

# TRABAJO FIN DE GRADO

---

Estudio para la regeneración del frente litoral de  
la playa de Les Marines T.M Denia (Alicante)

---

*Presentado por:*

Gómez Huerga, Carlos

---

*Para la obtención de:*

Grado de Ingeniería Civil

Curso: 2020-2021

Fecha: 14/09/2021

Tutora: María Esther Gómez Martín  
Co-tutor: Vicent Esteban Chapapría

# DOCUMENTO N°1 MEMORIA

---



# MEMORIA

---

## ÍNDICE MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN
  - 1.1 Objeto del trabajo
  - 1.2 Localización
  - 1.3 Área de estudio
  - 1.4 Antecedentes y justificación de la necesidad de las actuaciones
  
2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL
  - 2.1 Dominio público marítimo-terrestre y área de servidumbre de protección
  - 2.2 Clima marítimo
  - 2.3 Sedimentología del tramo
  - 2.4 Obras y actuaciones en el tramo
  - 2.5 Dinámica litoral
  - 2.6 Evolución de la línea de costa
  - 2.7 Riesgo de inundación
  - 2.8 Influencia del cambio climático
  
3. ZONIFICACIÓN PARA LA ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN
4. ESTUDIO DE SOLUCIONES
5. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA
6. CONSIDERACIONES AMBIENTALES
7. PROGRAMA DE TRABAJOS
8. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO
9. VALORACIÓN ECONÓMICA
10. CONCLUSIONES

Anexo I. Cálculo de clima marítimo.

Anexo II. Cálculo del FME.

Anexo III. Solución empleada

Anexo IV. Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

Anexo V. Anexo fotográfico.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Objeto del trabajo:

El presente estudio, titulado “*Estudio para la regeneración del frente litoral de la playa de Les Marines T.M. Denia (Alicante)*”, tiene como objeto servir como Trabajo de Fin de Grado para la obtención del título de Grado en Ingeniería Civil en la Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Valencia.

A parte de servir para la obtención de este título, se pretenden alcanzar los siguientes objetivos:

- Estudio y análisis de la problemática existente en el tramo de costa de la playa de Las Marinas en Denia, para conocer y entender su problemática erosión y, por tanto, regresión de la línea de costa desde hace años.
- Analizar los posibles factores humanos que han podido intensificar la regresión de la costa en este tramo de playa.
- Proponer una serie de soluciones y alternativas para solucionar este problema y recuperar el estado óptimo de la costa.
- Desarrollar la solución que sea más adecuada, que funcione como una defensa frente a los temporales y además sea respetuosa con el medio ambiente (cumpliendo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, a partir de ahora ODS).

## 1.2. Localización:

La playa de Las Marinas se encuentra en el término municipal de Denia, al norte del Puerto de Denia y está bañada por el Mar Mediterráneo. Denia está situada en la comarca de la Marina Alta, en la costa norte de la provincia de Alicante, España.



Figura 1. Localización geográfica. Fuente: Wikipedia.com

Dentro del término municipal de Denia, la playa de Las Marinas se encuentra ubicada entre la playa de Les Bovetes y la playa de Punta del Raset, con la que limita al sur.

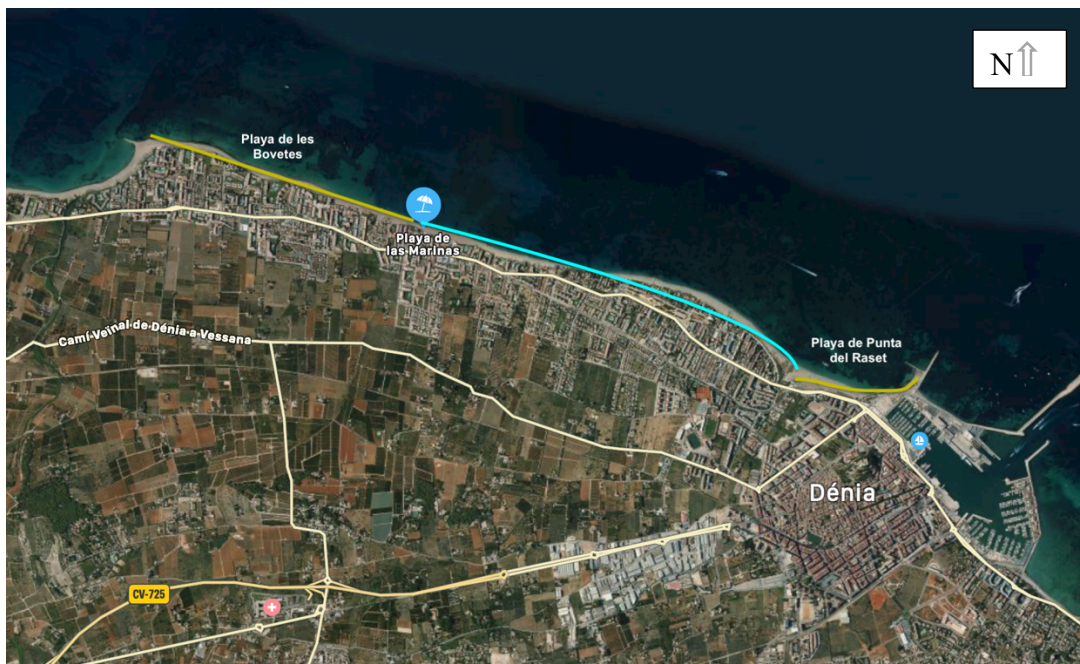


Figura 2. Localización en el término municipal. Fuente: maps.com

### 1.3. Área de estudio:

El área de estudio a tratar comprende todo el tramo de costa de la playa de Las Marinas, aunque las consecuencias de lo que ocurre en este tramo vienen provocadas por efectos y obstáculos que abarcan más allá del propio tramo de la playa de Las Marinas. No se va a estudiar únicamente la zona de arena de la playa, si no que también se va a estudiar lo que ocurre bajo del agua y su influencia en la línea de costa.

El área de influencia sobre este tramo de playa comprende toda la costa levantina desde el Puerto de Valencia hasta el Puerto de Denia, ya que ambos suponen obstáculos importantes a el transporte de sólido litoral como se desarrollará más adelante en el estudio. A pesar de ello, el área de estudio de este trabajo se limita a la playa de Las Marinas T.M Denia.

