



DOCUMENTO Nº1. MEMORIA Y ANEJOS

ANEJO Nº6. ESTUDIO DE SOLUCIONES

*Diseño y valoración económica de arrecife artificial en la playa Norte de
Peñíscola (Castellón)*

Grado de Ingeniería Civil, curso 2018/2019

Bárbara Herrero Rodríguez



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
3.	MÉTODOS PARA LA DEFENSA Y PROTECCIÓN DE LA COSTA Y PARA LA REGENERACIÓN DEL FONDO MARINO	1
3.1	DEFENSAS LONGITUDINALES	1
3.2	OBRAS TRASNVERSALES.....	1
3.3	DIQUES EXENTOS	1
3.4	CONSTRUCCIONES CON GEOTEXTILES.....	2
3.5	ARRECIFES ARTIFICIALES	2
3.6	PILOTES HIDRÁULICOS	2
3.7	DRENAJE DE LAS PLAYAS.....	2
3.8	REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LAS PLAYAS	2
3.9	ALGAS ARTIFICIALES.....	2
4.	RECAPITULACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LAS ALTERNATIVAS	2
5.	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS VIABLES.....	3
5.1	CRITERIOS DE VALORACIÓN	3
5.2	ALTERNATIVA 1: DIQUES EXENTOS.....	3
5.3	ALTERNATIVA 2: REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LA PLAYA.....	4
5.4	ALTERNATIVA 3: ARRECIFE ARTIFICIAL	4
5.5	ALTERNATIVA 4: ALGAS ARTIFICIALES	5
6.	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA FINAL.....	5
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	6

1. INTRODUCCIÓN

La recesión costera de la costa valenciana es un problema frecuentemente tratado por diferentes entidades, y en este caso, la playa Norte de Peñíscola es una playa de acusada importancia debido a la gran afluencia turística que recibe la localidad durante el periodo de verano.

El objeto del presente anejo es encontrar la solución más apropiada para conseguir los objetivos propuestos cumpliendo con parámetros como la sostenibilidad, la eficiencia, la economía, medioambiental y estética. Todos estos parámetros serán valorados con un peso numérico que posteriormente se comparará entre las diferentes alternativas para poder escoger así la más conveniente.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La localidad de Peñíscola destaca por su abundante riqueza pesquera, la gran afluencia de turismo tanto marítimo como terrestre, sus playas, etc. Por todo ello y por la gran urbanización que sufre la costa de Peñíscola, sus fondos marinos y la misma playa se están viendo gravemente afectados perdiendo su capacidad de regeneración e impidiendo la deriva litoral de sedimentos.

El problema que se presenta y sobre el que se quiere tratar es la regeneración de los fondos marinos mediante creación de nuevos ecosistemas para así no perder la flota pesquera y el turismo de actividades subacuáticas de la que presume Peñíscola y evitar la posible pesca furtiva que destroza el medio marino, pero también, frenar la velocidad de impacto del oleaje en la playa Norte evitando así que continúe su erosión desmesurada.

3. MÉTODOS PARA LA DEFENSA Y PROTECCIÓN DE LA COSTA Y PARA LA REGENERACIÓN DEL FONDO MARINO

Existen diferentes actuaciones a realizar para la protección tanto de la costa como del fondo marino, que se pueden dividir en dos grupos: obras duras y obras blandas.

La principal función de los métodos duros (espigones, diques, muros de contención, etc.) consiste en proteger de los peligros inmediatos y en establecer la línea de costa, resultando estas acciones generalmente muy costosas, aunque gozan de una larga vida útil.

Los métodos blandos están pensados para “trabajar con la naturaleza” integrando la dinámica natural del litoral y la movilidad de la línea de costa (abastecimiento de la playa con sedimentos, restauración dunar, etc.). Estos últimos tienen una vida útil reducida, son reversibles y dependen de sus características propias y de los cambios del medio ambiente a escala mundial (cambio climático) o local (ordenación del territorio, frecuentación).

