleado para ello se incluye en el plazo del contrato.

Se debe considerar el personal de supervisión de la movilización y el personal técnico que deberá instalarse en la zona. También se incluyen los costes de capital de los equipos por el tiempo ocioso, los seguros, los costes de supervisión y los gastos generales durante la movilización. Para evitar retrasos durante el dragado, se cargan en la draga todos los elementos correspondientes a mantenimiento, reparaciones, los tubos de succión y el cabezal, etc.

Finalmente se calculan los costes de desmovilización de los equipos y el personal de una manera muy similar al proceso de movilización.

6.4.2. Costes de capital

El precio de las dragas es muy elevado, por lo que la amortización es uno de los conceptos más importantes en el costo total de la actuación. Incluye tanto la amortización del capital inicial (V_0) como los intereses equivalentes de una inversión equivalente (i) (Escalante, 2023). La vida útil de cada equipo diferencia el número de años que se tarda en amortizar, siendo 30 años en el caso de las dragas de succión en marcha medianas o grandes, como las Jumbo.

La cuota de capital o costo anual amortizado (CA) se calcula de la siguiente manera:

$$CA = (V_0 - V_r) \cdot f_r + V_r \cdot i \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

CA	Coste anual amortizable
V_0	Coste inicial
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):

$$f_r = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \text{Ecuación 31}$$

Se aplica el Método de Costes Standard desarrollado por la International Association of Dredging Companies (IADC) en la publicación “A guide to cost standards for dredging equipment” (Bray, 2009). A partir de sus tablas de datos de dragas de succión en marcha se desarrolla la siguiente gráfica que relaciona el volumen de la cántara con el coste inicial:

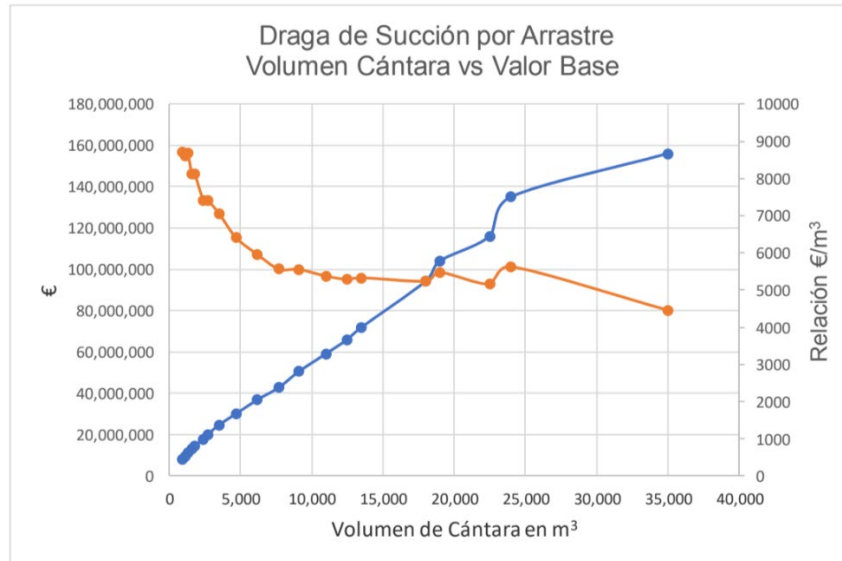


Figura 43. Relación entre Vo y el volumen de la cántara. (fuente: Escalante, 2023)

Para la capacidad de la draga seleccionada, 46.000 m³, se estima mediante interpolación un coste inicial de 175.000.000 €.

La tasa de interés corresponde a los préstamos que se otorgan para este tipo de inversiones. De manera orientativa, se asume un valor de 0,06 en este estudio y se elige un Valor Residual de 10%. El costo anual amortizable es, consecuentemente de 12.492.203,6 €/año.

6.4.3. Costes operativos

Los costes operativos consideran los costes directos asociados con personal, combustible y lubricante, mantenimiento de rutina, reparaciones mayores, desgaste, tasas de monitoreo ambiental, seguros y levantamientos batimétricos.

Personal

Se distingue el personal embarcado del de supervisión. El embarcado es personal muy especializado que, en las dragas autopropulsadas, llevan a cabo tareas tanto de dragado como de marinería. Se trabaja en dos turnos de 12 horas durante 7 días semanales, lo cual incrementa los sueldos de los trabajadores. En los equipos más modernos, a pesar de aumentar el tamaño, el número de personal se mantiene igual o incluso disminuye.

La tripulación depende de cada caso, pues se pueden diferenciar dragas con mayor nivel de automatización de dragas que necesitan mayor número de personal. Los sueldos varían según la función a bordo, habiendo categorías superiores (Capitán, Jefe de máquinas) e inferiores (cocinero, Contra maestre, etc.).

El personal de supervisión depende de la magnitud de los trabajos. Se debe instalar una oficina con las siguientes funciones:

- Servir de nexo con el contratista, aportando toda la información necesaria para el correcto desempeño del dragado.

- Atender las necesidades logísticas de los equipos de dragado correspondientes a repuestos, provisiones, combustible, etc.
- Encargarse de los desplazamientos del personal y de los cambios de tripulación.
- Realizar las tareas de oficina técnica correspondientes a programación de trabajos de dragado, levantamientos batimétricos, verificación de profundidades, cálculo de volúmenes, certificados de obra, etc.
- Llevar a cabo seguimientos de los requisitos ambientales, tomas de muestras, análisis de laboratorio, informes, etc.

Combustible y lubricantes

El precio del combustible es un coste principal en la estimación del coste total, pero se ha de tener en cuenta que es variable en el tiempo. Depende de los siguientes factores:

- Tipo de combustible.
- Precio unitario en el lugar de trabajo.
- Potencia de los equipos de dragado.
- Horas de trabajo.
- Horas ociosas.
- Eficiencia de los equipos.
- Pérdidas de combustible.

Se considera que el coste de lubricantes equivale a 10 - 15% del precio del combustible, y su consumo varía según las características del equipo de dragado, su antigüedad y su estado de mantenimiento. También se han de considerar otro tipo de productos, como pinturas, cabos de acero, materiales de limpieza, agua, etc.

Mantenimiento de rutina

Se trata de las tareas de mantenimiento y reparaciones diarias realizadas por personal embarcado como electricistas, el Jefe de máquinas, etc. Depende de las horas de funcionamiento y se tienen en cuenta las siguientes actuaciones:

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

Se puede obtener una primera estimación del coste de mantenimiento diario multiplicando el valor del equipo por el factor 0,000135 en el caso de las dragas de succión en marcha (Bray et al., 1996).

Reparaciones mayores

Al tratarse de trabajos de meses de duración, las reparaciones mayores se suelen llevar a cabo fuera del periodo del contrato. Por ello, se considera un precio fijo anual que se obtiene multiplicando el valor del equipo por el factor 0,000275 en el caso de las dragas de succión en marcha (Bray et al., 1996). Se incluyen las siguientes operaciones:

- 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, etc.

Desgaste (Wear and Tear)

El desgaste corresponde a los efectos del contacto directo del material dragado con los diferentes elementos de la draga y depende de la producción, por lo que los costes se miden en €/m³. Las partes que sufren desgaste comúnmente son las siguientes:

- Cabezales de succión.
- Cucharas y dientes.
- Tuberías y codos.
- Bombas de succión.
- Salida de la cántara.
- Paredes de la cántara.
- Sistema de vertedero.
- Compuertas.

El nivel de desgaste se considera diferente en cada obra, ya que influyen numerosos factores: la producción, el tipo de sedimento, el material de la tubería y las condiciones de trabajo.

Tasas de monitoreo ambiental

Es importante llevar a cabo un seguimiento de los efectos sobre el medio que pueden tener los trabajos de dragado. Para ello se realizan modelos matemáticos, mediciones de turbidez y ruido, obtenciones de muestras de agua y sedimentos, análisis de laboratorio, preparación de informes, etc. Este coste supone del 1 al 5% del coste total del proyecto.

Seguros

Los seguros son muy importantes debido a las condiciones bajo las que se opera: zonas de bastante tráfico marítimo, condiciones ambientales severas y traslados por mar. El coste es un porcentaje del valor de reposición de la draga y varía según el contratista. El porcentaje es mayor para empresas que reportan accidentes más frecuentemente.

Levantamientos batimétricos

El progreso de los trabajos debe controlarse mediante levantamientos batimétricos y su coste depende de la naturaleza de cada proyecto y de los términos contractuales. Se tienen en cuenta los siguientes elementos:

- Embarcación para levantamiento.
- Instrumental de levantamiento.
- Mantenimiento de la medición de niveles de agua.
- Personal.
- Procesamiento de la información.

6.4.4. Gastos Generales

Los gastos generales no son producto directo de las obras, pero son necesarios para el funcionamiento de la empresa. Varían considerablemente según la empresa y se consideran un porcentaje fijo del gasto medio anual de la empresa. Se consideran los siguientes aspectos:

- Oficina central (9%)
- Impuestos (3%)
- Agente (1%)
- Seguro de cambio de moneda (1,5%)
- Seguro a la exportación (2%)
- Asistencia legal (0,5%)
- Garantías (0,5%)
- Publicidad y relaciones públicas (0,5%)

6.4.5. Beneficios

Para definir el porcentaje de ganancias del proyecto, se tienen en cuenta la competencia, la ubicación geográfica y el prestigio y valor de la marca. El valor promedio orientativo para empresas europeas es del 10%.

6.4.6. Conclusión

A falta de información específica para determinar el coste final teniendo en cuenta los anteriores apartados, se estima un precio de dragado, transporte y vertido de 12 €/m³ basado en la experiencia de otros trabajos. Se considera la subida de precios por la inflación actual.

Con el volumen de extracción de 24.866.355,47 m³ obtenido en el apartado 6.1. *Volumen apto de extracción*, se concluye que el coste total de la extracción de arena es de 298.396.266 €.

Tabla 19. Coste económico de la extracción de arena. (fuente: Elaboración propia)

Volumen de extracción (m ³)	Importe de la extracción de arena (€/m ³)	Coste semanal (€/sem)	Coste total (€)
24.866.355,47	12	7.341.509	298.396.265

7. Acondicionamiento de las playas

Para regenerar la costa se opta por actuaciones blandas, es decir, que no alteran sustancialmente la dinámica litoral, evitando aislar los diferentes tramos de playas abiertas. Se pretende simular el estado “natural” de las costas.