### 1.4. Antecedentes y justificación de la necesidad de las actuaciones:

La playa de Las Marinas tiene una extensión de 3km y es una costa baja y arenosa. Su orientación WNW-ESE le otorga un aspecto diferencial al del resto de las playas de la zona. La playa está sometida a una gran presión urbanística y se trata de una cosa muy antropizada debido a la cantidad de construcciones que se han hecho sobre el propio cordón dunar de la playa y que han contribuido a su desaparición y, por tanto, provocado el retroceso de la línea de costa.

En este tramo se producen acumulaciones de sedimentos continentales que descienden desde las zonas con mayor altitud de la zona a través de los cursos fluviales provocando la formación de conos aluviales y el avance de la línea de la orilla, mostrando un predominio de la dinámica fluvial frente a la dinámica marina.

La zona se encuentra principalmente afectada por la regresión de la línea de costa, hecho que se ha agravado aún más en los últimos años debido a la sucesión de fuertes temporales (DANA's en la zona) que han causado numerosos daños no solo a la playa si no también a las urbanizaciones, restaurantes y demás establecimientos de la zona. Por tanto, el daño no es solo ecológico, existen también numerosos daños materiales.

Los daños se aprecian especialmente en la zona del bar-restaurant Blay Beach, ubicado en la zona central de este tramo de playa. Allí fue dónde más se sufrieron los efectos de las tormentas, especialmente del temporal “Gloria” (nombrado así por la Agencia Española de Meteorología (AEMET)), en enero de 2019. Este temporal dejó unos daños económicos que la Universidad de Alicante cifró en 1,24 millones de € para el término municipal de Denia y más de 440.000€ para la localidad vecina de Jávea.

A pesar de estos sucesos, la costa ya presentaba un retroceso desde hace décadas, que se ha intentado solucionar con una serie de aportaciones de arena, creación y desmantelamiento de espigones que no han solucionado el problema y que además este se ha visto incrementado como consecuencia del aumento de fuertes temporales en la zona como consecuencia de los efectos del cambio climático, que ha provocado entre muchas otras cosas el aumento del nivel del mar ( y que, según la NASA, ya ha aumentado 97mm de media desde 1993) . El frente costero ha sido objeto de numerosas actuaciones a lo largo de las últimas décadas, como la construcción de 10 espigones cortos transversales y un dique exento de 200m de longitud, que fueron parcialmente desmantelados pero que aún se pueden observar y que se aprecian perfectamente desde una imagen cenital.

En la siguiente imagen se pueden apreciar los restos de los espigones que fueron desmantelados en 1986 y que encontraban cada 130m en la línea de costa y con una longitud oscilante entre 75 y 100m. También se ha marcado el dique exento.

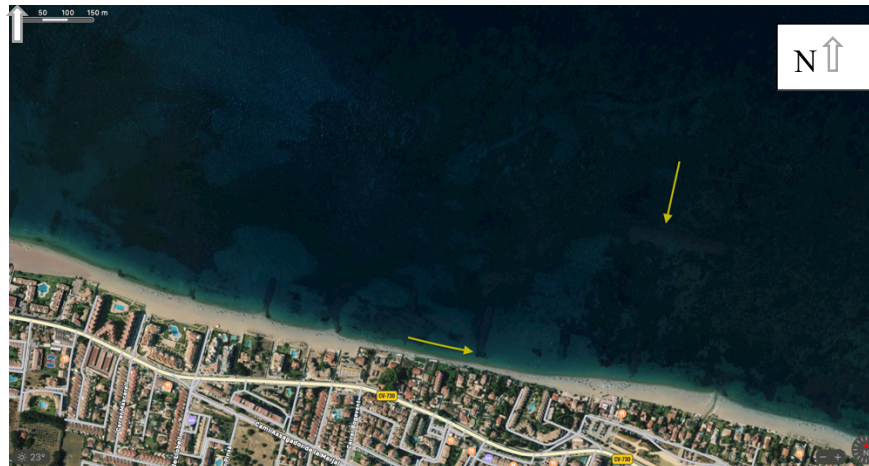


Figura 3. Imagen aérea actual de la playa de Las Marinas. Fuente: maps.com

Debido a que no se trata de un problema puntual, puesto que es una tendencia que viene ocurriendo desde las últimas décadas y que además se va a incrementar con las previsiones del cambio climático y aumento del nivel del mar ofrecidas por la NASA para los próximos años, es necesaria una actuación en la zona. Otro de los motivos de actuación es la dependencia económica del turismo que tiene la ciudad de Denia ya que quintuplica su población en verano, pasando de los 42.000 a los 200.000 habitantes en la temporada estival. (Datos del INE).



## 2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL:

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

Cualquier zona de costa en España es de dominio público, y abarca un espacio de dominio público marítimo-terrestre y un área de servidumbre de protección. En nuestro caso y tal y como se puede ver en la figura a continuación, desde el punto de PMVE( pleamar viva equinocial), existe la playa y la duna (ya que en esta zona costera no hay acantilado). A partir del punto de referencia de la duna se tienen que dejar 6m de amplitud para servidumbre de tránsito, 20m de servidumbre de uso y hasta 100m de zona de servidumbre de protección. En este tramo de la playa de Las Marinas no solo no existe la zona mínima exigida de servidumbre de protección si no que ni siquiera se han respetado las dunas. Por ello, hay casas y restaurantes que se encuentra dentro de la zona de la ribera del mar y por tanto dentro del DPMT (dominio público marítimo terrestre). Bien es cierto que estas construcciones se hicieron antes de que entrara en vigor la ley de 2013, pero la consideración de titularidad pública del mar y las playas no emana de esta, sino de la propia constitución española de 1978.