Dentro de las obras duras se pueden distinguir las siguientes:

- Defensas longitudinales: malecones, muros de contención, etc.
- Obras transversales: espigones
- Diques exentos

En cuanto a las obras blandas, las cuales cada vez son de uso más común por su integración con el medio ambiente, se pueden distinguir las siguientes:

- Las construcciones con geotextiles
- Los arrecifes artificiales
- Los pilotes hidráulicos
- El drenaje de las playas
- La regeneración artificial de las playas
- Otras: algas artificiales, regeneración de praderas de Posidonia

3.1 DEFENSAS LONGITUDINALES

Los diques longitudinales se construyen en la propia línea de costa o en la parte posterior de la playa. Suelen tener el doble objetivo de proteger del oleaje y actuar como muro soporte de los terrenos detrás de ellos. Estas obras interfieren sobretodo el transporte transversal.

3.2 OBRAS TRANSVERSALES

Dentro de la tipología de los elementos estructurales de defensa transversal, el más conocido es el espigón, que son estructuras marítimas lineales perpendiculares a la línea de costa que intentan retener el movimiento de arenas a lo largo del litoral. Se construyen frecuentemente con la intención de estabilizar las playas y de interceptar el transporte sólido litoral longitudinal, acumulando sedimentos aguas arriba de la obra pero reduciendo el suministro de arena aguas abajo.

3.3 DIQUES EXENTOS

Los diques exentos o rompeolas se construyen mar adentro, paralelamente a la línea de costa, e interceptan las olas antes de que lleguen a la orilla. El oleaje se difracta en los extremos de la estructura, cambiando su dirección de propagación y su altura. Los diques exentos interrumpen el transporte sólido litoral, tanto el longitudinal como sobre todo el transversal, y actúan como sumideros de material. El dique retiene a ambos lados la mayoría de los sedimentos transportados, provocando la generación de un hemitóbolo o de un tóbolo dependiendo de la distancia relativa de la obra. Una vez formado el tóbolo o hemitóbolo, el comportamiento frente a la dinámica litoral es similar al indicado para los espigones.

3.4 CONSTRUCCIONES CON GEOTEXTILES

Estas construcciones están concebidas para mantener la arena y pueden disponerse de forma perpendicular o longitudinal respecto de la costa. Están formadas por tejidos permeables de fibras sintéticas con forma de bolsa o de espiral y se llenan de arena mediante una bomba de presión.

3.5 ARRECIFES ARTIFICIALES

La finalidad de los arrecifes artificiales consiste en reducir la acción de las olas en las playas. Disminuyen la deriva litoral y favorecen el crecimiento de la playa, reduciendo de este modo la erosión. Actúan como rompeolas sumergidos y además contribuyen al enriquecimiento de la biodiversidad litoral (fauna y flora) y por tanto a la regeneración de los fondos marinos donde se instalen.

3.6 PILOTES HIDRÁULICOS

Se trata de pilotes de madera colocados en posición vertical sobre el sedimento (arena o fango) dejando un espaciado regular. Pueden instalarse en la playa en paralelo o perpendicular a la costa, normalmente a varias decenas de metros. Estas construcciones permeables se utilizan para disipar la energía de las olas sobre la playa, limitando así el transporte de sedimentos y favoreciendo la estabilidad de la playa.



Figura 1. Pilotes hidráulicos transversales

3.7 DRENAJE DE LAS PLAYAS

El sistema de drenaje de las playas permite reducir el nivel freático y el agua depositada por el ascenso-descenso de las olas y, por tanto, crear una zona no saturada bajo la superficie de la orilla, próxima a la línea de costa.

Una o varias canalizaciones filtrantes se instalan en profundidad (varios metros por debajo de la superficie) en paralelo a la línea de costa donde parte del agua descendente se infiltra y, de este modo, pierde parte de su energía siendo el objetivo principal drenar el nivel freático, a fin de favorecer el depósito de sedimentos.

