



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ANEJO 10:

ESTUDIO DE

ALTERNATIVAS

ÍNDICE DEL ANEJO

1. Introducción	1
2. Estado actual y problemática.....	1
2.1 Estado actual	1
2.2 Análisis de la problemática	8
2.2.1 Rigidización.....	8
2.2.2 Río cuevas.....	9
2.2.3 Temporales.....	12
4. Métodos de defensa, protección y regeneración costera	14
5. Alternativas	16
5.1 Alternativa 1: Desmantelar todas las obras de defensa + alimentación artificial	16
5.1.1 Descripción	16
5.2 Alternativa 2: desmantelamiento total excepto espigón curvo del norte y tapón del sur + construcción de diques exentos.....	17
5.2.1 Descripción	17
5.2.2 Diseño de los diques exentos.....	18
5.2.3 Características geométricas de los diques	18
5.2.4 Proceso constructivo	26
5.2.5 Valoración económica.....	27
5.3 Alternativa 3: desmantelamiento total y construcción de diques exentos .	29
5.3.1 Descripción	29
5.4 Alternativa 4: cordón dunar.....	30
5.4.1 Descripción	30
5.4.2 Volumen de aportación	33
5.4.3 Valoración económica.....	34
6. Alternativa escogida: Alternativa 2 + Alternativa 4	35
7. Bibliografía	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espigón curvo. (Fuente: Google Earth)	2
Figura 2. Espigón semi curvo con espolón. (Fuente: Google Earth).....	2
Figura 3. Espigón curvo con espolón. (Fuente: Google Earth)	3
Figura 4. Espigón corto estabilizador. (Fuente: Google Earth)	4
Figura 5. Espigón en T. (Fuente: Google Earth).....	4
Figura 6. Espigón recto corto. (Fuente: Google Earth)	5
Figura 7. Localización cordón dunar actual. (Fuente: Google Earth)	6
Figura 8. Cordón dunar en 1ª persona. (Fuente: Elaboración propia)	6
Figura 9. Cambiaderos. (Fuente: Elaboración propia).....	7
Figura 10. Acceso desde el paseo y fuente para lavado de pies. (Fuente: Elaboración propia)	7
Figura 11. Ordenación actual de Torrenosttra. (Fuente: Google Earth).....	8
Figura 12. Espigones existentes en la playa de Torrenosttra enumerados. (Fuente: Google Earth)	9
Figura 13. Desembocadura río Cuevas en al año 1956. (Fuente: Google Earth)	10
Figura 14. Desembocadura río Cuevas en el año 1996. (Fuente: Google Earth)	10
Figura 15. Desembocadura río Cuevas en el año 2006. (Fuente: Google Earth)	11
Figura 16. Desembocadura río Cuevas en la actualidad. (Fuente: Google Earth).....	11
Figura 17. Temporal arrasando con la playa. (Fuente: Google)	12
Figura 18. Situación de la playa después del temporal (1). (Fuente: Google)	13
Figura 19. Situación de la playa después del temporal (2). (Fuente: Google)	13
Figura 20. Situación de la playa después del temporal (3). (Fuente: Google)	14
Figura 21. Recomendaciones del peso para dique escollera (Filtro). (Fuente: Shore Protection Manual).....	22
Figura 22. Recomendaciones del peso para dique escollera (Núcleo). (Fuente: Shore Protection Manual).....	23
Figura 23. Formaciones producidas por diques exentos. (Fuente: Asignatura Obras Marítimas).....	25
Figura 24. Hemitómbolo. (Fuente: Asignatura Obras Marítimas)	26
Figura 25. Cordón dunar actual. (Fuente: Elaboración propia).....	31
Figura 26. Zona que obstruiría la continuidad del cordón dunar. (Fuente: Google Earth)	32

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA
PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)

Figura 27. Zona que obstruiría la continuidad del cordón dunar. (Fuente: Google Earth)	
.....	32
Figura 28. Zona que obstruiría la continuidad del cordón dunar. (Fuente: Google Earth)	
.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Averías (%) / Altura de cálculo sin averías. (Fuente: Shore Protection Manual)	
.....	19
Tabla 2. Valores coeficiente Kd. (Fuente: Shore Protection Manual)	20
Tabla 3. Pesos del manto principal del dique. (Fuente: Elaboración propia)	21
Tabla 4. Espesor del manto principal del dique. (Fuente: Elaboración propia)	21
Tabla 5. Espesor del manto secundario. (Fuente: Elaboración propia)	22

1. Introducción

En este Anejo último se va a realizar un estudio de soluciones para la reordenación del frente litoral de la playa de Torrenosttra, de forma que se resuelvan sus problemas, sin dar lugar a otros.

Para ello se va a hacer un análisis exhaustivo de cuál es el estado actual de la playa y de cuáles son sus principales problemas, además de tener en cuenta toda la información desarrollada en los anejos anteriores para así abordar las posibles soluciones a aplicar para la mejora de ésta.

2. Estado actual y problemática

2.1 Estado actual

La playa de Torrenosttra es una playa urbana artificial formada por arenas doradas. Tiene una longitud de 1310 metros de largo, mientras que el ancho de playa es variable, estando en un intervalo de entre 30 y 60 metros.

Cuando decimos que es una playa artificial nos referimos a que no se ha formado de forma natural, sino que ha sido creada bajo acción humana mediante la construcción de las obras de defensa.

La playa posee 6 obras de defensa transversales, siendo espigones en su totalidad. A continuación, se describirán los espigones existentes, en orden de Norte a Sur:

- **Espigón curvo:** Este espigón mide 188 metros de longitud y su cota de coronación está a +0,5 metros. La función principal de este espigón es la de cortar el transporte de sedimentos, pero no en su totalidad, ya que al haber poco se pretende que una parte de estos se depositen en la costa (Figura 1).