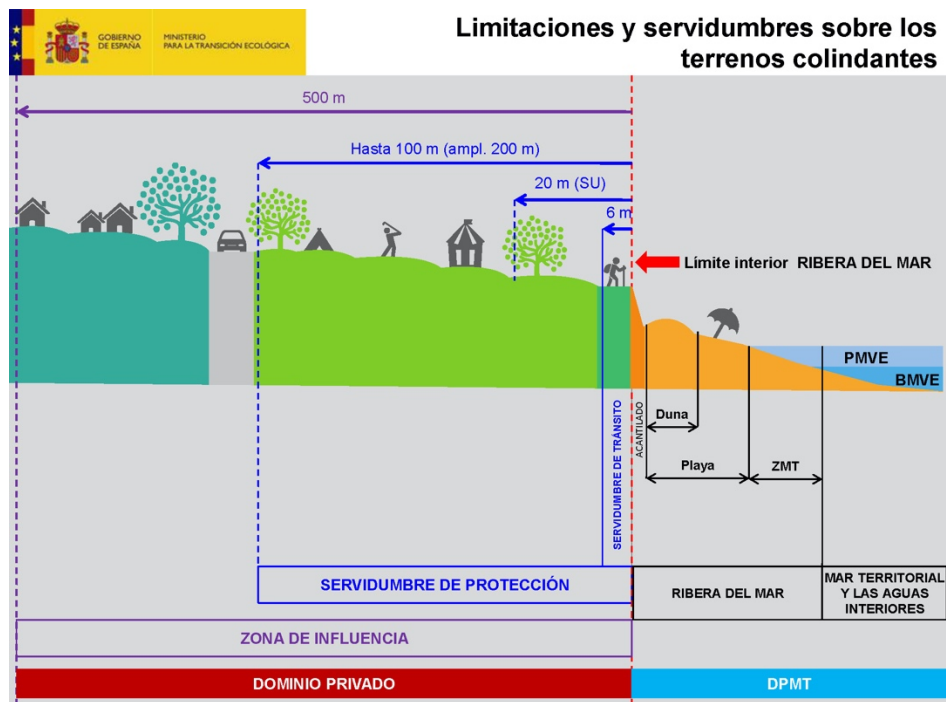


Figura 4. Limitaciones y servidumbres ley de costas. Fuente: miteco.gob.es





Figura 5. Imagen playa de Las Marinas, 3 de abril de 2021. Fuente: Elaboración propia.

En la anterior imagen se puede ver como a escasos 100m al norte del restaurante *Blay-Beach*, el mar se encuentra ya dentro de las viviendas y cómo ha destrozado los muros perimetrales de estas. Evidentemente estas casas se construyeron con anterioridad a la ley de costas de 1988 y por tanto existe un debate muy fuerte sobre la situación en la que se hallan estas casas, existen numerosas demandas por parte de los propietarios hacia el gobierno, pero también por parte de las asociaciones ecologistas que reclaman que estas casas están en zonas ilegales y piden su expropiación.

Este problema de titularidad o demarcación de la línea de costas no ocurre solamente en esta zona, si no que ha sido motivo de conflicto y con resoluciones judiciales muy mediáticas como el caso del *SIDI Saler* en Valencia o el caso del complejo hotelero de *El Algarrobico* en Almería.

El hotel *El Algarrobico* fue construido en 2003, se encuentra 4km al norte de Carboneras y se encuentra en el interior del *parque natural del Cabo de Gata-Nízar*,

provocó una fuerte oposición debido a la ilegalidad por el incumplimiento de la Ley de Costas y se ha convertido en un símbolo de la mala conservación de las costas españolas.

### ¿Qué dice la ley de costas?

La Ley de Costas es la que regula la determinación, protección, utilización y política del dominio público marítimo-terrestre y especialmente de la ribera marítima.

Hasta 2013 estuvo vigente la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, que derogaba a la Ley de Costas de 26 de abril de 1969, y estaba desarrollada en el Reglamento de la Ley de Costas, aprobado en Real Decreto 1471/1989 de 1 de diciembre de 1989. Esta ley fue modificada por la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, actualmente en vigor.

La aplicación efectiva de la Ley de 1988 fue puesta en duda por parte de la Unión Europea, ya que la protección del litoral no llegó a producirse en gran parte del territorio español. Este hecho se puede corroborar en el informe Auken, informe emitido por la Comisión Europea en respuesta a las sucesivas quejas, por parte de propietarios extranjeros y organizaciones ecologistas o defensoras del pueblo, sobre la urbanización masiva y sus problemas asociados. De este informe se puede sacar extractos como estos:

*“la Comisión Europea ha abierto un caso de infracción contra España, directamente relacionado con la urbanización en la Comunidad Valenciana y la aplicación de las Directivas sobre contratos públicos, y se encuentra investigando otros supuestos incumplimientos de la legislación comunitaria en asuntos relacionados con el medio ambiente y el agua. Resulta clave considerar si el efecto acumulativo de tantos proyectos urbanísticos a gran escala que carecen de un informe positivo de la autoridad competente en materia de agua podría imposibilitar la aplicación de la Directiva marco en el sector del agua al negar el abastecimiento de agua para consumo humano y agrícola.”*

*“Se han producido daños paisajísticos, como ponen de manifiesto numerosos informes de referencia, mientras que los proyectos urbanísticos pendientes persisten como espadas de Damocles de hormigón sobre un gran número de comunidades costeras y rurales. Es por este motivo que la Resolución pide a las autoridades locales que suspendan y revisen los proyectos existentes y que no procedan hasta que se haya demostrado su sostenibilidad, con la participación de las comunidades locales en su elección, y se hayan garantizado salvaguardias medioambientales. Asimismo, deben respetarse los derechos legítimos de propiedad.”*

Extractos obtenidos directamente del Informe Auken. Fuente: Parlamento Europeo.

Este "informe Auken" fue emitido el 20 de febrero de 2009 y como consecuencia de este junto con los problemas ya actuales que tenía España en ese momento se decidió renovar la Ley de Costas. Esta nueva Ley de Costas de 2013 suavizó los niveles de protección de la ribera marítima y permitió la regularización de hasta 12.800 viviendas situadas en dominio público, que la anterior ley consideraba ilegales y por tanto debían de ser derribadas. El Parlamento Europeo también ordenó al gobierno español a compensar justamente a los propietarios expropiados o derribados por la Ley de Costas.

Los objetivos de la nueva Ley de Costas de 2013 fueron:

- Realizar el deslinde del dominio público marítimo-terrestre, y asegurar la integridad y adecuada conservación de este, adoptando, en su caso, las medidas de protección y restauración necesarias.
- Garantizar el uso público del mar, de su ribera y del resto del dominio público marítimo-terrestre, sin más excepciones que las derivadas de razones de interés público debidamente justificadas.
- Regular la utilización racional de estos bienes en términos acordes con su naturaleza, sus fines y con el respeto al paisaje, al medio ambiente y al patrimonio histórico.
- Conseguir y mantener un adecuado nivel de calidad de las aguas y de la ribera del mar.

## 2.2 Clima marítimo

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

La ROM (recomendaciones de obras marítimas proporcionadas por Puertos del Estado y el gobierno de España) tiene como definición de clima marítimo: *"la caracterización del oleaje en periodos largos de tiempo o descripción estadística de la variación en el dominio del tiempo de los Estados del Mar en un emplazamiento dado. Puede considerarse definido a partir de la estadística unidimensional y bidimensional"*

*de los parámetros geométrico-estadísticos y espectrales representativos del Estado del Mar en la zona considerada”.*

El resto de datos sobre el clima marítimo se exponen en el Anexo I. Clima marítimo.