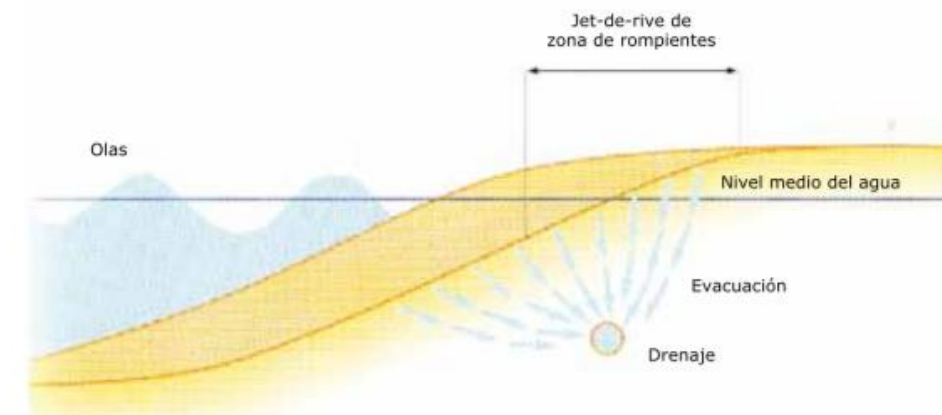


Figura 2. Sistema de drenaje de una playa

3.8 REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LAS PLAYAS

El objetivo de regenerar las playas es compensar el desequilibrio del litoral, debido a la erosión natural y a los impactos antrópicos (presencia de construcciones de defensa). El propósito consiste en dotar a las playas de materiales (arena, rocalla), por medio de camiones, dragas marinas, etc. Los sedimentos se extienden por la playa mediante palas excavadoras y las recargas pueden realizarse en momentos puntuales o de forma regular.

3.9 ALGAS ARTIFICIALES

Esta metodología consiste en la colocación sobre el lecho marino, a cierta distancia de la costa, una serie de tubos de nylon que lleven filamentos o "algas artificiales", colocadas perpendicularmente a la dirección de la corriente. De este modo se reduce la energía del oleaje y se estabiliza el perfil de playa. Apenas produce impacto visual y posee un fácil desmantelamiento.

4. RECAPITULACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LAS ALTERNATIVAS

Para una mayor eficiencia de la alternativa a escoger, se han descartado unos métodos de defensa explicados anteriormente y se han elegido otros que se consideran viables para los resultados que se pretenden obtener en la playa Norte de Peñíscola y con los que se pretende hacer la comparación mediante el método multicriterio.

ALTERNATIVAS VIABLES	ALTERNATIVAS NO VIABLES
DIQUES EXENTOS	DEFENSAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES
REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LAS PLAYAS	CONSTRUCCIONES CON GEOTEXTILES
ARRECIFE ARTIFICIAL	PILOTES HIDRÁULICOS
ALGAS ARTIFICIALES	DRENAJE DE LAS PLAYAS

Tabla 1. Elección de alternativas viables

5. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS VIABLES

Se va a llevar a cabo la valoración de las alternativas viables mediante el análisis multicriterio, ponderando cada alternativa según el valor que se le dé a cada parámetro, entre los cuales habrá criterio subjetivo y objetivo.

5.1 CRITERIOS DE VALORACIÓN

Se ha decidido anteriormente que los criterios a evaluar de cada alternativa sean la sostenibilidad, la eficiencia o funcionalidad, la economía, medioambiental y estética. A cada uno de estos parámetros se les ha asignado un peso con un valor numérico que valore su importancia para decidir qué actuaciones o no tomar.

Debido a que el objetivo principal es la regeneración del fondo marino y disipar la energía del oleaje en la playa Norte de Peñíscola, los pesos asignados son los siguientes:

CRITERIO	PESO
FUNCIONAL	6
SOSTENIBLE	5
ECONÓMICO	4
MEDIOAMBIENTAL	5
ESTÉTICO	3

Tabla 2. Peso de cada criterio

Siendo cada criterio:

- **Funcional:** Analiza la eficiencia de la actuación propuesta frente al problema a solucionar y la durabilidad de las obras.
- **Sostenible:** Valora la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras mediante modo de construcción basado en el respeto al entorno y al medio ambiente.
- **Económico:** Se valora tanto el coste de construcción como el de mantenimiento o reparación durante su vida útil.
- **Medioambiental:** Es un criterio subjetivo que trata de analizar el impacto ambiental de las actuaciones tanto en ejecución como durante la vida útil de las obras.
- **Estético:** Es también un criterio subjetivo que mide el impacto visual, tanto positivo como negativo, que provoca cada alternativa.

5.2 ALTERNATIVA 1: DIQUES EXENTOS

Estas actuaciones consistirían en implantar una serie de diques exentos sumergidos con una distribución paralela a la línea de costa.