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA
PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)



Figura 1. Espigón curvo. (Fuente: Google Earth)

- **Espigón semi curvo con espolón:** Este espigón mide 193 metros de longitud, mientras que el espolón mide 40 metros y ambos tienen una cota de coronación de +0,5 metros. La función de este espigón y su espolón es la de reducir la erosión y mantener la estabilidad de la playa al atrapar sedimentos y depósitos (Figura 2).



Figura 2. Espigón semi curvo con espolón. (Fuente: Google Earth)

- **Espigón curvo con espolón:** El espigón mide 175 metros aproximadamente y tiene forma curva, mientras que el espolón mide 40 metros de longitud. Al igual que todos los espigones descritos hasta el momento la cota de coronación tanto de este espigón como de su espolón también es de +0,5 metros. La función de este es la de disipar el oleaje y reducir la erosión costera. Además, también ayuda a mantener la estabilidad de la costa y a prevenir la pérdida de arena y sedimentos (Figura 3).

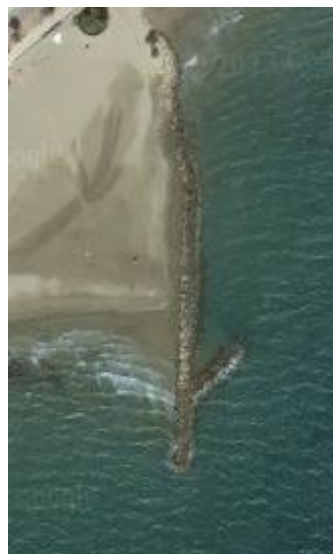


Figura 3. Espigón curvo con espolón. (Fuente: Google Earth)

- **Espigón muy corto con terminación en círculo:** Este espigón mide 8 metros y la terminación circular es de 7m de diámetro. La función de este es la de estabilizar que no erosione mucho a playa para que la arena se pueda apoyar ahí (Figura 4).

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA
PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)



Figura 4. Espigón corto estabilizador. (Fuente: Google Earth)

- **Espigón en T:** Este espigón posee una longitud de 195 metros. La función de este espigón es similar a la del otro espigón en T, es decir, de reducir la erosión y mantener la estabilidad de la playa al atrapar sedimentos y depósitos. En este espigón se sitúa un fondeadero (Figura 5).



Figura 5. Espigón en T. (Fuente: Google Earth)

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)

- **Espigón recto corto:** Este espigón cuenta con una longitud de 52 metros y tiene terminación en forma circular de 10 metros de diámetro. La función de este espigón es la de hacer de tapón para la retención de sedimentos (Figura 6).



Figura 6. Espigón recto corto. (Fuente: Google Earth)

Además de las obras duras comentadas anteriormente, la playa también dispone de obras blandas. Es el caso de un cordón dunar artificial situado al sur de la localidad, cuya función es la de proteger el marjal. Si se observa con detalle el cordón (Figura 7 y Figura 8), éste llega prácticamente hasta donde empieza el paseo marítimo, lo que puede dar lugar a pensar que este cordón ya existía antes de la construcción del paseo marítimo en el año 1958 como se ha explicado en el Anejo 2 “*Antecedentes*”, pero no es así, primero fue el paseo y después el cordón dunar, el cual fue construido a modo de “obra de emergencia” en el año 2014.

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)



Figura 7. Localización cordón dunar actual. (Fuente: Google Earth)



Figura 8. Cordón dunar en 1ª persona. (Fuente: Elaboración propia)

La playa de Torrenostra cuenta con el distintivo de bandera azul desde el año 1993, no solo por la gran calidad de sus aguas, sino también por la larga lista de equipamientos y servicios que presenta. Entre los equipamientos, la playa posee: un paseo marítimo de longitud similar a la playa, gran cantidad de bares/restaurantes, zonas de juegos para los niños, duchas, cambiadores (Figura 9), carpas para hacer masajes, servicio de socorrismo, un fondeadero, etc. Esta gran cantidad de servicios y equipamientos que posee la misma hacen que ésta esté enfocada para ser frecuentada en época estival, cumpliendo este objetivo con creces, ya que no sólo es frecuentada por los habitantes de esta localidad sino también por los del municipio de Torreblanca (Figura 10, Figura 11). Es una zona de aguas tranquilas y cuenta con un grado de ocupación medio, con un rango de entre el 30% y el 70% en temporada alta.

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA
PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)



Figura 9. Cambiaderos. (Fuente: Elaboración propia)



Figura 10. Acceso desde el paseo y fuente para lavado de pies. (Fuente: Elaboración propia)



Figura 11. Ordenación actual de Torrenostra. (Fuente: Google Earth)

2.2 Análisis de la problemática

Los problemas actuales de la playa de Torrenostra son los siguientes:

2.2.1 Rigidización

Una de las principales características de la playa de Torrenostra, como se ha mencionado anteriormente en otro apartado es que se trata de una playa artificial, y esta se encuentra muy alejada de otras playas de características similares si nos referimos a la presencia de obras de defensa, siendo la playa de Benicasim la más cercana dirección sur y la playa de Vinaroz la más cercana dirección norte.

El concepto de artificial implica la existencia de estructuras construidas por el ser humano, tratándose de espigones en este caso. Una de las principales características en cuanto a territorio nos referimos es la de la excesiva rigidización de la misma, contando con excesivas obras de defensa, como vemos en la Figura 12:



Figura 12. Espigones existentes en la playa de Torrenostra enumerados. (Fuente: Google Earth)

2.2.2 Río cuevas

Hace muchos años la fuente principal de sedimentos era la del río Cuevas, situado al norte de la playa, el cual forma un pronunciado delta en su desembocadura. Pero con el paso del tiempo se ha ido produciendo un crecimiento masivo de vegetación a priori de forma natural en el saliente del río, lo que implica desde hace años que el transporte de sedimentos es muy reducido (Figura 13, Figura 14, Figura 15 y Figura 16).

Para conocer las causas de ese crecimiento de vegetación en el delta se requeriría la elaboración de un estudio con más detalle para poder determinar si esto se debe a causa de alguna intervención humana o no.