El perfil de la costa puede zonificarse de diferentes maneras. Considerando sus características morfodinámicas, el perfil queda limitado por un lado por las dunas litorales, y por el otro, por el punto de Cornaglia, el correspondiente a la profundidad de cierre, donde deja de producirse transporte de sedimentos. Se distinguen la zona de tierra, la zona intermareal y la zona de mar.

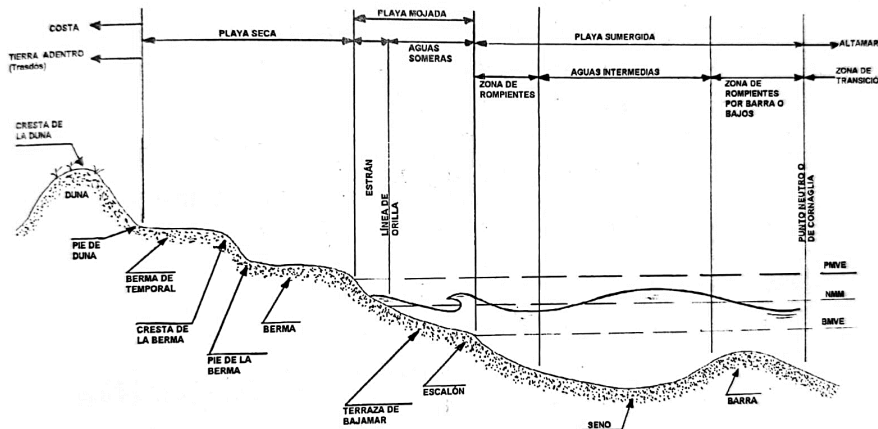


Figura 44. Zonificación del perfil de costa atendiendo a sus características morfodinámicas. (fuente: CERC, 1995)

La zona de tierra la componen la duna y la berma, que suele estar formada por dos o más plataformas. La zona intermareal o playa mojada se describe como la alternamente mojada o seca. Suele limitarse por la zona comprendida entre la bajamar y la pleamar, pudiendo deberse también al oleaje momentáneo. La zona de mar o playa sumergida, es el tramo en el que se produce el principal transporte de sedimentos. Suele constar de una curva cóncava denominada seno y una o varias barras cerca de la zona de rompiente (De la Peña, 2007).

Se considera que la costa esta en equilibrio cuando las fuerzas que influyen en su dinámica se compensan. Generalmente se distinguen dos perfiles de equilibrio resultantes de la acción continuada del oleaje. El perfil de invierno o de barra se suele asociar a temporales, ya que su forma disipa la energía del oleaje. Es el resultado de la erosión de arena de la berma de la playa seca debido a la incidencia del oleaje. El material es arrastrado de la zona emergida formando barras en la zona de rotura. Consecuentemente, la pendiente se suaviza y la línea de costa retrocede.

El perfil de verano o de berma, al contrario, es correspondiente a oleajes escasos, ya que no disipa la energía incidente. Respecto a una pendiente inicial, los sedimentos son transportados de profundidades medias a profundidades menores y a la playa seca, formando la berma. La línea de costa avanza y la pendiente aumenta.

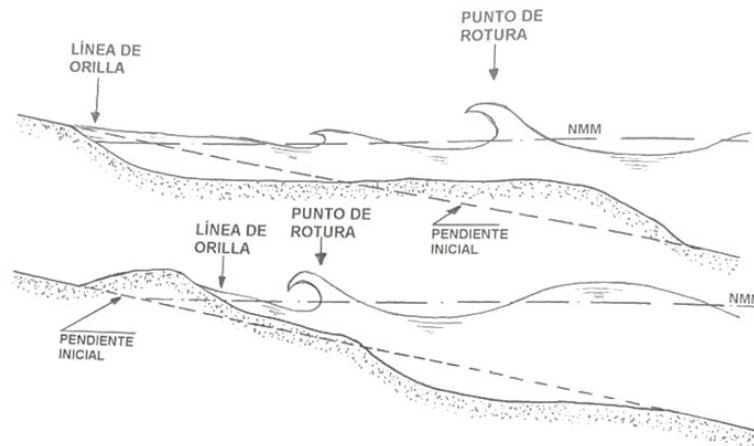


Figura 45. Perfil de barra y de berma según la clasificación de Johnson (1949), Iwagaki y Noda (1962) y Nayak (1970). (fuente: De la Peña, 2007)

Las dunas costeras son acumulaciones de arena longitudinales casi simétricas con muy poca movilidad. Constituyen protecciones de la trasplaya ante fuertes temporales. Los montículos se deshacen ante los ataques del mar para conformar la barra de temporal. Finalmente, se vuelven a formar las dunas iniciales mediante el mismo proceso que las generó originalmente: secado de la arena de la playa, transporte y deposición (De la Peña, 2007).

7.1. Perfil de diseño de la playa

La regeneración dunar se puede realizar por dos métodos. El primero consiste en la alimentación artificial de arena y creación de la duna por medios humanos. Es la forma más rápida para recrear dunas y se considera muy adecuado para situaciones de urgencia. El segundo consiste en la implantación de trampas eólicas que intercepten la arena transportada por el viento. Es más lento, pero asegura mayor durabilidad al tratarse de una duna natural, y es considerablemente más barato.

Al casi no haber aportes de arena naturales en la zona de estudio, es necesario regenerar las playas mediante la alimentación artificial. Lo más recomendable es imitar la topografía existente anterior a las actuaciones humanas, o la de las zonas menos afectadas. Para ello, se emplea el perfil batimétrico elaborado por Serra, J. y Chapapría, V. presentado en la XII Jornadas españolas de Ingeniería de Costas y Puertos de 2013.

Se trata de uno de los perfiles obtenidos de 1992-1997, específicamente el ubicado a la altura de la piscina del Parador Nacional Luis Vives. Se considera un tramo estable que, en los años en los que se llevaron a cabo los perfiles, todavía no había sufrido la “onda de erosión” generada por la ampliación del Puerto de Valencia de 1991 a 1998.



Figura 46. Localización del perfil Parador. (fuente: Serra, J. y Chaparria, V., 2013)

A continuación, se muestran los perfiles obtenidos:

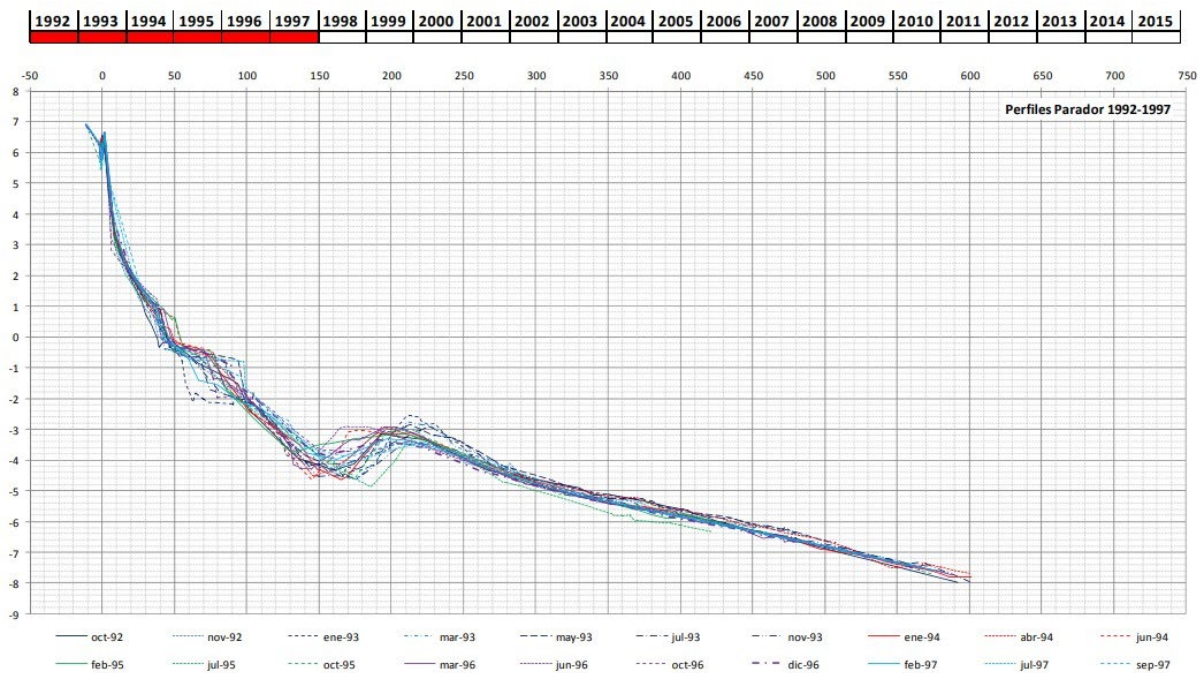


Figura 47. Perfiles batimétricos entre 1992 y 1997. (fuente: Serra, J. y Chaparria, V., 2013)

Adicionalmente, se tiene en cuenta el ecosistema de la Devesa tras la playa seca. Según Benavent, J. et al. (s.f.), se pueden distinguir las siguientes franjas paralelas al mar:

- La playa: conformada por la playa sumergida, la playa húmeda y la playa seca.
- Las dunas móviles o primer cordón dunar: la alineación más cercana a la playa, formada por dunas entre las cuales se forman calderas de abrasión.
- Las malladas: depresiones interdunares de suelos limosos que se encharcan con lluvias.

- Las dunas fijas: completamente estabilizadas. Se encuentran más cercanas a la capa freática y sufren menor influencia de la mareas.