Se procede a analizar esta alternativa con cada criterio establecido anteriormente:

- **Funcional:** Se considera que la playa Norte de Peñíscola no sufre suficiente transporte sólido litoral cono para que sea efectiva la actuación de aporte de arenas en la costa, además que estos diques sumergidos no cumplirían del todo la función de regeneración del fondo marino. Luego para esta alternativa el valor de funcionalidad es de 3.
- **Sostenible:** Como se considera una solución a largo plazo y no a corto y además no compromete ninguna generación futura su valor será de 7.
- **Económico:** Debido a la maquinaria a emplear en su fase de construcción (maquinaria flotante) y a la cantidad de materiales necesaria para su puesta en obra incrementa notablemente su coste, por lo que su valor económico será de 4 sobre 10.
- **Medioambiental:** Debido a la necesidad de preservación de los fondos marinos, aunque no se conozca con exactitud la posición de los diques sí que se puede afirmar que tendrán un impacto ambiental relevante sobre el suelo sin cumplir la función de regeneración del fondo marino, con lo cual su valor medioambiental será de 3.
- **Estético:** Como es invisible a los ojos de los bañistas y no afecta al paisaje en su conjunto se puede decir que su impacto visual es positivo entonces recibe un valor de 9.

Con lo cual la valoración global de la alternativa queda:

ALTERNATIVA 1: DIQUES EXENTOS						
Criterio	Funcional	Sostenible	Económico	Medioambiental	Estético	TOTAL
Peso	6	5	4	5	3	111
Puntuación	3	7	4	3	9	

Tabla 3. Evaluación de la alternativa 1

5.3 ALTERNATIVA 2: REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LA PLAYA

Este procedimiento trata sobre la regeneración de la costa y del cordón dunar mediante el aporte y dragado de sedimentos, lo cual no se trata de una obra con vistas a largo plazo puesto que tiene que ser periódicas dichas actuaciones.

Se procede a analizar esta alternativa con cada criterio establecido anteriormente:

- **Funcional:** Se trata de unas actuaciones que, a pesar de ser las más rápidas, tienen la necesidad de ser periódicas porque no son suficientes sin la presencia de una obra dura que evite el transporte de sedimentos. Además no tienen ningún tipo de actuación sobre la regeneración del fondo marino que es uno de los objetivos de estas obras, con lo cual su puntuación es de 2.
- **Sostenible:** Siendo una actuación a corto plazo y necesitando de un mantenimiento constante, no se considera demasiado sostenible esta actuación, con lo cual recibe una puntuación de 5.
- **Económico:** Considerándose las actuaciones baratas, su mantenimiento y la realimentación correspondiente, debidas a la frecuencia con la que deberían ser realizadas, aumentan un tanto el coste con lo cual la puntuación económica es de 6.
- **Medioambiental:** Se trata de una alternativa buena desde el punto de vista ambiental, pero si los áridos son extraídos del fondo marino habría que ver como modifica este y por tanto valorar su impacto. La puntuación que recibe es de 8.
- **Estético:** El impacto visual de estas actuaciones es muy positivo puesto que aumentaría significativamente el ancho de la playa Norte de Peñíscola, por lo cual recibe una puntuación de 9 puntos.

Con lo cual la valoración global de la alternativa queda:

ALTERNATIVA 2: REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LA PLAYA						
Criterio	Funcional	Sostenible	Económico	Medioambiental	Estético	TOTAL
Peso	6	5	4	5	3	128
Puntuación	2	5	6	8	9	

Tabla 4. Evaluación de la alternativa 2

5.4 ALTERNATIVA 3: ARRECIFE ARTIFICIAL

Esta alternativa plantea la colocación de módulos de hormigón a modo de arrecife artificial con la intención de introducir en el medio marino una diversificación de ecosistemas, creando áreas o zonas de repoblación marina natural y además provoca una disminución de la energía del oleaje de modo que se disminuye la erosión de la playa Norte de Peñíscola. Se busca también un interés turístico fomentando las actividades subacuáticas como el buceo o la pesca submarina.