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA
PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)



Figura 13. Desembocadura río Cuevas en al año 1956. (Fuente: Google Earth)



Figura 14. Desembocadura río Cuevas en el año 1996. (Fuente: Google Earth)

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)



Figura 15. Desembocadura río Cuevas en el año 2006. (Fuente: Google Earth)



Figura 16. Desembocadura río Cuevas en la actualidad. (Fuente: Google Earth)

En estas imágenes (Figura 13, Figura 14, Figura 15 y Figura 16) se muestra de forma visual como ha ido evolucionando la desembocadura del río. En el año 1956, mostrado en la Figura 13, se puede observar que el río sí que proporcionaba sedimentos, pero en la Figura 14 perteneciente al año 1996 ya se observa la presencia de vegetación, la cual ha ido aumentando con los años, cosa que no ha cambiado en la actualidad ya que en la Figura 15 y en la Figura 16 se observa que ha seguido creciendo.

Otras de las problemáticas de la playa están relacionada con los extremos de ésta. Estos “extremos” son zonas que no terminan de estar bien conectadas en cuanto a comodidad nos referimos. Cabe destacar que en la actualmente se está llevando a cabo una actuación bajo el nombre de “Ordenación de los accesos a la playa del Prat en el sur de Torrenosttra”. La actuación propone como objetivo ordenar los accesos desde el paseo marítimo de Torrenosttra hasta el paraje del Prat, reforzando el cordón litoral, restaurando la vegetación dunar y habilitando un acceso peatonal bien definido.

2.2.3 Temporales

Por último, otra problemática que tiene Torrenosttra es la respuesta de esta frente a los fuertes temporales (Figura 17), ya que en esos casos el agua penetra hasta las proximidades de las edificaciones, como vemos en los estados después del temporal (Figura 18, Figura 19, Figura 20).



Figura 17. Temporal arrasando con la playa. (Fuente: Google)

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA
PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)



Figura 18. Situación de la playa después del temporal (1). (Fuente: Google)



Figura 19. Situación de la playa después del temporal (2). (Fuente: Google)



Figura 20. Situación de la playa después del temporal (3). (Fuente: Google)

4. Métodos de defensa, protección y regeneración costera

Antes de empezar a describir las alternativas propuestas para la reordenación de la playa de Torrenostra se van a explicar cuáles son los métodos de defensa, protección y regeneración costera.

Para empezar, respecto a su funcionalidad las obras se van a clasificar en dos grandes grupos: Obras duras y obras blandas.

Obras duras

Se consideran obras duras aquellas en las que se emplean elementos rígidos. Una de sus principales características es que en el caso de que no sean efectivas la costa puede quedar peor de lo que estaba antes de haber sido tratada, debido a su difícil desmantelamiento.

Obras blandas

Como su propio nombre indica, son aquellas en las que no se emplean elementos rígidos. Suelen estar relacionadas con arenas. A diferencia de las obras duras, en el caso en el que las obras blandas no sean efectivas, la costa no quedará peor de lo que estaba antes. Además de esta clasificación, las obras costeras también pueden clasificarse de la siguiente forma: Aquellas en las que se emplean técnicas estructurales y aquellas en las que se emplean técnicas no estructurales. Las obras que emplean técnicas estructurales son aquellas que emplean estructuras rígidas bien sea para retener la recesión de la costa o para mantener sedimentos. A su vez las técnicas estructurales se pueden dividir en:

- Longitudinales
 - Malecones
 - Muros
 - Revestimientos
- Espigones
- Diques exentos
 - Diques exentos
 - Diques arrecife
 - Diques isla
 - Diques de pie

Las técnicas no estructurales son aquellas en las que no se emplean estructuras para retener la recesión o forzar la retención de sedimentos. Se pueden dividir en:

- Regeneración dunar
 - Escarpe
 - Campo dunar
- Vegetación
 - Fijación de arenas
 - Fondos ante-litorales
- Drenaje
- Alimentación artificial
- Trasvase de arenas

- Planeamiento urbano
- Retirada

5. Alternativas

5.1 Alternativa 1: Desmantelar todas las obras de defensa + alimentación artificial

5.1.1 Descripción

Esta alternativa consiste en el desmantelamiento de las obras de defensa en su totalidad, es decir de los seis espigones que forman parte de la playa de Torrenostra y posteriormente proporcionar arena a la playa mediante alimentación artificial. Mediante esta solución la playa dejaría de estar rigidizada ya que no tendría ninguna obra dura de defensa, pero debido al bajo transporte de sedimentos que hay por la zona se debería de rellenar con arena mediante alimentación artificial en toda la longitud de la playa. Al dejar de estar rigidizada pasaría a ser una playa recta, y el ancho recomendable en situaciones normales para este tipo de playas oscila entre 45 y 55 metros, luego habría que intentar cumplir esa recomendación.

Pero como se ha explicado en el Anejo 2 “Antecedentes”, *“Debido a los fuertes temporales que desde hacía tiempo se hacían notar en el poblado y temiendo por la seguridad de este, además de la influencia de las peticiones vecinales, en el año 1958 se realizaron por el Ministerio de Obras Públicas unas obras de defensa de dicha playa”*, este fragmento evidencia que el tramo de costa estaba sometida a una regresión constante, además de una mala respuesta frente a fuertes temporales al igual que en la actualidad, lo que implica que en el caso de desmantelar las obras de defensa la playa pasaría a tener los mismos problemas que tenía antes del 1958. En el caso de seguir adelante con esta alternativa habría que ver si con alimentación artificial, bien sea de manera única o de forma periódica sería suficiente para conseguir que la playa estuviera protegida, fuera estable y cómoda para los bañistas.