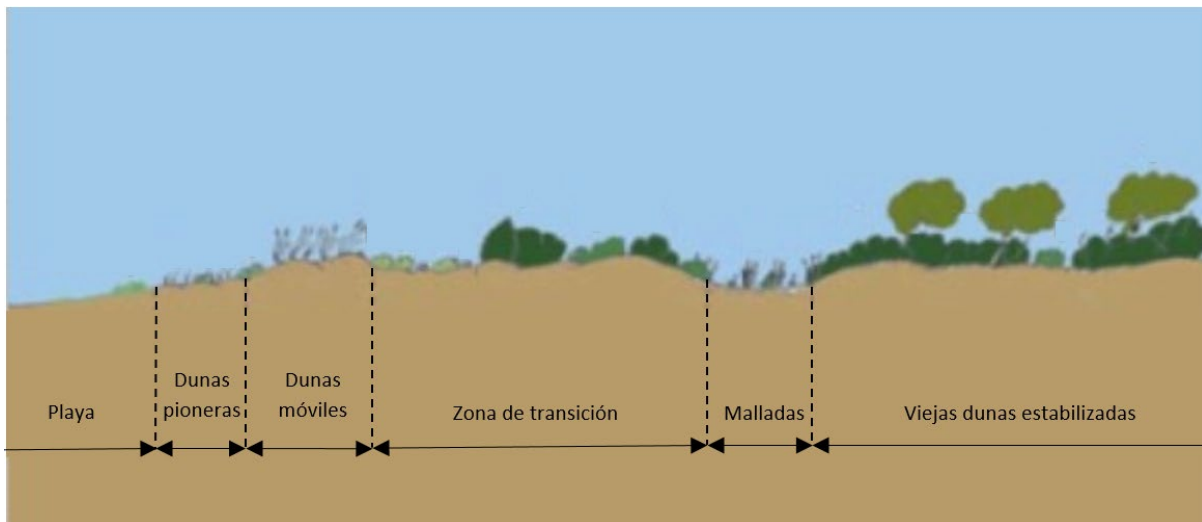


Figura 48. Perfil de los ecosistemas de la Devesa. (fuente: Benavent, J. et al, s.f.)

Se han tomado los perfiles actuales de 3 puntos para representar el resultado que se pretende obtener para reconstruir la costa anterior a las afecciones humanas considerando las variaciones a lo largo del tramo de actuación. En el Anejo 2 se comparan los perfiles actuales con los resultantes.

7.2. Metodología

Se propone el vertido de la arena mediante tubería flotante a lo largo de la costa, conformando el perfil sumergido. Las nuevas dunas se extenderán mediante retroexcavadoras y palas cargadoras, que recogerán el material de montículos formados en la playa seca. Se eligen los 3 puntos de toma de perfiles actuales para acumular los sedimentos.

Se ha de tener en cuenta la fauna y flora para causar el menor daño posible durante las actuaciones. Se ha de llevar a cabo un Programa de Vigilancia Ambiental, teniendo en cuenta aspectos como el periodo de cría de las diferentes especies, los accesos de la maquinaria, etc. Cabe destacar ciertas especies como la tortuga boba y el chorlito patinegro.

La tortuga boba (*Caretta caretta*) es una especie de tortuga marina que, a pesar de no anidar habitualmente en las costas españolas del Mediterráneo, en los últimos años se han observado cada vez más nidos suyos en las playas valencianas. Tan solo 1 de cada 1.000 tortugas llega a adulta y están expuestas durante su incubación a numerosos riesgos (maquinaria de limpieza, depredadores, inundaciones, actividades humanas, etc.), por lo que es de gran relevancia asegurar su conservación sin ponerlas en peligro adicional mediante las obras proyectadas. Las tortugas hembra suelen adentrarse en las playas entre los meses de junio, julio y agosto para anidar los huevos, mientras que estos suelen eclosionar en los meses de agosto, septiembre y octubre, intentando las crías alcanzar el mar (Oceanogràfic, s.f.).

Para reducir su mortalidad, se detendrán las obras en los meses de anidación que, a la vez, son los correspondientes a la mayor presión turística en las playas. En esta época, la Fundación Oceanogràfic aumenta su estado de alerta para localizar nidos de huevos de tortugas marinas. Las rutas de las

tortugas se identifican con gran facilidad, como muestra la Figura 49. Tras encontrarlos, la fundación trasloca los huevos a playas más adecuadas para su conservación y algunos son llevados al Área de Recuperación de Animales Marinos (ARCA del Mar) para asegurar su desarrollo.

Tras la reanudación de las obras en septiembre, se establecerá un programa de vigilancia de rastros para evitar interferir con la eclosión y traslado de crías al mar que puedan haber quedado en las playas en regeneración. En caso de localizar alguna, se detendrá el proceso de extensión de arena con maquinaria y se llamará a las autoridades pertinentes para que procedan con el protocolo de actuación para proteger a las crías de tortugas. Cuando las autoridades lo consideren adecuado, se reanudará el proceso de extendido.



Figura 49. Rastro de tortuga marina. (fuente: Oceanogràfic, s.f.)

El chorlitejo patinegro (*Charadrius alexandrinus*) es una pequeña ave que habita en casi todas las costas españolas, menos la cantábrica, en ecosistemas acuáticos. Se alimenta de insectos de humedales y playas. Se encuentra en estado “Vulnerable” según el Libro Rojo de las aves de España y se considera “De interés especial” en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas. El principal motivo es la pérdida de hábitat y las molestias provocada por el uso recreativo de las playas en verano. Se ve amenazado por el desarrollo urbanístico, especies exóticas invasoras, la limpieza con maquinaria de las playas, que elimina vegetación, y las mascotas sueltas que depredan sus nidos. En la Comunitat Valenciana la población de chorlitejos se ha reducido en un 70% en las últimas décadas (Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica, s.f.).

Para recuperar el hábitat del chorlitejo, SEO/BirdLife junto con los ayuntamientos de Valencia, Sueca y Cullera y la Generalitat Valenciana delimitaron varias zonas de entre 200 y 600 m de longitud en las dunas de los municipios. En ellas eliminaron vegetación invasora, plantaron flora autóctona, retiraron residuos y llevaron a cabo un seguimiento de las parejas reproductoras. En las playas de La Malladeta y La Garrofera se delimitaron 600 y 290 m respectivamente (SEO/BirdLife, 2020). Estas zonas, se tendrá en cuenta a la hora de regenerar el perfil proyectado. No se colocará arena ni maquinaria sobre ellas. En los casos en los que el tramo delimitado se vaya a ver cubierto parcialmente por las nuevas dunas, se planeará la conformación de nuevas zonas de conservación de hábitat del chorlitejo patinegro.

En algunos tramos también será necesario retirar estructuras existentes, como paseos marítimos y restos de antiguas construcciones, como es el caso del Polideportivo de El Saler. Es necesario eliminar los restos de hormigón a priori, ya que, tras la regeneración dunar, se complica y encarece significativamente el proceso (Benavent, J. et al., s.f.).

Para fijar las dunas remodeladas, se concluyó, tras numerosas experiencias realizadas en los años 80, que es conveniente colocar empalizadas de espartina (*Spartina versicolor*) y caña (*Arundo donax*). Se colocan verticalmente conformando una cuadrícula que sirve dos fines: retener la arena colocada y captar la transportada por el viento. Deben medir aproximadamente 80 cm de altura, estar secas y tener una permeabilidad del 40-50% para asegurar su eficiencia (Benavent, J. et al., s.f.).



Figura 50. Captadores de espartina para la regeneración dunar. (fuente: Google)

Se han de revegetar las nuevas dunas formadas con especies autóctonas. De esta manera, se mejora la biodiversidad y se fijan las dunas. Las especies se obtienen de los Viveros Municipales de El Saler, un banco de semillas con la mayoría de las especies características de los sistemas dunares de la Dehesa y l'Albufera. Se trata de semillas con un nivel de limpieza óptima para su empleo en la regeneración, resultado del tratamiento en el taller.

En el documento de La restauración de las dunas litorales de la Devesa de l'Albufera de Valencia se determina el número de ejemplares de cada especie que se debe revegetar cada 25 m², un módulo de repoblación, en función del sector de la duna. Se distinguen los embriones dunares, la duna a barlovento, a sotavento y la cresta.

Tabla 20. Módulos de repoblación. (fuente: Benavent, J. et al., s.f.)

Especie	Nº de ejemplares / 25 m ²
Embriones dunares	
<i>Cakile marítima Scop.</i>	5
<i>Calystegia soldanella L.</i>	11
<i>Elymus farctus L.</i>	30
<i>Otanthus maritimus L.</i>	5
<i>Polygonum maritimum L.</i>	2 - 3

Barlovento	
<i>Calystegia soldanella L.</i>	11
<i>Elymus farctus L.</i>	30
<i>Euphorbia paralias L.</i>	4
<i>Lotus creticus L.</i>	11
<i>Medicago marina L.</i>	4
<i>Otanthus maritimus L.</i>	5
<i>Polygonum maritimum L.</i>	2 - 3
Cresta	
<i>Ammophila arenaria L.</i>	22 - 23
<i>Calystegia soldanella L.</i>	11
<i>Cyperus capitatus Vandelli</i>	4
<i>Lotus creticus L.</i>	11
<i>Medicago marina L.</i>	4
Sotavento	
<i>Crucianella maritima L.</i>	7 - 8
<i>Cyperus capitatus Vandelli</i>	4
<i>Echinophora spinosa L.</i>	4
<i>Eryngium maritimum L.</i>	4
<i>Malcomia littorea L.</i>	7 - 8
<i>Sporobolus pungens Schreber.</i>	25
<i>Ononis natrix L.</i>	10
<i>Pancratium maritimum L.</i>	7 - 8

La forma de plantación también se debe establecer. Se deben disponer las especies dentro de cada módulo manualmente de manera aleatoria. Para evitar que las plantas sean transportadas por el viento, que se desarrollen lentamente, que tengan baja capacidad de fijación, etc., se eligen los siguientes modos de presentación de las especies:

Tabla 21. Forma de repoblación. (fuente: Benavent, J. et al., s.f.)

Especie	Plantas con cepellón	Esqueje	Bulbo	Raíces	Semillas
<i>Ammophila arenaria L.</i>	X				
<i>Cakile marítima Scop.</i>					X
<i>Calystegia soldanella L.</i>					X
<i>Crucianella maritima L.</i>	X				X
<i>Cyperus capitatus Vandelli</i>				X	X
<i>Echinophora spinosa L.</i>	X			X	
<i>Elymus farctus L.</i>	X				
<i>Eryngium maritimum L.</i>	X			X	
<i>Euphorbia paralias L.</i>	X				
<i>Lotus creticus L.</i>					X
<i>Malcomia littorea L.</i>					X
<i>Medicago marina L.</i>					X
<i>Ononis natrix L.</i>					X
<i>Otanthus maritimus L.</i>		X			
<i>Pancratium maritimum L.</i>			X		
<i>Polygonum maritimum L.</i>					X
<i>Sporobolus pungens Schreber.</i>		X			

Otoño e invierno son las épocas más adecuadas para llevar a cabo la replantación, aunque mediados de primavera tampoco es descartable. A los 2 - 3 años de la replantación, ya se obtienen resultados parecidos a los buscados, pero no es hasta los 4 - 6 años que se considera que la cubierta vegetal se ha desarrollado completamente (Benavent, J. et al, s.f.).