## 2.3 Sedimentología del tramo:

Los cambios morfológicos que sufre un tramo de litoral o de costa son el resultado de la acción de distintos agentes dinámicos actuando sobre un mismo tramo durante un tiempo constante y sujeto a unas condiciones de contorno. Estas condiciones de contorno pueden ser de tipo natural (geomorfología, hidrología, litología...) o de tipo antrópico (existencia de barreras a lo largo de la costa, rigidizaciones de la línea de orilla, construcción de edificaciones sobre el cordón dunar...).

De estos agentes, uno de los que más influye y que más se estudia es la combinación oleaje-corrientes-marea, ya que es uno de los que más acción genera sobre la modelación del litoral. La interacción de estos agentes junto con las condiciones geomorfológicas, hidrológicas, litológicas y sedimentarias se traduce en una respuesta en forma de movimiento de la costa. En el apartado anterior se han visto las características del oleaje y viento en la zona, en este se van a exponer las consecuencias de la sedimentación y corrientes.

La orientación característica de la zona (Playa de Las Marinas T.M. Denia) genera una circunstancia diferenciada del resto de playas de la costa levantina. El estudio de la dinámica litoral del tramo se basa en el análisis de las condiciones de equilibrio de la línea de la orilla a través de la determinación de su flujo medio de energía, como representativo del oleaje que alcanza la línea de costa en el año medio.

Estos datos han sido obtenidos del “Proyecto de recuperación de la playa de Les Deveses” realizado por el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Jaime Alonso Heras en colaboración con INGEMED S.L.P y el Ministerio para la transición ecológica del Gobierno de España. A pesar de tratarse de un proyecto de recuperación de la playa colindante a la del tramo de estudio de este trabajo de fin de grado, se pueden extraer y extrapolar los datos de dinámica litoral y adecuarlos para este tramo de estudio debido al alcance de ese proyecto mencionado.

Para tratar de entender la dinámica litoral de la costa, en primer lugar se va a analizar la evolución histórica de la línea de costa y en segundo lugar el balance neto de sedimentos.

Históricamente, la costa de Denia en conjunto ha tenido una tendencia regresiva marcada a pesar de que ha sido objeto de distintas actuaciones costeras y aportaciones de material. La dinámica sedimentaria presenta una un sentido

predominante SE-NW a lo largo de toda la costa, pudiendo ocurrir de forma excepcional un cambio a sentido NW-SE en el tramo de la playa de Les Deveses.

*“Actualmente, el delta que presenta mayor actividad es el del río Girona, que según introduce en la dinámica litoral un volumen medio de sedimentos (gravas y cantos) por avenida cercano a 10.000 m<sup>3</sup>. Otro factor importante en la morfodinámica de este tramo es la presencia de fondos compuestos por materiales pleistocenos fosilizados localizados a poca profundidad que servirían de apoyo del pie del perfil sumergido constituyendo, a su vez, una fuente de sedimentos a la costa por su continua erosión.”*

Fragmento extraído del Proyecto de recuperación de la playa de Les Deveses.

La cuantificación del flujo medio de energía, a partir de ahora FME, tiene una doble función; por un lado permite obtener la forma teórica del equilibrio estático a largo plazo de la costa bajo las condiciones hidrodinámicas reinantes y, por otro, posibilita la estimación de la capacidad de transporte potencial del oleaje.

:

### **Cálculo de transporte sólido litoral: basado en el cálculo de flujo medio de energía(FME):**

Se va a realizar el cálculo del flujo de energía media para en primer lugar, comprobar si se produce un balance negativo, y en segundo lugar estimar la cantidad de arena perdida o ganada en la zona.

Para ello tomaremos dos puntos de referencia, el primero de ellos será el punto más crítico, correspondiente al restaurante *Blay-Beach*, el segundo se situará fuera del área de influencia de esta zona para que no quede afectado por la zona y que por tanto, el cálculo sea realista. El cálculo se va a realizar tal y como se nos enseñó en la asignatura de Obras Marítimas de tercer curso, se empleó el método de cálculo de potencial de *Longet-Higgins*. En la tercera práctica de informática de esta asignatura nos basamos en calcular el balance entre dos puntos distintos de la playa de Valencia, ahora interpolaremos estos conocimientos adquiridos para realizar la estimación del balance de la playa de Las Marinas.

El primer cálculo que debemos estimar es el de la altura de ola pico, en este caso correspondiente a la altura de ola que es superada durante 12h en un año(Hs12). Utilizando los datos obtenidos de la boya SIMAR 2085107 y con la ayuda de el programa Excel, con los parámetros de Weibull calculamos la Hs12