La respuesta es que harían falta alimentaciones artificiales de manera periódica, lo cual implicaría un gasto de dinero de forma constante para que la arena se terminara yendo. Además, cabe mencionar que como se ha explicado en el Anejo 9 “*Evolución de la línea de costa*”, todas las playas de los alrededores de la playa de Torrenostra están compuestas por bolos y gravas, luego podemos afirmar que el estado natural de la playa de Torrenostra debería de ser de una composición de bolos/gravas. Esto implica que en el caso de que por algún error de cálculo la arena desapareciera antes de realizar alguna de sus alimentaciones, al no tener ninguna estructura que la protegiera, se terminaría formando una playa de bolos y la playa perdería una de sus características principales que es el que esté formada de arenas finas.

Como conclusión podemos afirmar con total seguridad que esta alternativa no sería para nada viable ya que no solucionaría el problema de forma permanente, ya que no garantiza que la arena proporcionada permanezca de forma permanente. Además de que sería un gasto de dinero de forma constante e innecesaria, luego no se va a realizar el cálculo del volumen de relleno necesario.

5.2 Alternativa 2: Desmantelamiento total excepto espigón curvo del norte y tapón del sur + construcción de diques exentos

5.2.1 Descripción

Esta alternativa consiste en el desmantelamiento de todos los espigones excepto el curvo del norte y el tapón del sur, y la posterior construcción de diques exentos. Los diques exentos funcionarán como estructuras de protección y de contención lateral de sedimentos y se situarán a cierta distancia de la línea de costa. Además, se valorará si es necesaria la aportación de arena a la playa de manera artificial para apoyar a los diques exentos.

5.2.2 Diseño de los diques exentos

Todos los cálculos relativos a las alturas de ola de cálculo se han realizado en el Anejo 4 “*Clima marítimo*”, obteniendo una $H_{cat} = Hb = 4 \text{ m}$

5.2.3 Características geométricas de los diques

Geometría y sección de las secciones transversales

Para el diseño de la geometría de la sección transversal de los diques exentos se trabajará con unos valores propuestos. Una vez realizados todos los cálculos se realizarán las comprobaciones para determinar si su diseño es correcto.

Los valores con los que va a trabajar son los siguientes:

- El tramo a proteger consta de 1310 metros, luego el número de diques a construir será de dos, ambos de características geométricas idénticas
- Los diques se situarán a 4 metros de profundidad, alejados a 370 metros de la línea de costa
- La altura de los diques será de 3 metros
- La longitud de los diques será de 175 metros
- La cota de coronación se situará a 1 metro por debajo del NMN
- La separación entre diques será de 200 metros
- El talud de los diques será de 1:2
- El ancho de coronación será de 11 metros
- Serán diques multicapa:
 - Manto principal de escollera, manto secundario (filtro) y núcleo todo-uno

Lo primero que se va a determinar una vez halladas las alturas de ola de cálculo realizadas en el Anejo 4 “*Clima Marítimo*” serán los pesos unitarios correspondientes a cada material.

Para ello se debe de consultar el SPM (Shore Protection Manual), el cual nos proporciona la fórmula de Iribarren modificada por Hudson:

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)

$$w = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{(s_r - 1)^3 \cdot k_d \cdot \cot \alpha}$$

Siendo:

- W = Peso de las piezas del manto (Tn).
- ρ_s = Peso específico de la escollera, (2,7 Tn/m³).
- H = Altura de ola (m).
- S_r = Peso específico relativo del material respecto del agua= $\frac{\rho_s}{\rho_w}$
- $\cot \alpha$ = Inclinación de los taludes.
- k_d = Coeficiente de estabilidad.

La altura de ola (H) está en función del nivel de daño aceptable para la estructura (D). Como se puede observar en la siguiente tabla (Tabla 1), según el SPM la escollera rugosa posee un nivel de daño aceptable del 20/30%, por lo que la relación entre la altura de cálculo y la altura de cálculo cuando hay averías es de 1,37 metros.

Averías (%)	H/H No averías)
0 - 5	1,00
5 - 10	1,08
10 - 15	1,19
15 - 20	1,27
20 - 30	1,37
30 - 40	1,47
40 - 50	1,56

Tabla 1. Averías (%) / Altura de cálculo sin averías. (Fuente: Shore Protection Manual)

Mediante esta relación obtenemos:

$$H=4/1,37=2,91 \text{ metros.}$$

A la hora de hallar el coeficiente k_d , al igual que para hallar la altura de ola (H), también se recurre al SPM. En particular a la tabla “No-damage Criteria an Minor Overtopping”.

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)

No-Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n	Placement	Structure Trunk		Structure Head		
			K_D^2		K_D		Slope Cor. 2
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	
Quarystone	3	Random	2.2	2.4	2.2	1.9	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	Random	1.6	2.2	1.4	2.2	5
Smooth rounded	1	Random	1.6	2.2	1.4	2.2	5
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.6	2.8	1.5
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.6	2.8	2.0
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.6	2.8	3.0
Rough angular	>3	Random	2.2	4.2	2.2	4.2	5
Rough angular	2	Special	5.8	7.0	6.2	6.4	5
Parallelepiped	2	Special	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	---	---	---
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	6.0	2.0
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	6.0	3.0
Trihar	2	Random	8.0	10.0	6.0	8.0	1.5
Trihar	2	Random	8.0	10.0	6.0	8.0	2.0
Trihar	2	Random	8.0	10.0	6.0	8.0	3.0
Dolos	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0	14.0	1.0 ⁸
Dolos	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0	14.0	3.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	---	6.0	5
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	6.0	7.0	5
Toskane	2	Random	21.0	22.0	---	---	5
Trihar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	8.5	5
Quarystone (K_{DS})	3	Random	2.2	2.5	---	---	---
Graded angular	3	Random	2.2	2.5	---	---	---

Tabla 2. Valores coeficiente K_d . (Fuente: Shore Protection Manual)

En la Tabla 2 se observa que el valor obtenido de H (2,91 metros) se encuentra entre 2 y 5,8, lo que significa que el valor de K_d en condiciones de rotura o "breaking" es de 3,2 para el tronco y 2,7 para el morro. El talud correspondiente a estos valores es de $\cot=\alpha$ y para dos capas mínimo.