Durante el desarrollo de la cubierta, la vegetación es muy susceptible al pisoteo de los usuarios de la playa, por lo que es recomendable proteger el cordón dunar. Se instalan cerramientos de madera, madera y malla metálica o madera y cuerda para delimitar el área de acceso. La colocación de pasarelas que guíen el acceso a las playas es primordial, acompañándolos de carteles informativos que expliquen a los usuarios la problemática y las actuaciones llevadas a cabo.

A continuación, se muestra un croquis del perfil que se pretende regenerar:

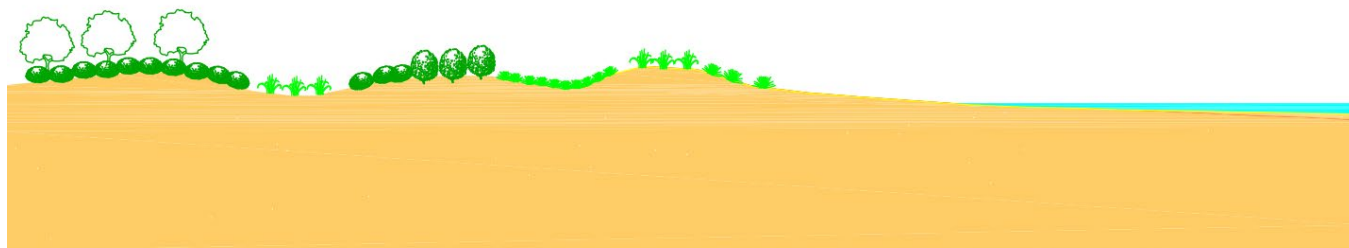


Figura 51. Croquis de perfil a regenerar. (fuente: Elaboración propia)

7.3. Monitorización

Con el fin de conocer la evolución de las obras llevadas a cabo, se debe monitorizar el estado de las playas. Mediante campañas topográficas y batimétricas se obtienen mapas topográficos que permiten calcular los volúmenes aportados, el material perdido y proponer actuaciones futuras si se consideran necesarias. Para evaluar el sistema completo de la playa, se deben incluir en las mediciones desde la duna, muro de paseo o zona donde comienza la vegetación hasta, como mínimo, la profundidad de cierre máxima, considerando un resguardo de 1,2.

Según la Guía técnica de estudios litorales (2007), la frecuencia de las campañas topo-batimétricas depende de las condiciones climáticas y la planificación de la construcción de la obra, sin embargo, define de manera general las siguientes campañas que se deben llevar a cabo:

- Un mes previo al inicio de las obras.
- Diez días tras la finalización de la obra.
- Cuatro veces el primer año de vida de la obra, siendo marzo, junio, septiembre y diciembre lo más recomendable.
- En marzo y septiembre de los siguientes dos años.
- Después del tercer año, una vez en septiembre.

Es aconsejable realizar campañas tras eventos importantes, como grandes temporales, e inspeccionar mediante fotografías la vegetación y otros parámetros de la costa.

8. Planificación de trabajos

Para planificar los trabajos de este estudio, se deben tener en cuenta diferentes aspectos. La altura del oleaje es de gran relevancia para el correcto funcionamiento del equipo de dragado, por lo que se debe tener en cuenta que el proceso de dragado durará 19 días más de los establecido según la producción, ya que es el número de días que se alcanzan oleajes desfavorables en las estaciones de invierno, primavera y otoño. Se considera que, por la duración del dragado, se deberá trabajar en ambos meses de marzo de 2024 y 2025 (apartado 2.2.1. *Caracterización del régimen medio*).

El acondicionamiento de las playas se pretende realizar simultáneamente al dragado y vertido de material para finalizar las obras lo antes posible. Sin embargo, todas las obras se detendrán en los meses de verano para evitar incidir con las actividades turísticas y la época de anidación de las tortugas marinas.

Con estas consideraciones en mente, se propone comenzar los trabajos de dragado el 4 de marzo de 2024, finalizando el dragado y vertido tras 304 días sin considerar los meses de verano. Se comenzará por la zona más cercana al Puerto de Valencia avanzando hacia el sur hasta la altura del campo de golf de El Saler. Las retroexcavadoras y palas cargadoras comenzarán con la extensión de la arena y formación de dunas tras 3 semanas desde el comienzo del dragado. Trabajarán de manera simultánea al dragado y continuarán 2 semanas tras la finalización de las aportaciones de arena. La colocación de captadores de espartina, plantación de vegetación autóctona y la colocación de cerramientos y pasarelas de acceso se realizará también simultáneamente y comenzará 2 semanas tras el inicio de la conformación de las nuevas dunas y finalizará 3 semanas desde la última actividad de extensión de arena por la maquinaria. Las obras finalizarán el 10 de mayo de 2025. El Anejo 3 muestra el diagrama de Gantt correspondiente.

9. Consideraciones ambientales

Es necesario identificar las afecciones ambientales que puedan conllevar las actuaciones implicadas. Se deben evaluar sus impactos y proponer medidas preventivas y correctoras para reducir e incluso eliminar las consecuencias negativas resultantes. Para ello, se toma la información proporcionada en el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de extracción de arena en aguas profundas de Valencia y transporte para alimentación de playas de la empresa consultora Tyspa (Hernández y Terrades, 2022).

9.1. Impactos previsibles

Se pueden distinguir diferentes impactos en función de la fase del proyecto de extracción. En la fase de extracción se distinguen 4 actividades con sus correspondientes impactos:

1. Navegación durante la operación de dragado para la extracción del material

- Emisión de ruido.
- Emisión de gases y partículas.
- Emisión de residuos y potenciales vertidos accidentales.
- Molestias y perturbaciones sobre las comunidades pelágicas.
- Alteración del paisaje.

- Creación de empleo.
- Afección a los recursos pesqueros.
- Afección a la navegación.

2. Vaciado de la cántara previo al dragado

- Alteración de las características físico-químicas del agua de mar.

3. Dragado: arrastre del cabezal de dragado por la superficie del fondo marino

- Alteración de la calidad química del agua de mar.
- Alteración de las características de la turbidez del agua de mar.
- Alteración de la litología del fondo marino.
- Alteración de la geología del fondo marino.
- Alteración de la hidrodinámica.
- Afección directa sobre las comunidades bentónicas.
- Afección al potencial patrimonio arqueológico submarino.
- Creación de empleo.

4. Llenado de la cántara: Rebose (overflow)

- Alteración de las características de turbidez del agua de mar.
- Alteración de la litología del fondo marino.
- Afección indirecta sobre las comunidades bentónicas.
- Molestias y perturbaciones sobre las comunidades pelágicas.
- Afección a hábitats, especies o espacios naturales protegidos.
- Creación de empleo.
- Afección a los recursos pesqueros.

En la fase de transporte solo se considera una acción:

5. Navegación hacia la zona de extracción del material y hacia la zona de alimentación de playa

- Emisión de ruido.
- Emisión de gases y partículas.
- Emisión de residuos y potenciales vertidos accidentales.
- Afección a hábitats, especies o espacios naturales protegidos.
- Creación de empleo.
- Alteración del paisaje.
- Afección a la navegación.

Tras la evaluación de la importancia de cada impacto, se han clasificado los efectos mediante una puntuación numérica, considerando efectos negativos críticos, severos, moderados y compatibles y efectos positivos. El Real Decreto 1131/1988 de 30 de septiembre define la clasificación de los impactos de la siguiente manera:

Impacto ambiental crítico: Aquel cuya magnitud es superior al umbral aceptable. Con él se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales, sin posible recuperación, incluso con la adopción de medidas protectoras o correctoras.

Impacto ambiental severo: Aquel en el que la recuperación de las condiciones del medio exige la adecuación de medidas protectoras o correctoras, y en el que, aun con esas medidas, aquella recuperación precisa un periodo de tiempo dilatado.

Impacto ambiental moderado: Aquel cuya recuperación no precisa prácticas protectoras o correctoras intensivas, y en el que la consecución de las condiciones ambientales iniciales requiere cierto tiempo.

Impacto ambiental compatible: Aquel cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad, y no precisa prácticas protectoras o correctoras.

Ningún impacto es considerado ni crítico ni severo. Los impactos moderados se describen a continuación por ser los que necesitarán medidas preventivas o correctoras para mitigarlos o eliminarlos:

La alteración de las características fisicoquímicas del agua de mar por la operación de llenado, hace referencia al aumento de turbidez en la columna de agua provocado por la resuspensión de materiales finos durante el rebose. Se considera moderado ya que, tras poco tiempo, 4 semanas, los finos habrán sedimentado en la misma zona. Las corrientes inducidas por la acción del viento prácticamente no afectan a cierta profundidad, por lo que no se provocará dispersión.

La litología del fondo marino también se verá alterada al extraer materiales. Al encontrarse el yacimiento a una profundidad superior a la de cierre, el transporte sedimentario es prácticamente nulo, por lo que se espera que el restablecimiento del estado inicial tarde mucho tiempo (más de 7 años). Adicionalmente, el nivel de compactación del fondo también variará, pudiendo producirse afloramientos de sustratos que no son los que lo constituyen actualmente.

La geomorfología del fondo marino se vería ampliamente modificada. Se planea la extracción de grandes volúmenes de material que cambiaría significativamente la batimetría. Como en el impacto anterior, al ubicarse el yacimiento fuera de las rutas de transporte de sedimentos, la recuperación del perfil se verá muy alargada en el tiempo. Se espera que las irregularidades de la superficie se vayan suavizando poco a poco sin llegar a recuperar el estado inicial.

En cuanto a las comunidades bentónicas, se espera que desaparezcan todos los individuos presentes sobre o en la arena, al igual que su hábitat. Las especies existentes en la zona del yacimiento son principalmente poliquetos (*Goniada maculata*, *Golfingia sp*, *Abyssoninoe cf hibernica*, etc.), moluscos y crustáceos (*Tuberapseudes chinitas*). Se estima que se puede recuperar el estado anterior a las actuaciones en un periodo de 2 años, dependiendo de los trabajos que se realicen tras la extracción. Adicionalmente, el rebose puede llegar a enterrar los organismos bentónicos de las inmediaciones, pudiendo afectar a las especies sésiles y a la flora y alterando la composición del sustrato.