ANUAL

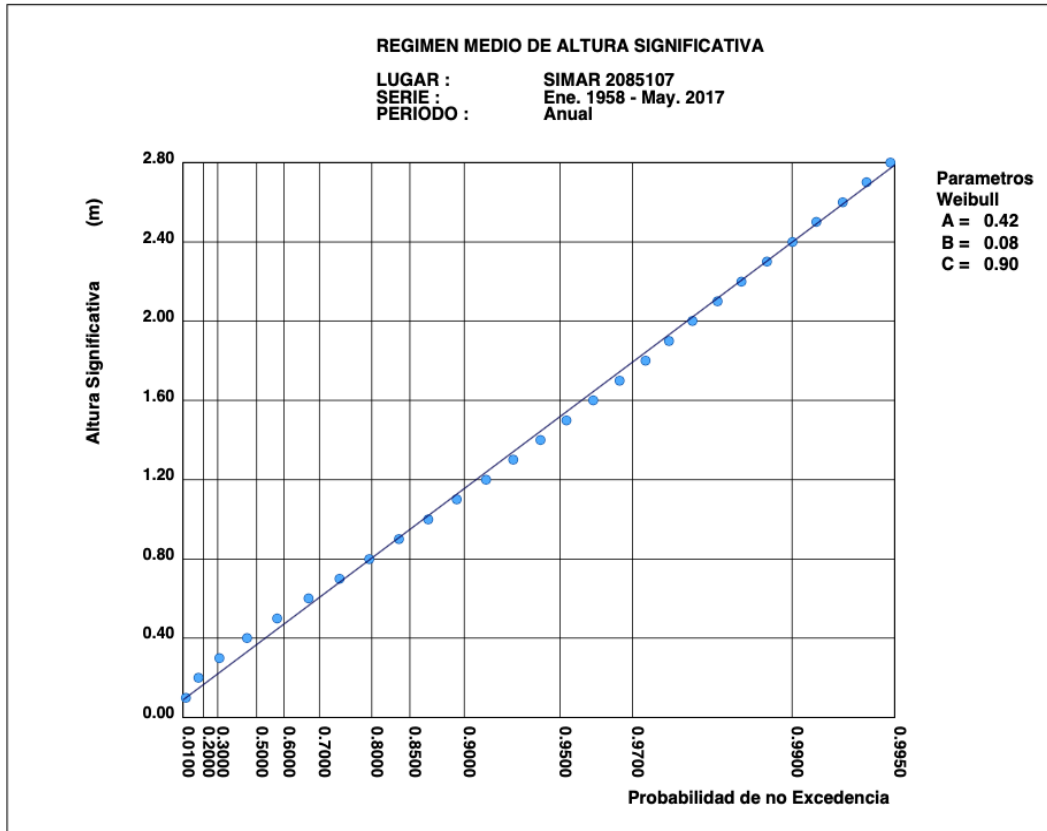


Figura 6. Régimen medio anual de altura significativa de ola (1958-2017). Fuente: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)

También obtendremos el periodo pico significativo de oleaje de la siguiente forma:

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

$$T_p = 5.55 H_s^{0.31}$$

Una vez calcula  $H_s$  y  $T_p$ , procedemos al cálculo de  $h^*$

$$h^* = 1,75 H_{S12} - 57,9 \left( \frac{H_{S12}^2}{gT_s^2} \right)$$

$H_{S12}$  = Altura de ola significativa superada 12 horas al año  
 $T_s$  = Periodo significativo del oleaje

Siguiendo con las fórmulas anteriores, se obtiene una  $H_s$  de 3,33m, un  $T_s$  de 8,06s y una  $h^*$  de 4,83m. Para obtener más información sobre estos datos se debe consultar el Anexo II de cálculo de FME.



Tal y cómo se puede observar en el Anexo II, se produce una pérdida de arena en todo el tramo de la playa de Las Marinas, con un transporte de sedimentos en dirección SE-NW que provoca una continua erosión en la playa. El valor medio de volumen perdido en esta playa es de **32910m<sup>3</sup>/año**.

## 2.4 Obras y actuaciones en el tramo

Como consecuencia de la problemática existente y su especial repercusión en los propietarios de la zona y en su influencia sobre el posible turismo que llegue a la playa, a lo largo de las últimas décadas se han producido numerosas actuaciones en el tramo, y no solo en la playa de Las Marinas, si no en las playas colindantes, actuaciones que indirectamente también influyen a este tramo de estudio.

Con los daños producidos en los últimos 3 años, ocasionados por el temporal *Gloria* y numerosas DANA's en 2019, 2020 y enero de 2021, se ha incrementado la presión sobre las actuaciones en la zona y han aparecido numerosos puntos de conflicto a la hora de tomar una solución.

Tal y como se ha explicado en el apartado de servidumbre y dominio público marítimo-terrestre, han surgido numerosas protestas por parte de los vecinos reivindicando que no se estaban tomando medidas porque la administración consideraba que estas viviendas se hallaban dentro del dominio público y por tanto eran declaradas ilegales. A pesar de estos problemas ya explicados anteriormente, se va a hacer un hilo cronológico en el que se muestra las actuaciones históricas sobre el tramo y sus repercusiones.

1960-1975:

Entre el 1965 y 1972 se construyó el espigón de Punta de Els Molins, situado a menos de 3km del tramo de playa de Las Marinas. Junto con él se construyeron una batería de 10 espigones cortos en la Playa de Las Marinas para tratar de solventar el problema ocasionado por el incremento repentino de la ocupación urbanística en la zona en la década de los 60.

1975-1990:

Debido al mal funcionamiento la batería de espigones cortos construidos en 1972, se decidió sustituir estos espigones por un dique exento a 280m de la línea de costa y de dimensiones 200x30m. Junto a esta reforma se decidió añadir una aportación de 47.800m<sup>3</sup> de arena entre 1985 y 1986. Después de esto, en el año 1988, se llevó a cabo el vertido de 700.000m<sup>3</sup> de arena procedente del dragado de un

yacimiento submarino cerca del Cabo de San Antonio (accidente geológico que separa las costas de Denia y Jávea). Estos vertidos de arena se realizaron entre el barranco de l'Alter y el puerto de Denia. A continuación, en el año 1990, se lleva a cabo el desmantelamiento parcial del dique exento que origina un movimiento de gran parte del sedimento vertido en dirección NW, rellenando las playas de Los Molinos y La Almadraba, situados al norte de la playa de Las Marinas.

1990-Actualidad:

Como consecuencia de la desmantelación parcial del dique exento en 1990, queda registrado, entre 1992-1994, el movimiento de sedimento en dirección NW, dejando una importante erosión (y con ella un retroceso de la línea de costa) en la playa de Las Marinas. Se producen considerables acumulaciones en la playa de La Almadraba. En los siguientes años se reduce y estabiliza la etapa regresiva de la línea de orilla hasta el año 1998, donde se provoca una nueva etapa de erosión. Este retroceso costero se acentúa en el periodo 2000-2006. Para tratar este retroceso se han realizado aportes constantes en el tramo del Blay Beach, aportando:

- 10.000m<sup>3</sup> en 2006.
- 10.000m<sup>3</sup> en 2008.
- 40.000m<sup>3</sup> entre los años 2010 y 2015.