Para la obtención de los espesores se deben de obtener los tamaños equivalentes de los elementos de cada una de las capas, mediante el empleo de la siguiente fórmula:

$$l = \sqrt[3]{\text{volumen}} = \sqrt[3]{\frac{W}{\rho_s}}$$

Con los valores de las longitudes obtenidas se pasa a obtener los espesores de cada capa sabiendo el número y el coeficiente de estas.

$$e = l \cdot n \cdot k\Delta$$

Siendo:

- e = espesor
- n = Número de capas
- $k\Delta$ = Coeficiente de capa (1)

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)

Una vez explicadas todas las fórmulas anteriores y aplicándole a estas los valores correspondientes se obtienen los pesos y espesores del manto principal y secundario del dique.

Manto principal (Escollera)

Aplicando la fórmula de Iribarren modificada por Hudson:

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{(s_r - 1)^3 \cdot k_d \cdot \cot \alpha}$$

MANTO PRINCIPAL	γ_r (Tn/m ³)	H(m)	ρ_s	ρ_w	Sr	Kd	cota	W(Tn)
Cuerpo	2,72	2,91	2,7	1,029	2,62390671	3,2	2	2,45
Morro	2,72	2,91	2,7	1,029	2,62390671	2,7	2	2,90

Tabla 3. Pesos del manto principal del dique. (Fuente: Elaboración propia)

Como se observa en la Tabla 3 obtenida el valor del peso para el cuerpo del manto principal es de 2,44 toneladas mientras que el del morro es de 2,89 toneladas. Pese a estos resultados obtenidos, por el lado de la seguridad se procede a tomar el valor más alto para ambos tramos.

Por lo tanto, el peso de los bloques que se usarán tanto para el cuerpo como para el morro serán de 2,9 Tn.

Una vez obtenido el valor del peso de los bloques aplicamos la siguiente fórmula para obtener los espesores de los mantos.

$$e = l \cdot n \cdot k\Delta$$

$$l = \sqrt[3]{\text{volumen}} = \sqrt[3]{\frac{W}{\rho_s}}$$

Para el manto principal:

MANTO PRINCIPAL	W	ρ_s ($\frac{Tn}{m}$)	l (m)	n	kΔ	e (m)
Cuerpo	2,90	2,7	1,02	2	1	2,04
Morro	2,90	2,7	1,02	2	1	2,04

Tabla 4. Espesor del manto principal del dique. (Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)

Como se observa en la Tabla 4 se obtiene un espesor del manto principal de $e=2,04$ m.

Manto secundario (Filtro)

Para el dimensionamiento del manto secundario se pueden aplicar las mismas fórmulas que se han aplicado para el manto principal, o también se pueden seguir las recomendaciones del SPM, el cual indica que para diques multicapas en condiciones “breaking” en aguas profundas, se debe de seguir esta sección (Figura 21):

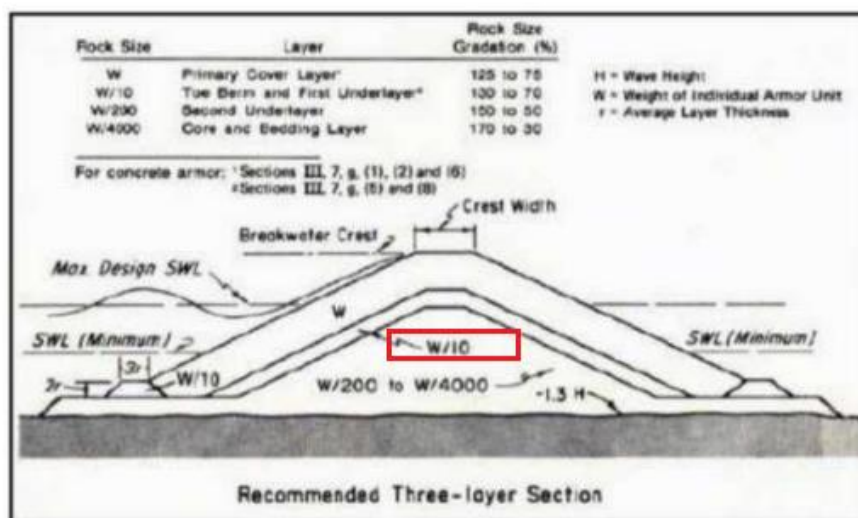


Figura 21. Recomendaciones del peso para dique escollera (Filtro). (Fuente: Shore Protection Manual)

Como se ha mencionado antes, el manto secundario actúa como filtro, de forma que evite que el material del núcleo se pierda bajo la acción del oleaje. El peso de las piezas de esta capa debe de ser de $W/10$ y el espesor se calcula igual que el del manto principal, pero con tan sólo una capa ($n=1$). Aplicando estas recomendaciones se obtiene (Tabla 5):

MANTO SECUNDARIO	W	$\rho_s \left(\frac{T_n}{m} \right)$	$l(m)$	n	$k\Delta$	e(m)
Cuerpo	0,29	2,7	0,48	1	1	0,48
Morro	0,29	2,7	0,48	1	1	0,48

Tabla 5. Espesor del manto secundario. (Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)

Núcleo interior todo-uno

La función de este es la de aportar estabilidad a la estructura a la vez que impida que la propagación del oleaje penetre hacia este. Está formado por todo-uno proveniente de cantera y según el SPM, en cuanto a peso nos referimos, este debe de poseer un rango de valores de entre W/200 y W/4000, como vemos en la Figura 22:

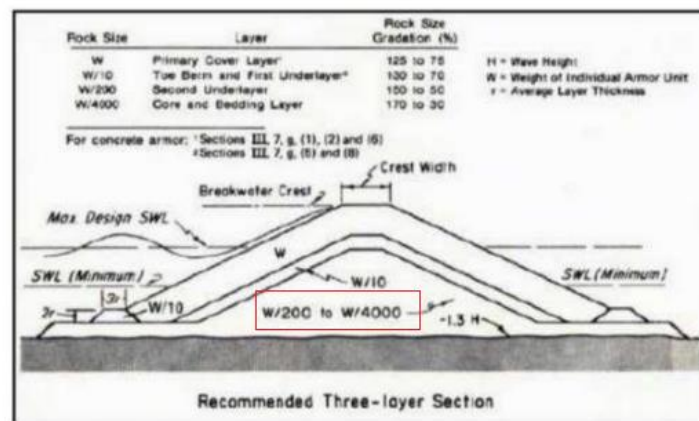


Figura 22. Recomendaciones del peso para dique escollera (Núcleo). (Fuente: Shore Protection Manual)

Lo que significa que los pesos del núcleo oscilan entre 2890/200 y 2890/4000. Es decir, entre 1 y 15 kilogramos de peso.