Las comunidades pelágicas también sufrirán efectos negativos por la turbidez. Las molestias y perturbaciones que les pueden causar el aumento de la concentración de finos, como desorientación, alteración de rutas de migración, etc., pueden provocar un desplazamiento del hábitat natural de las especies. Sin embargo, no se llega a considerar la muerte por colmatación de las branquias, ya que las concentraciones de finos no alcanzan niveles tan extremos. Este impacto, a pesar de ser significativo,

no durará mucho tiempo, ya que se prevé que los finos se depositen en un plazo de tiempo relativamente corto.

En cuanto a la actividad pesquera, la zona de extracción de materiales se vería afectada durante toda la duración del dragado. La pesca de arrastre es la más habitual y, según el Instituto Oceanográfico Español, sobre el yacimiento se encuentran tres caladeros de pesca. Las Cofradías de Valencia y de Cullera, las afectadas durante las actuaciones, se verían obligadas a trasladar la presión pesquera a otras ubicaciones. Sin embargo, una vez finalizasen las extracciones, podrían volver con toda normalidad a sus actividades previas.

Los buques de carga relacionados principalmente con la actividad portuaria del Puerto de Valencia son los que más van a sufrir las consecuencias del dragado, por ser las que más densidad presentan. Sus rutas de navegación se verán alteradas, pero volverán a su estado original al finalizar la extracción de material.

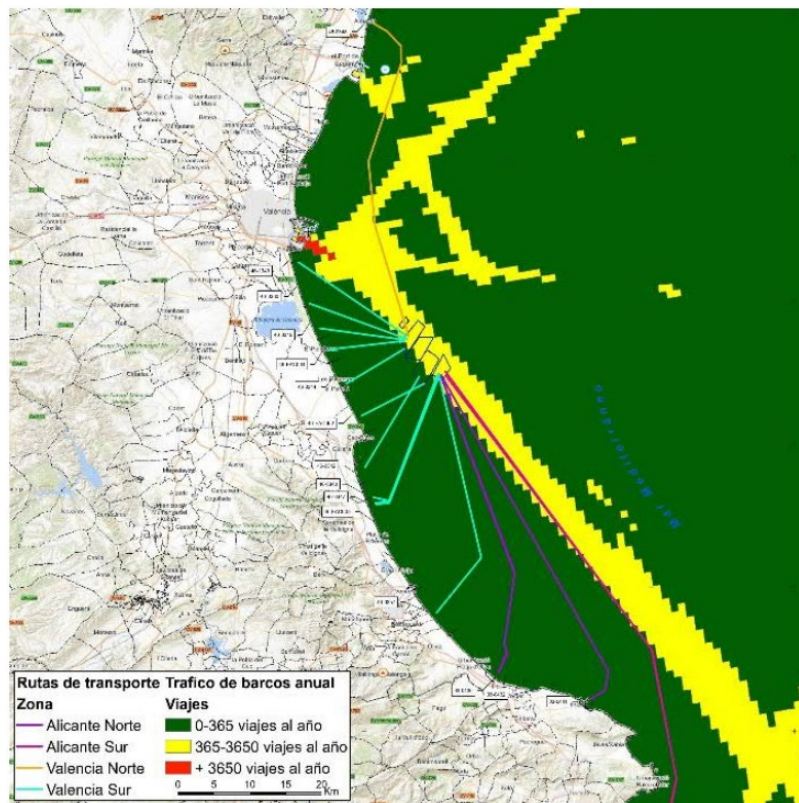


Figura 52. Rutas de transporte del material extraído respecto a zonas de tráfico anual de barcos. (fuente: Hernández y Terrades, 2022)

9.2. Medidas preventivas y correctoras

Con el fin de evitar o disminuir el impacto residual que generan las actuaciones, se proponen medidas preventivas y correctoras. Algunas de las principales medidas nombradas en el Estudio de Impacto Ambiental son las siguientes:

- Emplear el sistema de dragado que reduzca al máximo la resuspensión de materiales finos: selección de un cabezal que mejore la eficacia de la succión, el empleo de válvulas antiturbidez, acotación del dragado a los límites definidos mediante balizamiento, etc.
- Reducir plazos de ejecución con maquinaria de capacidad suficientemente elevada.
- Evitar vertidos de cualquier tipo durante el transporte del material, contando con una red de control de calidad durante y tras la ejecución de las actividades.
- Suspensión de las actividades ante alturas de ola significativa superiores a 2 m para evitar la agitación del mar.
- Llevar a cabo controles batimétricos en el banco de arena para obtener las variaciones.
- Dejar ciertas zonas intermedias sin extraer material, para facilitar la recolonización del área de extracción y para mantener, en la medida de lo posible, la granulometría de las capas superiores.
- Mantener un espesor mínimo del sustrato original para que se pueda dar la recolonización por especies preexistentes.
- Colocación de sistema de alarma con sensores de turbidez cerca, lejos y a una distancia media del área de extracción para proteger el LIC Albufera (Lugar de Interés Comunitario).
- Ante yacimientos inesperados, se redactará un Proyecto de Control Arqueológico autorizado por la Dirección de Patrimonio de la Consejería de Cultura y se llevarán a cabo las medidas necesarias.
- Realización de una cartografía con las praderas de fanerógamas marinas, como la Posidonia oceánica, con el fin de encontrar posibles canales aptos para la colocación de tuberías para el vertido del material.
- Emplear barreras antiturbidez durante el vertido para evitar que se dispersen los finos a mayores profundidades.
- Llevar a cabo un control de calidad de las aguas, para comprobar que cumple lo establecido en el Real Decreto 817/2015 de 11 de septiembre o que no varíe en más de un 20% del estado original.
- Caracterización periódica del material extraído para comprobar que sigue cumpliendo los requisitos establecidos.
- Comunicación al Centro de Coordinación de Salvamento Marítimo de Valencia todo incidente relativo a la seguridad humana, marítima y a la contaminación del medio.

9.3. Programa de Vigilancia Ambiental

El Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) pretende llevar a cabo un control y seguimiento de las actuaciones planteadas para definir y verificar que se cumplen las medidas preventivas y correctoras. Para su elaboración, se consideran 3 fases:

- Fase previa a la explotación del yacimiento.
- Fase de extracción y transporte.
- Fase posterior a la extracción.

La fase previa pretende obtener información para caracterizar la zona que se verá afectada antes de sufrir impactos. Debe incluir la planificación metodológica, reconocimientos geofísicos (estudios batimétricos, relieve e inspecciones visuales) e información sobre recursos pesqueros y comprobación de retirada de equipamiento por parte de los pescadores. Se deberá llevar a cabo una campaña de muestreo y medidas de diferentes aspectos 3 meses previo al comienzo de las obras para obtener el

‘Estado Cero’, del que se extraerán los valores de referencia. Se evaluará en varios puntos la calidad del agua (temperatura, pH, turbidez, nitratos, nitritos, materia en suspensión, etc.), la calidad de los sedimentos (granulometría, contenido de materia orgánica, metales pesados, etc.) y las comunidades marinas (composición y diversidad específicas, abundancia, etc.).

La fase de extracción y transporte se realiza a lo largo de las 40,7 semanas que duran las actividades. Algunas de las inspecciones incluidas son controles de obra (permisos, Plan de Emergencia, mantenimientos de maquinaria, balizamiento de la zona, control de residuos y efluentes, etc.), contaminación atmosférica, contaminación acústica (nivel sonoro, ruido submarino, etc.), calidad química del agua, control batimétrico, caracterización de los sedimentos, comunidades marinas, control arqueológico, transporte y dispersión de finos.

La fase posterior debe comprobar la evolución del retorno al estado original. Se medirá la calidad del agua y del sedimento, se llevarán a cabo estudios geofísicos, se evaluarán las comunidades marinas anualmente durante los 3 años siguientes a la extracción y se realizará un seguimiento de la afección real a los recursos pesqueros.

9.4. Regeneración de playas

Los impactos a considerar en la regeneración de las playas del tramo son los siguientes (De la Peña, 2007):

- Estabilidad litoral
- Ecología
- Estética
- Usos del litoral

Respecto a la estabilidad litoral, el componente más relevante es el transporte sólido litoral, que ha de ser estudiado antes y después de la ejecución de la obra. Se debe evaluar la compatibilidad de la arena original y de la aportada, considerando la granulometría, el grado y el tiempo de reclasificación del grano tras la alimentación artificial y la pérdida de material que se espera. La evolución de la actuación también debe ser monitorizada, teniendo en cuenta que se puede solucionar el problema sin alterar las causas, como es el caso de la regeneración de las playas del presente estudio.

El impacto ecológico hace referencia a las afecciones sobre la actividad biológica y la calidad del medio, agua y materiales. Las alteraciones esperadas son el cubrimiento de la capa superficial del fondo del mar con una capa de arena de diferentes espesores, la modificación del perfil de la playa y el aumento de la turbidez del agua. Las consecuencias más significativas son la alteración en la puesta e incubación de huevos, la obstrucción de las branquias de especies acuáticas y la rotura de la red alimentaria.

La estética depende de los ángulos de visión y considera la armonía con el entorno y la accesibilidad y belleza de la obra para los usuarios. Al pretender retornar las playas a su estado natural, el impacto estético se considera prácticamente nulo o positivo. Se tiene en cuenta el cambio de tonalidad, textura y granulometría de la arena, que pueden alterar el nivel de comodidad del usuario, el incremento o reducción de la pendiente de la playa y el aumento de la turbidez del agua, que lleva a pensar que carece de calidad.

Finalmente, el impacto sobre los usos del litoral evalúa las alteraciones que puedan sufrir las actividades que se desarrollan en la costa. Puede tenerse en cuenta la comodidad del tamaño del grano para los viandantes, deportistas, etc. Al proponerse la ampliación del ancho de las playas, se espera una mejora en la satisfacción referente a las actividades realizadas. Sin embargo, la generación de dunas protegidas mediante cerramientos y pasarelas de acceso limita el libre acceso a las playas.

10. Conclusiones

En el presente estudio se ha abordado la problemática actual existente en las costas valencianas, específicamente en el tramo entre el Puerto de Valencia y el Faro de Cullera. Las playas sufren un desequilibrio sedimentario que las lleva en ciertas zonas a recesiones significativas, mientras que en otras se da un aumento de la anchura. Se identifican numerosas causas de la situación descrita.

Principalmente, la gran presencia de presas a lo largo de los ríos vertientes en el Mediterráneo impiden el flujo natural de sedimentos que llegan al mar y conforman las playas. Los ríos que mayores reducciones han sufrido son el Ebro y el Júcar, sin embargo, en el tramo de estudio, el más relevante es el Turia, por ser el que aporta sedimentos directamente a las playas, siendo responsable de la pérdida de 0,56 hm³ al año.