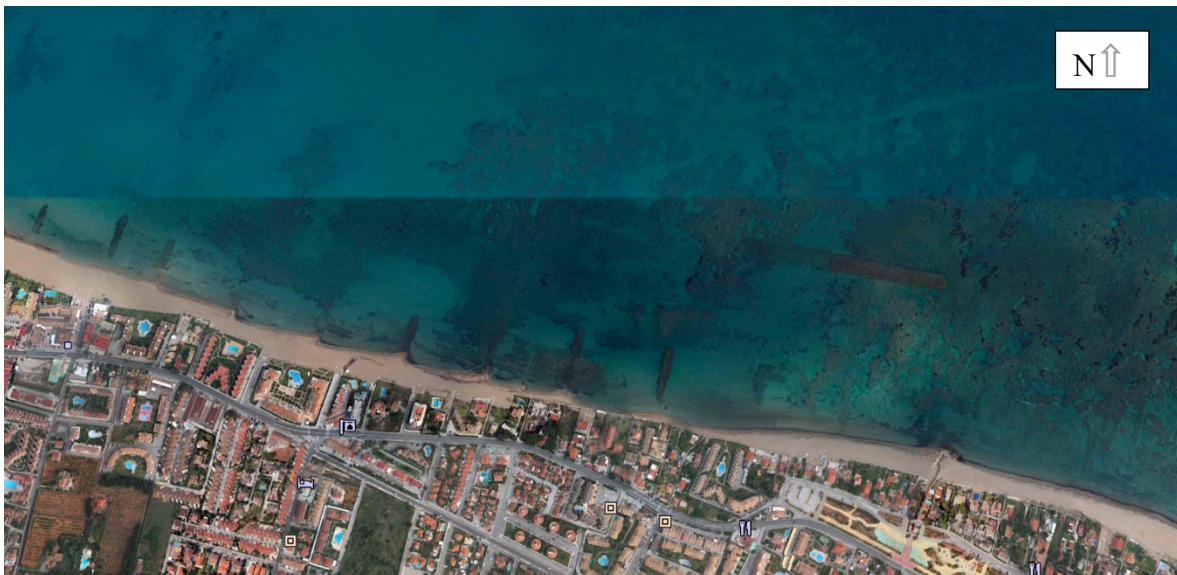


Figura 7. Imagen aérea batería espigones desmantelados y dique exento en frente del Blay-Beach.  
Fuente: [googleearth.com](http://googleearth.com)

Estos aportes suponen una solución temporal, especialmente para el periodo estival, ya que una vez llegan las tormentas invernales, se vuelve a producir erosión y estos aportes se diluyen en el mar. Estos aportes forman parte del Contrato de Conservación y Mantenimiento de la costa de Alicante, que se trata de una medida temporal a la espera de adoptar una solución final.

El tramo de playa desde la *Punta dels Molins* hasta el puerto de Denia se encuentra en desequilibrio, efecto que se acentúa en el tramo Blay Beach-Puerto de



Denia (zona de estudio de este trabajo). Gracias a las últimas investigaciones se ha hallado un préstamo marino, con disponibilidad de sedimento elevada, enfrente de la playa de Cullera que puede permitir abordar este problema y plantear una solución a largo plazo de este tramo de costa con alto valor ambiental y también económico debido a la importancia del turismo de playa para la ciudad de Denia y toda la comarca de la Marina Alta.

En la siguiente imagen se observa una imagen aérea del año 2002, la línea roja representa la línea de costa en el mes de Julio de 2020. Se observa un retroceso de más de 20m en el tramo de Blay-Beach a pesar de las numerosas aportaciones que se realizan anualmente antes de la llegada del verano.

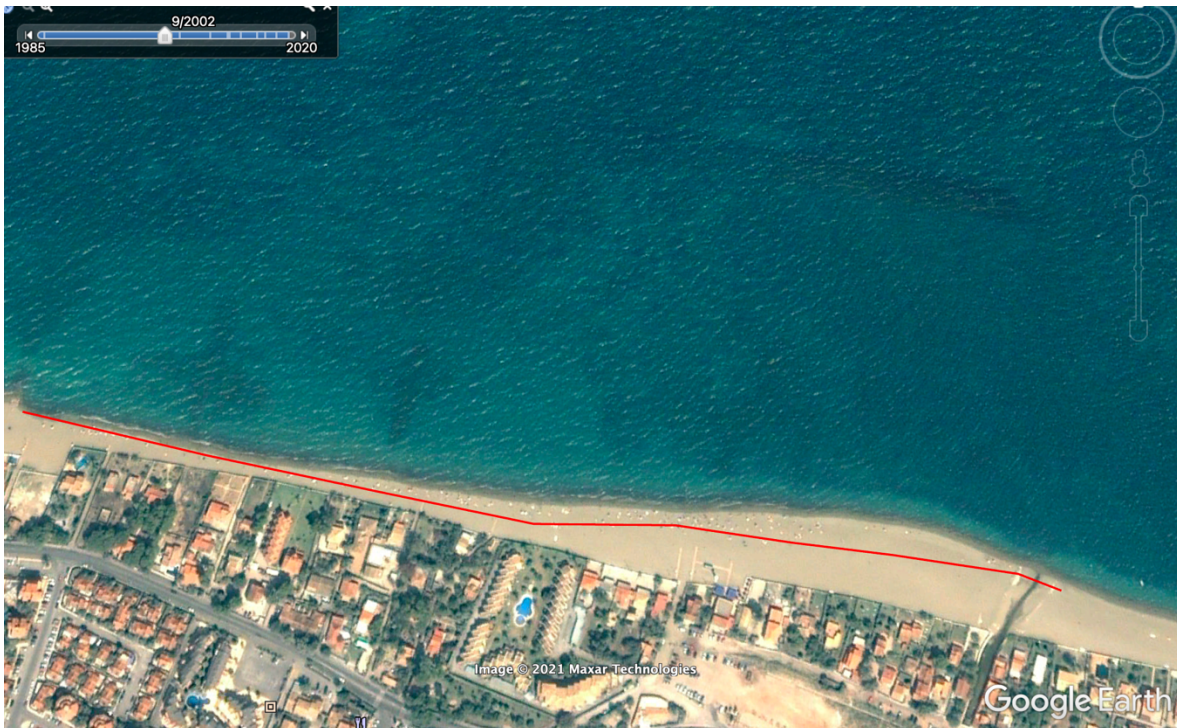


Figura 8. Comparación líneas de costa 2002 y 2020(en rojo). Fuente: [googleearth.com](https://www.googleearth.com)

En esta imagen se puede apreciar el retroceso de una forma más exagerada. La imagen data del día 3 de diciembre de 2021 y en este caso se pueden ver los efectos de las tormentas invernales de una forma más exagerada. Realización una medición con la herramienta de *Google Earth Pro* podemos calcular que el retroceso de la línea de costas en este tramo entre 2002 y 2021 es de unos 20m de media. Con picos de 26m de retroceso en el punto más afectado de la costa. Este retroceso causado por la pérdida de sedimento calculado en el anexo de cálculo de sedimentología sería mayor en metros si no se encontraran estas viviendas, ya que el agua está dentro de las casas.



Figura 9. Comparación líneas de costa 2002 y 2021 (en verde). Imagen aérea del 3 de diciembre de 2021. Fuente: [googleearth.com](http://googleearth.com)

En la imagen que se muestra a continuación se observan los restos de la batería de los 10 espigones que se construyeron en la década de 1970. Se trata de una imagen actual tomada por mi mismo y en el que se observa perfectamente como se mantiene el inicio de los espigones, y una vez están en el agua son descabezados para que no se vean a simple vista. Desde cualquier imagen aérea se interpreta perfectamente dónde se hallaban estos espigones y que longitud tenían.