Para finalizar se debe de establecer un ancho de coronación. Para ello se calculará el ancho mínimo de coronación establecido por el SPM.

La fórmula que proporciona el SPM es la siguiente:

$$B \geq n \cdot k \Delta \cdot \sqrt{\frac{W}{\rho_s}}$$

Siendo:

- n=2

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)

- $k\Delta=1$
- W =Peso de las piezas del manto principal (Tn)
- ρ_s = peso específico de la escollera

Sustituyendo estos valores obtenemos un ancho mínimo (B) de 2,06 metros. Pero teniendo en cuenta que para la ejecución de estas obras se requiere de maquinaria pesada como camiones, palas, grúas etc., consideramos que con un ancho de coronación de 11 metros será suficiente. Cabe mencionar que nuestro dique estará situado 0,5 metros bajo en nivel del mar, por lo que en la fase de ejecución la altura del dique será mayor a la de 3 metros, debiéndose de colocar material “extra”, y una vez construido se rebajará hasta la altura de los diques inicial.

Orientación del dique respecto a la orilla

La función de los diques exentos es la de disminuir la energía del oleaje que llega a la costa y que altere la dirección del oleaje de forma que el oleaje difractado sea el deseado. Es aconsejable que la orientación de los diques sea perpendicular al oleaje que llega a la costa, aunque en la práctica se suelen orientar paralelos a la costa para así evitar la formación de un ángulo con la línea de costa. Es por ello por lo que la orientación de los diques será perpendicular a la costa.

Distancia del dique a la costa

Para determinar la distancia respecto a la costa a la que van a encontrar los diques en cuestión se debe de tener en cuenta a que profundidad se desean colocar estos. Se ha considerado que estos diques se sitúen a 4 metros bajo en nivel del mar, lo que significa que analizando la batimetría en la playa de Torrenosttra los diques se situarán a 370 metros de la costa.

Longitud, separación y número de diques

La longitud de los diques exentos y la distancia que los separa de la línea de costa son factores críticos para la formación de tómbolos o hemitómbolos, cuanto menor sea la distancia entre el dique y la línea de costa favorece la formación de un tómbolo, además

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)

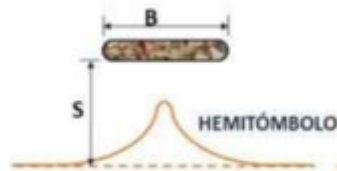
de ser necesario su conocimiento para saber cómo de resguardada y protegida queremos que esté la playa.

Tras lo mencionado se construirán dos diques de una longitud de 175 metros cada uno, estando separados entre ellos una distancia de 200 metros. Estos diques deben de cubrir una distancia de 1310 metros de línea de costa. La ejecución de un dique exento puede producir las siguientes formaciones (Figura 23):



Figura 23. Formaciones producidas por diques exentos. (Fuente: Asignatura Obras Marítimas)

Para esta alternativa se ha decidido que los dos diques exentos formen hemitómbolos respectivamente. Para la formación de hemitómbolos la relación que se debe de cumplir es la siguiente:



- Si $B/S < 1,25$ se formará hemitómbolo: Sustituyendo los valores establecidos anteriormente el resultado es el siguiente:

$175/370 = 0,47 < 1,25$, luego se formará un hemitómbolo:

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)



Figura 24. Hemitómbolo. (Fuente: Asignatura Obras Marítimas)

En los Planos 3, 4, 5 y 6 se muestran con detalle todas las características de los diques exentos, distancia de estos a la línea de costa, longitud y separación entre ellos, formación de hemitómbolos y vista en planta de los mismos.

5.2.4 Proceso constructivo

El proceso constructivo de esta alternativa será el siguiente: La primera etapa consiste en el desmantelamiento de los espigones existentes en la zona, siendo 4 en total. El segundo paso consiste en la construcción de los diques exentos. La construcción de estos diques puede llevarse a cabo a través del transporte marítimo o terrestre, dependiendo de la configuración de la costa, la profundidad en la que se ubican los diques y su forma. Dado que los diques exentos son estructuras paralelas a la costa que se encuentran a poca profundidad, se desaconseja su construcción mediante transporte marítimo. Por lo tanto, se ha optado por llevar a cabo la construcción de estos diques a través del transporte terrestre.

Para iniciar la construcción del dique, se requiere la creación de un acceso que permita llegar a la ubicación del dique. Este acceso deberá tener una elevación de entre +0,5 y +1 metro y presentar taludes con una inclinación de 1/1, que se forman al depositar el material directamente en el mar. El ancho de este camino debe ser lo suficientemente amplio para que permita el paso la maquinaria y su movimiento, por lo que se establece un ancho de 5 metros. En el caso de que exista la posibilidad de la presencia de temporales durante la construcción del dique, el camino de acceso se complementará

con una capa de protección hecha de material proveniente de la capa de filtro del propio dique.