La construcción y ampliación de barreras marítimas como los puertos inciden en el transporte longitudinal de sedimentos. El Puerto de Valencia impide totalmente el paso de arena de un lado a otro. Por la dirección de procedencia del oleaje en la zona de estudio, el principal transporte de sedimentos transcurre de norte a sur, por lo que las aportaciones de los ríos y playas del norte, no llegan a las playas a sotamar del puerto, ya que quedan retenidas a barlomar. El transporte neto erosivo del sur del Puerto de Valencia se ha estimado en 119.500 m³/año.

El cambio climático ha provocado una subida del nivel del mar generalizada. El Mediterráneo, al tratarse de un mar semicerrado, es muy susceptible a todo tipo de cambios, y se espera que aumente su nivel del mar en 0,15 m hasta el año 2040, agravando la erosión de las playas. Se ha estimado en una erosión adicional en la zona de 66.000 m³/año.

En los años 60, el aumento del interés por el turismo de playa llevó a la construcción de urbanizaciones, establecimientos, paseos marítimos, etc. a lo largo de toda la costa en primera línea de playa. Para ello se eliminaron formaciones dunares de todo el frente litoral, elementos fundamentales para la protección ante fuertes temporales. De esta manera, las zonas a sotavento de las dunas quedan desprotegidas y las playas pierden su capacidad de regeneración tras las embestidas del mar. En 1979 se paralizó el “Plan de Urbanización” y se comenzaron a dismantelar numerosas instalaciones, principalmente en las playas de El Saler, sin embargo, las urbanizaciones construidas no han sido retiradas.

La zona más negativamente afectada es la comprendida entre el segundo espigón de Pinedo y el campo de golf de El Saler. Se puede observar una clara recesión de la línea de costa de hasta 100 m desde los últimos 60 años. Como consecuencia, muchas playas no cumplen la anchura mínima de 40 m recomendada para asegurar la estabilidad de la playa y las edificaciones más cercanas al mar sufren los devastadores efectos de los temporales más fuertes.

El tramo inmediatamente al sur del Puerto de Valencia está en acreción debido al efecto sombra que genera el puerto. Al impedir oleajes con componente norte y noreste, el transporte longitudinal de sedimentos transcurre únicamente de sur a norte. Las playas al sur de la Gola de Pujol se encuentran, generalmente, en un estado muy similar al de los años 50. Se considera que la “onda expansiva” de erosión, todavía no las ha alcanzado, pues actualmente son las playas de El Saler y la Dehesa las más afectadas. Estas playas en equilibrio reciben los sedimentos de las playas ubicadas más al norte, sin

embargo, las edificaciones construidas donde originalmente se encontraban las dunas sufren constantes daños ante temporales.

Ante dicha situación, se plantea la alimentación artificial de las playas más afectadas, contando con que el transporte sedimentario longitudinal distribuya cierta cantidad de la arena a todas las playas. Se considera el volumen perdido entre los años 1956 y 2018, 8 millones de m³, el que se llevará el transporte longitudinal de la zona más afectada hasta el año 2040, 8,5 millones de m³, y el correspondiente a la subida del nivel del mar en todo el tramo de estudio hasta 2040, 1,3 millones de m³. El volumen total necesario es de 17,8 millones de m³.

A 10 km de la costa de Cullera se encuentra un banco de arena considerado apto para llevar a cabo alimentaciones artificiales de las playas de Valencia. El volumen necesario a extraer es, por consecuencia del porcentaje de finos del yacimiento, de 24,8 millones de m³. La extracción se llevaría a cabo mediante una draga de succión en marcha tipo Jumbo y durará 41 semanas. El volumen aportado a las costas se distribuirá imitando el perfil existente previo a las afecciones del Puerto de Valencia y se llevará a cabo la revegetación de las dunas formadas.

Se trata de una obra muy costosa que debe llevarse a cabo para frenar e invertir la recesión de las playas valencianas y para proteger elementos de gran importancia como l'Albufera de Valencia. Consiste en una solución rápida a la problemática existente, sin embargo, es evidente que se ha de plantear la ejecución de trasvases en embalses para restituir el flujo fluvial. A pesar de ser la solución más adecuada, es un proceso muy complejo que debe ser profundamente analizado y que llevará mucho tiempo, por lo que la alimentación artificial propuesta se considera la opción más adecuada actualmente. También sería recomendable realizar trasvases periódicos de playas en acreción debido a barreras al transporte sedimentario, como es el caso de la playa de las Arenas.

M^a Carmen Millán Roldán

Valencia, julio de 2023

11. Referencias

- Alguacil, A. (2020). *Estudio de la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia*. Trabajo de Fin de Máster. Universitat Politècnica de València. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/158768>
- Aragonés, L., Pagán, J. A., Lopez, M. A., & Serra, J. (2019). Cross-shore sediment transport quantification on depth of closure calculation from profile surveys. *Coastal Engineering*, 151, 64-77. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.04.002>
- Aragonés, L., Pagán, J. A., López, I., & Serra, J. M. (2018). Depth of closure: New calculation method based on sediment data. *International Journal of Sediment Research*, 33(2), 198-207. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.12.001>
- Benavent, J. et al. (s.f.). La restauración de las dunas litorales de la Devesa de l'Albufera de Valencia. Ajuntament de Valencia.
- Betancourt Ingenieros (2018). *Proyecto de regeneración de las playas del Saler y Garrofera (Valencia) y Estudio de Impacto Ambiental*. Ministerio para la Transición Ecológica.
- Birkemeier, W. A. (1985). Field Data on Seaward Limit of Profile Change. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 111(3), 598-602. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-950x\(1985\)111:3\(598\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-950x(1985)111:3(598))
- Bray, R. N. (2009). *A Guide to Cost Standards for Dredging Equipment 2009*. CIRIA.
- Bray, R. N., Bates, A. D., & Land, J. M. (1996). *Dredging: A Handbook for Engineers*. Hodder Education.
- Bruun, P. (1962). Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion. *Journal of the Waterways and Harbors Division*, 88(1), 117-130.
- CEDEX (2007). Energía hidráulica. Impacto ambiental. *Monográficos Hispagua: Energía hidráulica*. Disponible en: https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/especiales/energia_hidr/4_impacto.htm [Consulta 17 mayo 2023].
- CEDEX (2013). *Materiales de dragado*. Disponible en: <https://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/31/materiales-de-dragado/> [Consulta 19 mayo 2023].
- CEDEX (2015). *Estrategia protección de la costa Sur de Valencia. Documento Final*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategias-proteccion-costa/valencia/estrategia-proteccion-valencia.aspx> [Consulta 18 mayo 2023].
- Chaparría, V. E. (2004). *Obras Marítimas*. Universitat Politècnica de València.
- US Army Corps of Engineers, 1995. Engineering and Design – Coastal Geology (Chapter 2: Coastal Terminology and Geologic Environments). (nº EM 1110-2-1810).
- Cobo, R. (2008). Los sedimentos de los embalses españoles. *Ingeniería Del Agua*, 15(4), 231-241. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/ia.2008.2937>
- Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica. (s. f.). *Conócenos*. PN L'Albufera. Disponible en: <https://parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-l-albufera/conocenos> [Consulta 19 junio 2023].
- Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica. (s. f.). *El chorlitoje patinegro*. PN L'Albufera. Disponible en: <https://parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-l-albufera/el-corriol-camanegre> [Consulta 20 junio 2023].
- De la Peña, J.M. (2007). *Guía técnica de estudios litorales. Manual de costas*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

- 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. *Revista Digital Del Cedex*, (191), 74-85. Disponible en: <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2355> [Consulta 15 mayo 2023].
- Del Campo, J.M., Negro, V. (2009). *Maquinaria y medios auxiliares en obras marítimas*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Escalante, R. (2023). Ingeniería de Dragado. Costos de las obras de dragado. Disponible en: http://www.graduadosportuaria.com.ar/bibliografia_vn/ [Consulta 29 mayo 2023].
- Escalante, R. (2023). Ingeniería de Dragado. Draga de succión por arrastre. Disponible en: http://www.graduadosportuaria.com.ar/bibliografia_vn/ [Consulta 22 mayo 2023].
- Escalante, R. (2023). Ingeniería de Dragado. Draga de succión por arrastre. Cálculo de producción. Disponible en: http://www.graduadosportuaria.com.ar/bibliografia_vn/ [Consulta 24 mayo 2023].
- 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. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(16), 88, 1493-1512. Disponible en: <https://doi.org/10.9753/icce.v16.88>
- Hernández, A., Terrades, I. (2022). *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de extracción de arena en aguas profundas de Valencia y transporte para alimentación de playas*. Typsa. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Hernández, E. (2022). *Estudio del trasvase de sedimentos depositados en los embalses y restitución del flujo sedimentario fluvial para regenerar las playas valencianas entre el Delta del Ebro y el Puerto de Dénia*. Trabajo de Fin de Máster, ETSICCP, Universitat Politècnica de València. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/188738>
- Iberport Consulting (2012). *Documento de Inicio de "Recuperación del tramo de costa entre las desembocaduras de los ríos Turia y Júcar (Valencia)"*. Demarcación de Costas de Valencia. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- IHCantabria (2014). *Cambio Climático en la Costa Española*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/publicaciones/2014%20INFORME%20C3E%20final_tcm30-178459.pdf
- IHCantabria (s.f.). Visor C3E. Disponible en: <https://c3e.ihcantabria.com/> [Consulta 17 mayo 2023].
- IPCC (2014). *Cambio climático 2014. Informe de síntesis*. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- IPCC (2023). *Climate change 2023: AR6 Longer Report*. Disponible en : <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> [Consulta 16 mayo 2023].
- 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.
- Köppen, W. and Geiger, R. (1936). *Das geographische System der Klimate*, Berlin.
- Ley, C., Gallego, J. B., Vidal, C. (2007). *Manual de restauración de dunas costeras*. Ministerio de Medio Ambiente.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2006-2007). *Ecocartografía de Valencia*. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/ecocartografia-valencia.aspx> [Consulta 18 mayo 2023].
- Nicholls, R. J., Birkemeier, W. A., & Hallermeier, R. J. (1996). Application of the depth of closure concept. *25th International Conference on Coastal Engineering*, 1(25), 3874-3887. Disponible en: <https://icce-ojs-tamu.tdl.org/icce/article/view/5515/5189> [Consulta 15 mayo 2023].