Se procede a analizar esta alternativa con cada criterio establecido anteriormente:

- **Funcional:** Debido a la función que hace de regeneración y protección del fondo marino que es de gran interés en esta zona y también a la creación de su efecto barrera que fomenta la protección de la erosión costera debido a que disipa la velocidad con la que llega el oleaje a la playa, se puede considerar que tiene una muy alta funcionalidad y por tanto se le da una puntuación de 10.
- **Sostenible:** Puesto que se plantea que sea una solución a largo plazo y sus efectos no comprometen las generaciones futuras se le da una puntuación de 8.
- **Económico:** El coste de la maquinaria necesaria para la instalación de los arrecifes es elevado puesto que se necesitaría de maquinaria flotante, pero la prefabricación de los módulos arrecifales podría ser en el mismo puerto de Peñíscola con lo cual eso abarataría bastante el coste. Por tanto se considera oportuna una puntuación de 6 sobre 10.
- **Medioambiental:** Se pretende que cumplan las funciones propias de los arrecifes por lo que el impacto ambiental sea el mínimo y positivo, entonces la puntuación que se le da en este caso es de 9.
- **Estético:** El impacto visual es, al igual que en los diques exentos sumergidos, positivo, puesto que es imperceptible para los bañistas y no genera modificaciones en el paisaje, con lo cual se le asigna una puntuación de 9 también.

Con lo cual la valoración global de la alternativa queda:

ALTERNATIVA 3: ARRECIFE ARTIFICIAL						
Criterio	Funcional	Sostenible	Económico	Medioambiental	Estético	TOTAL
Peso	6	5	4	5	3	196
Puntuación	10	8	6	9	9	

Tabla 5. Evaluación de la alternativa 3

5.5 ALTERNATIVA 4: ALGAS ARTIFICIALES

Esta metodología consiste en la colocación sobre el lecho marino, a cierta distancia de la costa, una serie de tubos de nylon que lleven filamentos o “algas artificiales”, colocadas perpendicularmente a la dirección de la corriente. Debido a que su uso no es muy común no se tiene suficientes datos sobre su implantación y efectividad.

Se procede a analizar esta alternativa con cada criterio establecido anteriormente:

- **Funcional:** Una de sus funciones principales es que reduce la energía del oleaje y por tanto estabiliza el perfil de la playa, aunque no sería suficiente para la cantidad de transporte litoral que sufre la costa de la playa Norte de Peñíscola. Además no regeneraría el fondo marino como tal pero sí que atraería cierta fauna que puede ser de interés para fomentar las actividades subacuáticas. Por todo esto se le da una puntuación de 5.
- **Sostenible:** Se trata de una solución a corto plazo pero integrada completamente con el entorno y el medioambiente y obtiene una puntuación de 6.
- **Económico:** Esta técnica destaca por su escaso uso y su alto coste económico, por tanto la puntuación en cuanto a la economía será de 3.
- **Medioambiental:** Habría que estudiar qué impacto tiene sobre las especies de fauna y flora ya existentes en la zona de implantación, pero se puede considerar que el impacto es medio y por esto la puntuación es de 7.
- **Estético:** Apenas produce impacto visual, con lo cual obtiene 7 puntos.

Con lo cual la valoración global de la alternativa queda:

ALTERNATIVA 4: ALGAS ARTIFICIALES						
Criterio	Funcional	Sostenible	Económico	Medioambiental	Estético	TOTAL
Peso	6	5	4	5	3	131
Puntuación	5	6	3	7	7	

Tabla 6. Evaluación de la alternativa 4

6. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA FINAL

Si se comparan los resultados de las evaluaciones de cada alternativa se obtiene que la más adecuada es la “**alternativa 3: arrecifes artificiales**” que, como se muestra en la siguiente tabla, recibe la mayor puntuación.

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Puntuación	111	128	196	131

Tabla 7. Resumen de los resultados

Con lo demostrado anteriormente se procede a desarrollar la alternativa de la implantación de arrecife artificial en la playa Norte de Peñíscola en los próximos anejos.



7. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ SOLUCIONES ALTERNATIVAS PARA LA PROTECCIÓN DE LAS COSTAS. Red Atlántica para la Gestión de los Riesgos
- ❖ COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER. (1984). SHORE PROTECTION MANUAL I