*Figura 10. Fotografía inicio espigón desmantelado. Fuente: Elaboración propia.*

A parte de estos espigones transversales, también se puede observar, desde la misma arena de la playa, dónde se ubica el espigón exento que se haya a unos 200m de distancia de la orilla. A día de hoy está señalizado mediante dos balizas de color amarillo que indican su existencia y por tanto la poca profundidad de ese punto, ya que ha sido causante de diversos accidentes de barcos que han quedado encallados en ese espigón o que le han golpeado con su quilla (en el caso de barcos veleros) causando numerosos daños a las embarcaciones.

## 2.5 Dinámica litoral

La dinámica litoral es el resultado de la interacción, en la zona litoral, de viento, oleaje, corrientes, mareas, sedimentos y otros fenómenos (SPM, 1984), pudiendo dar lugar a la modificación de la costa con el paso del tiempo.

El tramo costero de Denia se encuentra en un accidente geográfico importante, marcado por principalmente por el Cabo de San Antonio y por el Cabo de La Nao. Constituyen un cambio importante en la orientación costera del levante español, ya que se cambia la orientación N-S predominante en el Golfo de Valencia y entronca de una forma más abrupta una orientación prácticamente E-W. Esta característica

geográfica es producida por la continuación de las cordilleras Béticas, hasta su llegada al mar Mediterráneo, donde se sumergen para volver a aflorar en las Islas Baleares.

Para el estudio de dinámica litoral, se ha recurrido al *“PROYECTO DE RECUPERACIÓN DEL TRAMO DE COSTA COMPRENDIDO ENTRE EN EL PUERTO DE DÉNIA Y EL RÍO GIRONA, T.M. DÉNIA (ALICANTE)”*, proyecto realizado por el Gobierno de España mediante su Ministerio para la Transición Ecológica. En este estudio se marcan los tres principales objetivos a largo plazo del estudio:

- Localizar y limitar la zona donde se produce la inversión del sentido del transporte de sedimentos
- Cuantificar el volumen de material que se moviliza anualmente en las costas de Oliva y Denia.
- Conocer la ley de transporte que permita identificar las zonas de acumulación y de erosión sedimentaria.

Para alcanzar estos objetivos, el análisis ha contemplado los siguientes aspectos:

- Propagación del oleaje desde aguas profundas hasta el litoral objeto de estudio.
- Análisis morfodinámico de la estabilidad de la costa en su estado actual y potencialidad del transporte longitudinal por estimación de la dirección del flujo medio de energía (FME) frente a la costa a las profundidades -5 m y -2m.
- Simulación de corrientes generadas por los oleajes reinantes y dominantes del NE.
- Estimación de la profundidad de cierre del perfil de playa.
- Estimación del volumen de sedimento que viaja anualmente en el litoral Oliva-Denia mediante balance sedimentario cada 300 m de costa, partiendo de las variaciones registradas en la orilla cada dos años consecutivos en el estudio de evolución histórica de la línea de costa (ELC) del periodo 1956-2012.

De todas estas simulaciones, obtenidas por el *“PROYECTO DE RECUPERACIÓN DEL TRAMO DE COSTA COMPRENDIDO ENTRE EN EL PUERTO DE DÉNIA Y EL RÍO GIRONA, T.M. DÉNIA (ALICANTE)”* ofrecido por el Ministerio de Transición Ecológica en colaboración con la empresa INGEMED S.L. , utilizaremos los datos que nos ayuden a mostrar la dinámica litoral del tramo de playa de Las Marinas, para contrastar con el estudio de flujo medio de energía y cálculo de transporte de sedimentos realizado en este Trabajo de Fin de Grado, obtener unos valores reales y tratar de acotar los problemas de erosión que se producen y darle una solución.

### **Propagación del oleaje:**

A medida que el oleaje se aproxima hacia la costa sufre una serie de fenómenos que llevan a su transformación, como son el asomeramiento, la refracción, la difracción o la rotura. Este último, en combinación con los gradientes de altura de ola y la incidencia oblicua del oleaje, producen corrientes costeras que transportan agua y sedimentos y que, de los distintos tipos de corrientes (marea, viento, etc.), son las más

importantes en el desarrollo de la línea de costa. La propagación del oleaje desde aguas profundas hasta la costa objeto de estudio, enmarcada entre el Puerto de Oliva y el Cabo de San Antonio, se ha llevado a cabo mediante el empleo del modelo numérico de refracción/difracción Oluca-SP (oleaje espectral) implementado en el "Sistema de Modelado Costero" (SMC) desarrollado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC) de la Universidad de Cantabria.

Para tratar de entender como funcionan los conceptos de transporte de sedimentos generado por el oleaje se distinguen principalmente dos tipos de transporte, el transporte transversal y el longitudinal. El transporte longitudinal puede cambiar de sentido en función de la dirección del oleaje, mientras que el transversal solo oscila entre el mar y la costa. En general, ambos son significativos en zonas próximas a la orilla, pero solo el transversal adquiere importancia en aguas más profundas (SPM, 1984). Dependiendo de la zona de transporte, los sedimentos pueden moverse por suspensión o por arrastre. En el arrastre los sedimentos se movilizan arrastrándose por el fondo marino mientras que en el caso de suspensión, se levanta y son movidos y suspendidos por el agua. Se puede distinguir una tercera forma de transporte, denominada transporte laminar, que corresponde a una situación intermedia entre las dos anteriores (Horikawa, 1988).

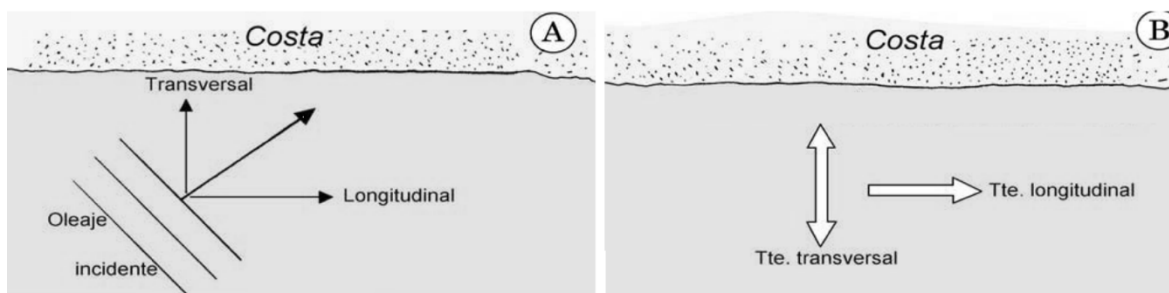


Figura 11. Esquema de descomposición del oleaje y del transporte de sedimentos provocado.  
Fuente: De la Peña(2007).