- Nicholls, R. J., Larson, M., Capobianco, M., Birkemeier, W. A. (1998). Depth of closure: improving understanding and prediction. *26th International Conference on Coastal Engineering*, 1(26), 2888-2901. Disponible en: <https://icce-ojs-tamu.tdl.org/icce/article/view/5810/5478> [Consulta 15 mayo 2023].
- Nunez, C. (2022). ¿Qué es el aumento del nivel del mar? *National Geographic*. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-aumento-del-nivel-del-mar> [Consulta 19 junio 2023].
- Oceanogràfic, (s.f.). Conservación. *Fundación Oceanogràfic*. Disponible en: <https://www.oceanografic.org/fundacion-oceanografic/conservacion/> [Consulta 20 junio 2023].
- Olcina, J. (2009). Cambio climático y riesgos climáticos en España. *Investigaciones Geográficas*, 49, 197-220. Disponible en: <https://doi.org/10.14198/INGEO2009.49.10> [Consulta 17 mayo 2023].
- Plan Nacional de Ortografía Aérea, (s.f.). Comparador PNOA. *Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*. Disponible en: https://visualizadores.ign.es/comparador_pnoa/ [Consulta 18 mayo 2023].
- Puertos.es. (2023). Página Inicio | Puertos.es. Disponible en: <http://www.puertos.es/> [Consulta 18 mayo 2023].
- Ramos, R., Marco, D. (2022). *Proyecto de extracción de arena en aguas profundas de Valencia y transporte para alimentación de playas*. Typsa. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- SEO/BirdLife (2020, 13 marzo). *Renaturalizamos en Valencia playas para el chorlito patinegro*. Disponible en: <https://seo.org/renaturalizamos-en-valencia-playas-para-el-chorlito-patinegro/> [Consulta 20 junio 2023].
- Serra, J., Chaparría, V. (2013). Evolución y tendencia de la playa de la Devesa (Valencia). *XII Jornadas españolas de Ingeniería de Costas y Puertos*. Disponible en: <https://costasypuertos.com/xii-jornadas-espa%C3%B1olas-de-ingenier%C3%ADa-de-costas-y-puertos> [Consulta 31 mayo 2023].
- Simulaciones y Proyectos (2018). *Clasificación climática mundial Según Köppen Geiger - Simulaciones y Proyectos*. Disponible en: <https://www.simulacionesyproyectos.com/blog-ingenieria-arquitectura/clasificacion-climatica/> [Consulta 15 mayo 2023].
- Typsa (s.f.). *Evolución geomorfológica de L'Albufera*. Disponible en: https://typsa.net/Albufera/01_WEB_ED/01_AV_DSAV/04_GA/01_MC/5-Estudio_historico/ [Consulta 19 mayo 2023].
- U.S. Army Coastal Engineering Research Center (1984). *Shore Protection Manual*. Vicksburg, MS: Department of the Army, US Army Corps of Engineers.



Anejo 1. Resultados del transporte longitudinal de sedimentos

Tabla 22. Frecuencia de oleaje de las direcciones influyentes en el punto SIMAR 2081112. (fuente: Puertos del Estado)

SIMAR 2081112	α_0	Altura significativa (m)								
		$\leq 0,2$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Dirección										
N	73,98	0,066	0,394	0,295	0	0	0	0	0	0
NNE	-22,5	0,098	0,426	0,59	0,164	0,066	0	0	0	0
NE	-45	0,951	4,329	6,658	2,722	1,541	0	0	0	0
ENE	-67,5	1,082	8,429	7,314	4,133	2,985	1,246	0,59	0,492	0,197
E	-90	2,099	6,494	5,018	0,394	0	0	0	0	0
ESE	-112,5	0,918	10,725	7,412	0,492	0	0	0	0	0
SE	-135	0,722	4,067	2,689	1,41	0	0	0	0	0
SSE	-157,5	0,131	0,295	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 23. Transporte longitudinal de sedimentos en el punto SIMAR 2081112. (fuente: Elaboración propia)

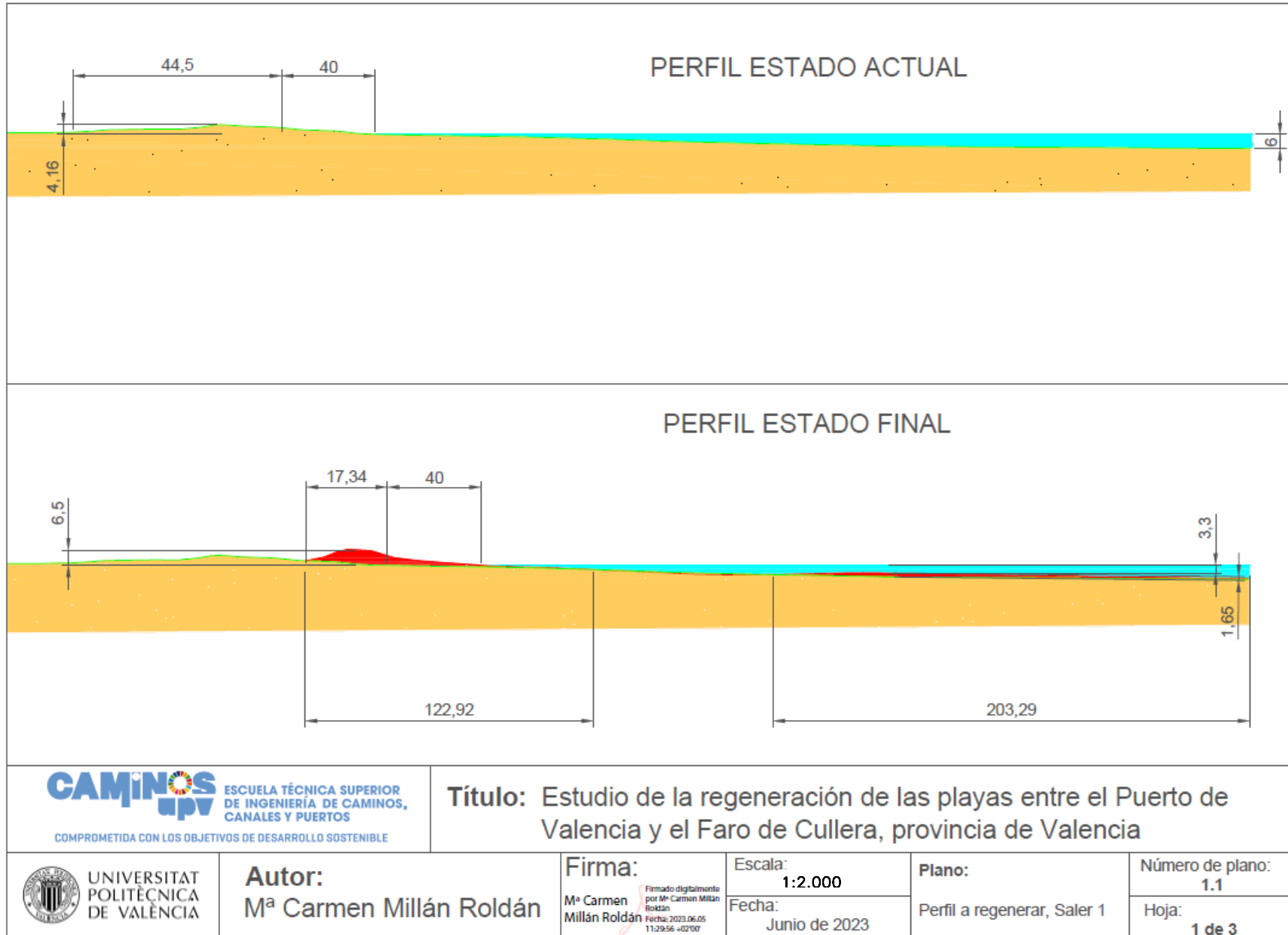
SIMAR 2081112	α_0	Transporte longitudinal (m ³ /año)									
		$\leq 0,2$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	Total
N	73,98	9,202	542,858	2.299,254	0	0	0	0	0	0	2.851,314
NNE	-22,5	30,763	1.321,500	10.353,438	7.930,573	6.551,662	0	0	0	0	26.187,938
NE	-45	282,694	12.716,659	110.637,979	124.645,531	144.856,527	0	0	0	0	393.139,390
ENE	-67,5	87,848	6.762,879	33.195,980	51.692,090	76.639,006	55.885,431	41.743,195	51.175,931	28.611,903	345.794,261
E	-90	-399,793	-12.223,206	-53.429,177	-11.560,382	0	0	0	0	0	-77.612,558
ESE	-112,5	-305,085	-35.222,957	-137.701,577	-25.188,178	0	0	0	0	0	-198.417,797
SE	-135	-185,149	-10.306,429	-38.547,821	-55.700,141	0	0	0	0	0	-104.739,540
SSE	-157,5	-6,175	-137,406	0	0	0	0	0	0	0	-143,580
										Transporte bruto	1.148.886,378
										Transporte neto	387.059,426