Una vez que se haya llegado a la ubicación del dique, se procede a su construcción de manera similar a un dique exento que tiene su cota por encima del nivel medio del mar (NMM). Se iniciará vertiendo el material que formará el núcleo del dique. Cuando se haya logrado la geometría deseada, se colocará una capa de bloques de escollera para la creación del manto secundario, seguido por el manto principal. Este último alcanzará el nivel del NMM, que se encuentra 1 metro por encima de la cota final del dique. Posteriormente, se rellenará con zahorra artificial para crear la plataforma de trabajo.

Al llegar al extremo del dique, se construirá el morro y, a partir de ahí, se retirará el material sobrante hasta llegar a la cota especificada.

Una vez los diques estén finalizados se retirarán los caminos de acceso.

5.2.5 Valoración económica

Para hacer una aproximación del coste que va a suponer esta alternativa se consultarán diversos proyectos similares teniendo en cuenta y comparando las características geométricas de todos los elementos a construir, las de los materiales y los precios, de forma que se obtenga un resultado orientativo de los costes de la misma.

La valoración económica se divide en capítulos:

Capítulo 01- Construcción de los diques exentos.

1.1

- Unidades de obra: (Tn)
- Descripción: Formación de escollera clasificada en espigón o dique ejecutada con bloques de piedra calcárea de 2.00 a 3.00 t procedentes de cantera, incluso el perfilado de taludes, la clasificación de material, su transporte y su colocación desde tierra.
- Medición: 57400 Tn.
- Precio: 15,72 €
- Total: 902328 €

1.2

- Unidades de obra: (Tn).
- Descripción: Formación de escollera clasificada en espigón o dique ejecutada con bloques de piedra calcárea de 0.2 a 0.4 t procedentes de cantera, incluso e perfilado de taludes, la clasificación de material, su transporte y su colocación desde tierra.
- Medición: 22405 Tn.
- Precio: 15,67 €.
- Total: 351087 €.

1.3

- Unidades de obra: (Tn).
- Descripción: Suministro y colocación de todo-uno procedente de cantera en núcleo de espigón o dique ejecutada, incluso el perfilado de taludes, el transporte y colocación desde tierra.
- Medición: 49000 Tn.
- Precio: 13,10 €.
- Total: 641900 €.

1.4

- Unidades de obra: (m3).
- Descripción: Relleno y extendido de zahorras con medios mecánicos en capas de 25 cm de espesor máximo.
- Medición: 2700 m3.
- Precio: 17,89 €.
- Total: 48303 €.

Capítulo 02- Gestión de residuos.

2.1

- Unidades de obra: (pa).
- Descripción: Gestión de residuos.
- Medición: 1.
- Precio: 1800 €.

- Total: 1800 €.

Capítulo 03- Seguridad y salud.

3.1

- Unidades de obra: (pa).
- Descripción: Gestión de residuos.
- Medición: 1.
- Precio: 32000 €.
- Total: 32000 €.

Luego el presupuesto de ejecución del material es de:

$$1943618+1800+32000= 1977418 \text{ €}$$

Por lo que el presupuesto de licitación quedaría definido como:

- Presupuesto ejecución material: 1977418€
- Gastos generales (16%): 316387 €
- Beneficio industrial (6%): 118645 €
- Suma: 2412450 €
- IVA (21%): 506614,5 €
- **Presupuesto de licitación: 2919064,5 €**

5.3 Alternativa 3: Desmantelamiento total y construcción de diques exentos

5.3.1 Descripción

En esta alternativa se pretenden desmantelar todos los espigones y construir diques exentos dejándolos como únicas obras de defensa en todo el tramo litoral. Al igual que en la Alternativa 2 los materiales de los espigones desmantelados serán reutilizados para la construcción de los diques exentos.

Sin embargo, a la hora de analizar cómo se comportaría un hemitómbolo en el caso en el que la playa solo contara con dos diques exentos nos damos cuenta de que este se deformaría de forma que no sería eficiente.

La cantidad y el tipo de sedimentos disponibles en el área pueden afectar la formación de hemitómbolos. Si la zona entre los diques recibe una carga desigual de sedimentos, esto puede dar como resultado una acumulación asimétrica.

5.4 Alternativa 4: Cordón dunar

5.4.1 Descripción

Esta alternativa surge por la actual problemática de la costa frente a los fuertes temporales, ya que cuando estos se producen la costa sufre regresión, como se puede observar en la figura anterior en el apartado “Análisis de la problemática”. Como se ha mencionado en el apartado de antecedentes, en el año 2014 se realizó una obra de emergencia bajo el nombre de “Protección de la zona húmeda del Prat de Cabanes-Torreblanca de la intrusión marina”, como vemos abajo en la Figura 25:

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)



Figura 25. Cordón dunar actual. (Fuente: Elaboración propia)

Esta obra se llevó a cabo ya que el extremo norte de Prat de Cabanes-Torreblanca había sufrido una regresión importante, de forma que el cordón litoral estaba deteriorado. Es por ello por lo que, si se tiene en cuenta la existencia de un cordón dunar que cubre el tramo ya mencionado, se propone alargar dicho cordón de forma que este cubra todo el tramo que comprende la playa de Torrenostra para así cumplir la función de defensa frente a los fuertes temporales y así eliminar el problema actual. Teniendo en cuenta que la playa cuenta con accesos desde el paseo marítimo mediante pasarelas longitudinales se respetarán dichos accesos, por lo que el cordón dunar no será continuo, si no que se realizará mediante tramos.

La extensión del cordón dunar se situaría delante del paseo marítimo. La longitud total del paseo es de 970 metros, pero si se le resta el número de accesos multiplicado por el ancho de dichas plataformas de acceso se obtiene la distancia total del cordón dunar. El número de accesos existentes en total es de 18 y su ancho es de 1,35 cada uno, luego $970 - 18 \cdot 1,35 = 945,7$ metros de dunas a implantar, pero además hay zonas las cuales que el cordón dunar no podría atravesar. Estas zonas se adjuntarán en las imágenes a continuación (Figura 26, Figura 27 y Figura 28) y se medirán para restarlas al resultado de 945,7 metros.

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA REORDENACIÓN DEL FRENTE LITORAL DE LA
PLAYA DE TORRENOSTRA (CASTELLÓN)



Figura 26. Zona que obstruiría la continuidad del cordón dunar. (Fuente: Google Earth)

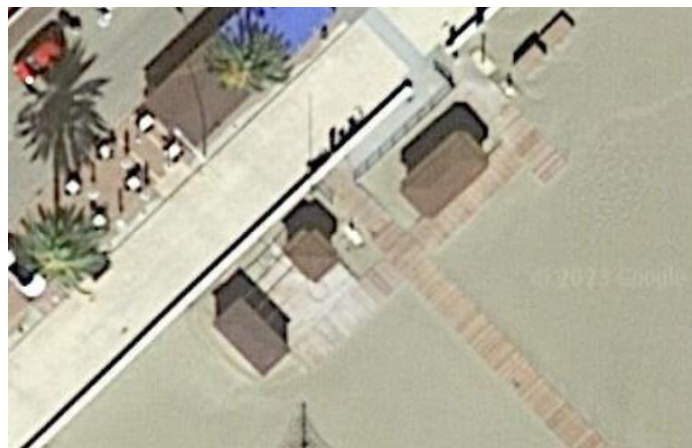


Figura 27. Zona que obstruiría la continuidad del cordón dunar. (Fuente: Google Earth)



Figura 28. Zona que obstruiría la continuidad del cordón dunar. (Fuente: Google Earth)

La Figura 26 ocupa una distancia de 23 metros, la Figura 27 una distancia de 31,5 metros y la Figura 28 una distancia de 20 metros.

Mediante esta última aportación obtenemos un resultado de $945,7 - 23 - 31,5 - 20 = 871,2$ metros de longitud total de la duna.

Para la formación de las dunas será necesaria la aportación de arenas de forma que se consiga el ancho y cota de coronación establecidos y a su vez estas se protegerán de las personas mediante un vallado blando y además se les colocarán captadores de apoyo de mimbre para protegerlas de la acción del viento.

5.4.2 Volumen de aportación

La longitud total de las dunas es de 871,2 metros, y la anchura se ha considerado que sea de 5 metros, luego la superficie que ocupará la arena será de 5227,2 metros cuadrados. La altura promedio del cordón dunar será de 1,5 metros.

Para obtener el volumen total del cordón dunar se multiplicará la superficie por la altura promedio, es decir, $5227,2 \text{ m}^2 * 1,5 \text{ m} = 7840,8 \text{ m}^3$.

5.4.3 Valoración económica

Al igual que para la valoración económica de la alternativa 2, para la ejecución de la de esta alternativa también se consultarán diversos proyectos similares y se compararán en este caso los volúmenes y el tipo de material usado.

La valoración económica se divide en capítulos:

Capítulo 01- Alimentación artificial

1.1

- Unidades de obra: (m3)
- Descripción: Regeneración de dunas mediante aportación de arena granítica de cantera, incluso transporte hasta el punto de vertido en obra y extendido.
- Medición: 7840 m3
- Precio: 14,16 €
- Total: 111014,4 €

Capítulo 02- Gestión de residuos

2.1

- Unidades de obra: (pa)
- Descripción: Gestión de residuos
- Medición: 1
- Precio: 1800 €
- Total: 1800 €

Capítulo 03- Seguridad y salud

3.1

- Unidades de obra: (pa)
- Descripción: Seguridad y salud
- Medición: 1
- Precio: 32000 €
- Total: 32000 €

Luego el presupuesto de ejecución del material es de:

$$111014,4 + 1800 + 32000 = 144814,4 \text{ €}$$

Por lo que el presupuesto de licitación quedaría definido como:

- Presupuesto ejecución material: 144814,4€
- Gastos generales (16%): 23170,3 €
- Beneficio industrial (6%): 8688,9 €
- Suma: 176673,6 €
- IVA (21%): 37101,5 €
- **Presupuesto de licitación: 213775,1 €**

6. Alternativa escogida: Alternativa 2 + Alternativa 4

La alternativa escogida finalmente es la alternativa número dos complementada de la número cuatro, es decir, se procederán a dismantelar 4 de los seis espigones existentes en la playa, dejando como únicas obras de defensa los llamados espigones de control y posteriormente se construirán dos diques exentos cuya función será la de proteger la costa y formar hemitómbolos. Y a su vez mediante lo explicado en la cuarta alternativa se procederá a construir un cordón dunar en frente del paseo marítimo para proteger al poblado de los fuertes temporales que azotan la costa de forma periódica.

Para la obtención de la valoración económica de la alternativa escogida se deberán de sumar los presupuestos de licitación obtenidos en ambas alternativas, de forma que el presupuesto final es el siguiente:

$$2919064,5 + 213775,1 = 3132839,6 \text{ €}$$

Luego el presupuesto final para la alternativa escogida (Alternativa 2 + Alternativa 4) es del orden de 3,132.839,6 €

7. Bibliografía

1. *Demarcación de Costas de Castellón* – Visita personal realizada a la Demarcación de Costas de Castellón (Calle Escultor Viciano 2, 12002 Castelló de la Plana) el 5 de octubre de 2023.
2. *Google Earth* - <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
3. *Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) - ROM 0_3-91. Anejo I: Clima Marítimo en el Litoral Español (puertos.es)*. Recuperado el 8 de noviembre de 2023, de https://widispe.puertos.es/rom/storage/public/docROM/ROM%200_3-91.pdf
4. *Universidad Politécnica de Valencia – Instituto del Transporte y Territorio - Evaluación de riesgos, inundación litoral y adaptación de obras marítimas al cambio climático*. Recuperado el 8 de noviembre de 2023, de <https://aplicat.upv.es/exploraupv/ficha-servicio/capacidad/13822?busqueda=Instituto%20transporte>
5. *Universidad Politécnica de Valencia – OMB_Tema 18 - Estudio y caracterización de la costa (Archivo PDF)*