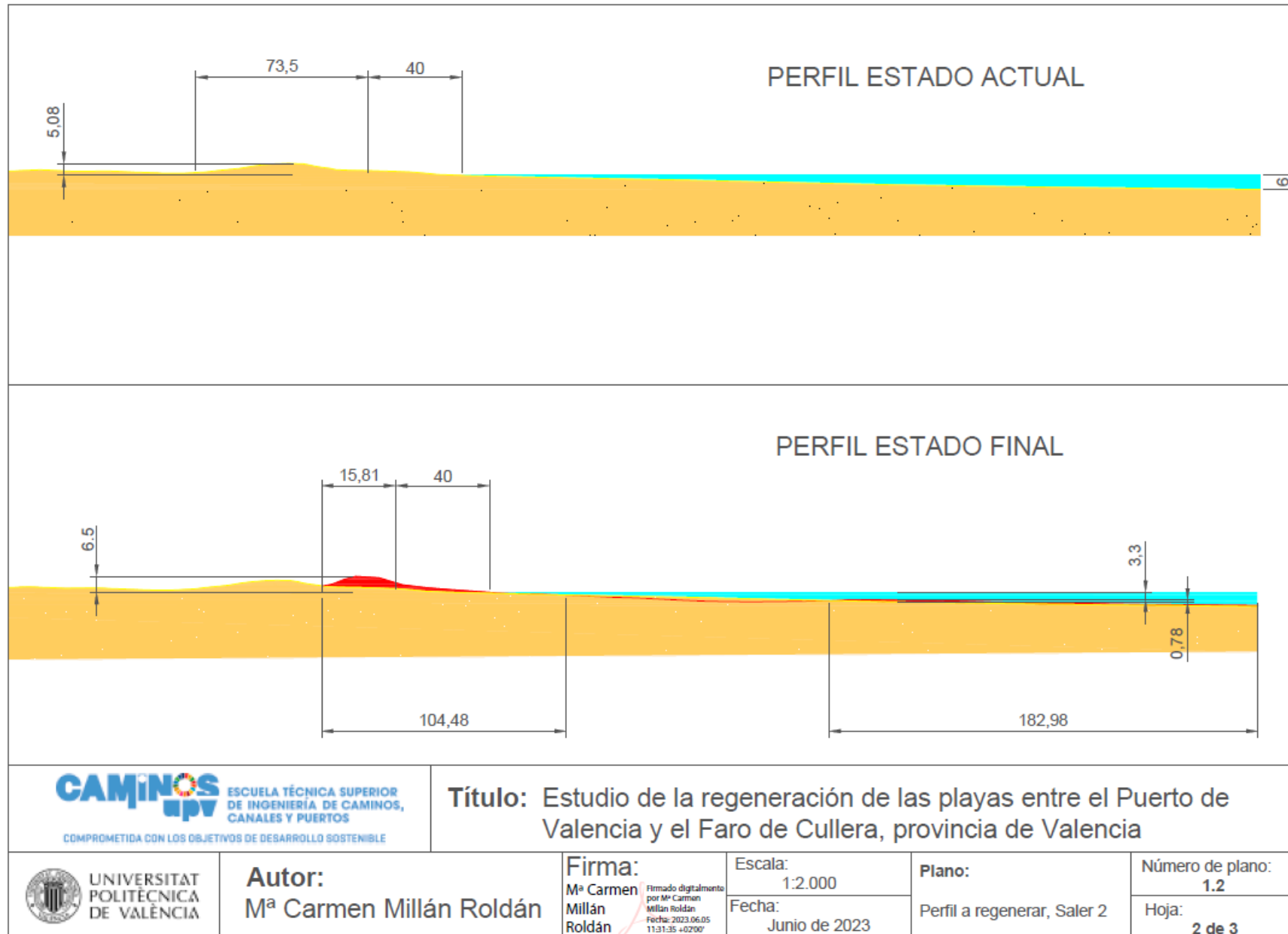


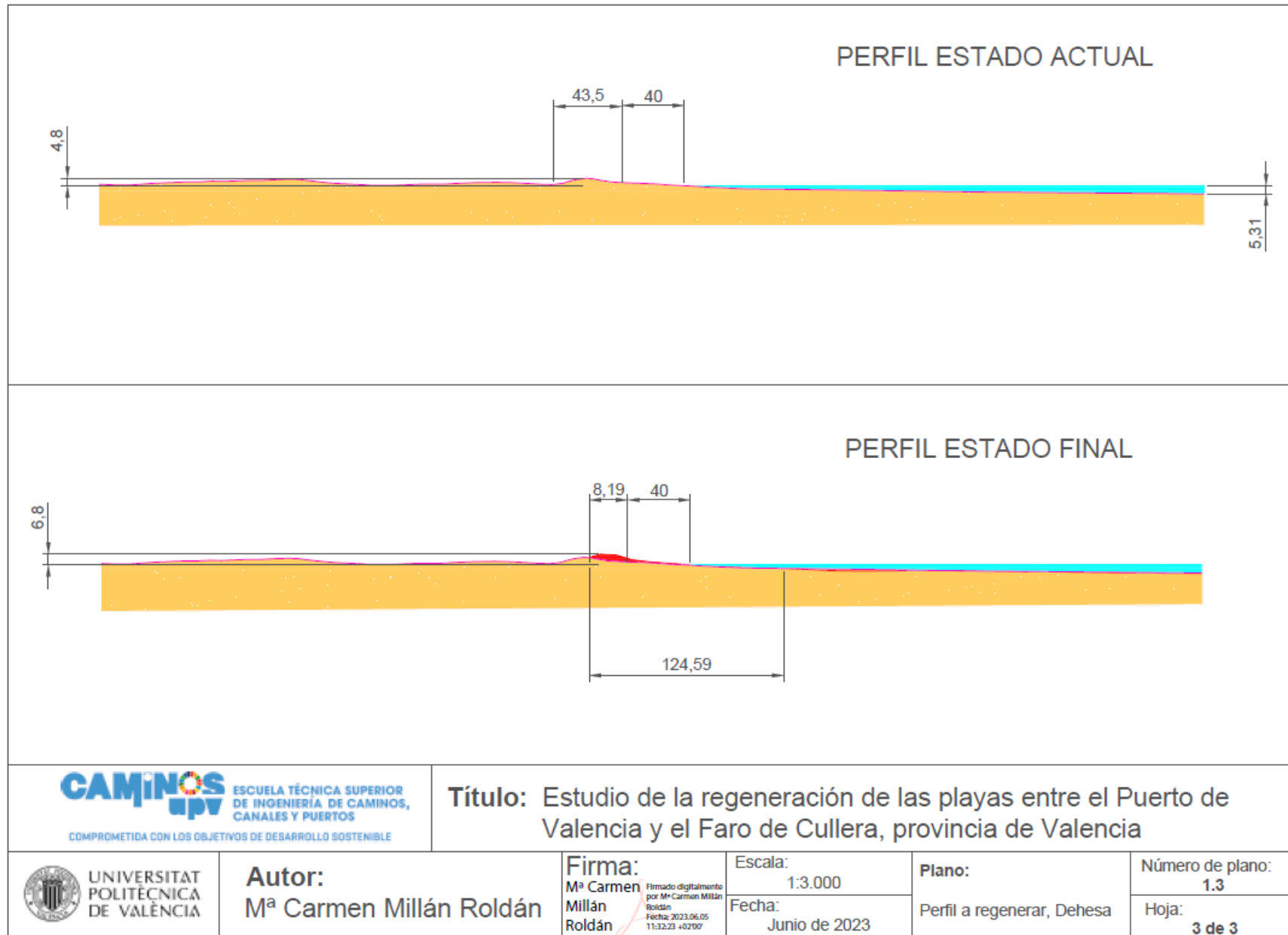
Anejo 2. Perfiles a regenerar



Figura 53. Ubicación de los perfiles actuales. (fuente: Elaboración propia)









Anejo 3. Programa de trabajos



Anejo 4. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son 17 objetivos que fueron aprobados por todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas en 2015 como parte de la Agenda 2030. Constituyen un llamamiento universal con el fin de acabar con la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y perspectivas de los habitantes de todo el mundo.

Los objetivos definidos son los siguientes:

1. Poner fin a la pobreza
2. Hambre y seguridad alimentaria
3. Salud
4. Educación
5. Igualdad de género y empoderamiento de la mujer
6. Agua y saneamiento
7. Energía
8. Crecimiento económico
9. Infraestructura
10. Reducir las desigualdades entre países y dentro de ellos
11. Ciudades
12. Producción y consumo sostenibles
13. Cambio climático
14. Océanos
15. Bosques, desertificación y diversidad biológica
16. Paz y justicia
17. Alianzas

A continuación, se relaciona el presente trabajo “Estudio de la regeneración de las playas entre el Puerto de Valencia y el Faro de Cullera, provincia de Valencia” con los ODS.

Tabla 24. Relación del TFG con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). (fuente: Elaboración propia)

Objetivos de Desarrollo Sostenible	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 los objetivos			X	

ODS 5. Igualdad de género

A pesar de no influir directamente sobre la igualdad de género, la ingeniería es un sector que históricamente ha sido exclusivo de los hombres. A pesar de que en los últimos años la situación ha ido cambiando, todavía hay menos representación femenina tanto en estudios técnicos como en altos cargos empresariales.

ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico

El presente estudio proporciona soluciones ante la problemática de recesión de la costa valenciana. Las playas son el soporte de numerosas actividades económicas: tanto deportivas como turísticas, siendo estas últimas de especial relevancia en la Comunidad Valenciana. Asegurar su correcta conservación y estabilidad es primordial para permitir el crecimiento económico de los diferentes agentes que se benefician del medio.

Adicionalmente, las actuaciones implicadas en la regeneración de las playas necesitan mucho personal para ser llevadas a cabo: desde los estudios y proyectos pertinentes hasta el personal de maquinaria. Se trata de una obra que generará puestos de trabajo antes, durante y tras su ejecución.

ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles

El desarrollo de los núcleos urbanos de las últimas décadas se clasifica como insostenible, ya que ha llevado a la destrucción del medio y a consecuencias muy negativas. Con la propuesta expuesta, se mejorarán las condiciones actuales, permitiendo seguir desarrollando las actividades de las ciudades a la vez que protegiendo la naturaleza y a los habitantes de las zonas costeras de los posibles efectos adversos del oleaje y del cambio climático.

ODS 13. Acción por el clima

El clima influye en la ejecución de la propuesta de este estudio y se tiene en cuenta en las diferentes etapas de la regeneración de las playas. Sin embargo, lo más destacable es que, en los volúmenes considerados para alimentar las costas, se tiene en cuenta la subida del nivel del mar que se espera en las próximas décadas como consecuencia del cambio climático. A pesar de no pretender reducir o mitigar la contaminación que lo provoca, el estudio adapta las obras a sus futuros efectos.

ODS 14. Vida submarina

Los ecosistemas marinos se verán perturbados principalmente por los trabajos de la draga. Es por ello que se tienen en cuenta las consideraciones ambientales expuestas relativas a la fauna y flora existente en el área de extracción de arena. En el Programa de Vigilancia Ambiental se describen los aspectos de los que se tendrá que llevar a cabo un seguimiento con el fin de proteger la biodiversidad de la zona.

ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres

Mediante la regeneración dunar se tiene la intención de restituir los hábitats que fueron eliminados con la intensa edificación del siglo pasado. Las dunas son soporte de una gran variedad de especies y constituyen una protección para los espacios ubicados tras ellas. L'Albufera de Valencia es un ecosistema de especial importancia por ser uno de los humedales más importantes de Europa. El Parque Natural es especialmente susceptible a los cambios de la costa por su cercanía a la misma y con las medidas de este estudio se favorece su preservación.

ODS 17. Alianzas para lograr los objetivos

Para el correcto desarrollo de las actuaciones descritas en este estudio, todos los organismos, empresas, etc. implicados deben sincronizar sus actuaciones asegurando la cooperación.