Otro concepto a tener en cuenta es la profundidad de cierre, puesto que en ingeniería de costas es una herramienta fundamental ya que representa el límite imaginario que define el área donde tienen lugar multitud de procesos litorales, como puede ser el transporte transversal de sedimentos (Aragonés et al., 2019). Kraus et al. (1998) definen la profundidad de cierre como la mayor profundidad en la que no hay un cambio significativo en la elevación del fondo ni un transporte neto de sedimentos significativo entre la costa y el mar. Además, este punto coincide con un cambio en la tendencia de los sedimentos. El valor D50 de la arena disminuye desde la orilla hasta la profundidad de cierre, a partir de la cual su diámetro vuelve a aumentar (Aragonés et al., 2019). Esta profundidad de cierre también es conocida como punto de *Cornaglia*.

Para el cálculo de la profundidad de cierre de la playa de Las Marinas en Denia, se ha empleado la **ecuación de Hallermeier** en la que se obtienen los metros de profundidad de cierre en función de la  $H_{s12}$  y el periodo  $T$ .

**Hallermeier:**

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

Los resultados son los siguientes:

H12(m)	T(s)	g(m/s <sup>2</sup> )	Profundidad de cierre d(m)
3,33	8,06	9,81	6,40

Estos datos de profundidad de cierre de 6,4m sirven para un periodo de retorno de 20 años. Son datos de gran utilidad debido a que con ellos podemos calcular el volumen de arena que se debería añadir para solucionar el problema de erosión en la costa de Denia.

Este oleaje, junto a las corrientes marinas y el viento, es el causante de una erosión media de 32910m<sup>3</sup>/ año en la playa de las Marinas.

## 2.6 Evolución de la línea de costa

La evolución de la línea de costa se ve influenciada por el conjunto de los apartados anteriores: clima marítimo, sedimentología del tramo, dinámica litoral y por supuesto, como consecuencia de las actuaciones en el frente litoral. La afección de los distintos elementos a la línea de costa se ve muy clara en la siguiente figura (De la Peña, 2007). Se pueden observar los principales efectos que provocan la serie de elementos característicos de una zona de costa.

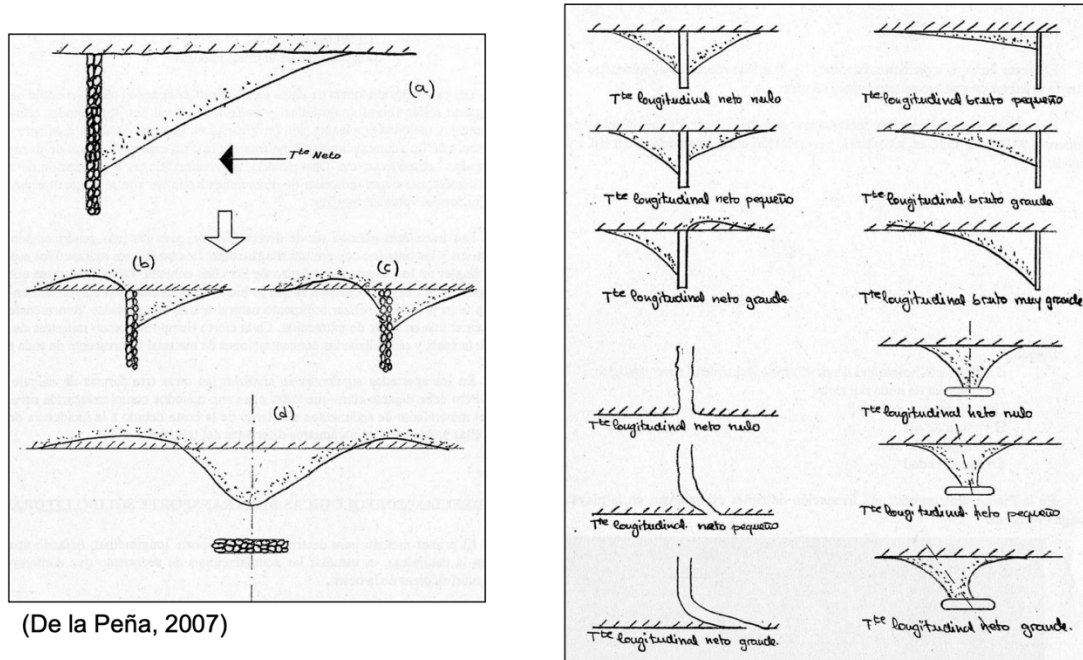


Figura 12. Evidencias morfológicas de la costa.

Fuente: De la Peña(2007).

Observamos que los fenómenos que generan tanto los espigones transversales como los diques exentos, se ven perfectamente representados, en las imágenes posteriores, en el tramo de estudio de este trabajo de fin de grado.

Debido a los problemas de regresión que arrastra esta zona costera desde hace varias décadas, la evolución de la línea de costas se puede ver de una forma notable con el uso de imágenes aéreas, ya que son las que mejor nos permiten observar y cuantificar el retroceso (en este caso) o avance de la línea de costas. Se puede observar viendo cómo la distancia actual que existe entre la orilla y numerosas construcciones no es una distancia en la que en condiciones normales no se permitiría construir, por lo que si nos damos un breve paseo por la playa, rápidamente observamos que el mar se ha metido literalmente dentro de las casas y restaurantes de la zona.

Para cuantificar este retroceso de la línea de costa vamos a emplear la serie fotográfica histórica del programa Google Earth Pro con el que superponiendo las distintas imágenes de la misma zona en años distintos se consigue obtener una radiografía clara de cual ha sido el progreso de la línea de costa en este tramo.

A pesar de contar con fotografías aéreas desde el año 1985, no podemos emplearlas debido a su deficiente resolución. A partir de 2002 si que se empieza a observar un aumento en la calidad de las imágenes y por ello se va a realizar un seguimiento fotográfico histórico desde 2002 hasta 2021. Sin embargo, si que se ha



utilizado la imagen aérea de 1985 para calcular el retroceso de la línea de costa ya que se ve perfectamente a pesar de la deficiente calidad de la imagen.

### **Evolución histórica del tramo de playa de Las Marinas a la altura del restaurante *Blay-Beach*.**

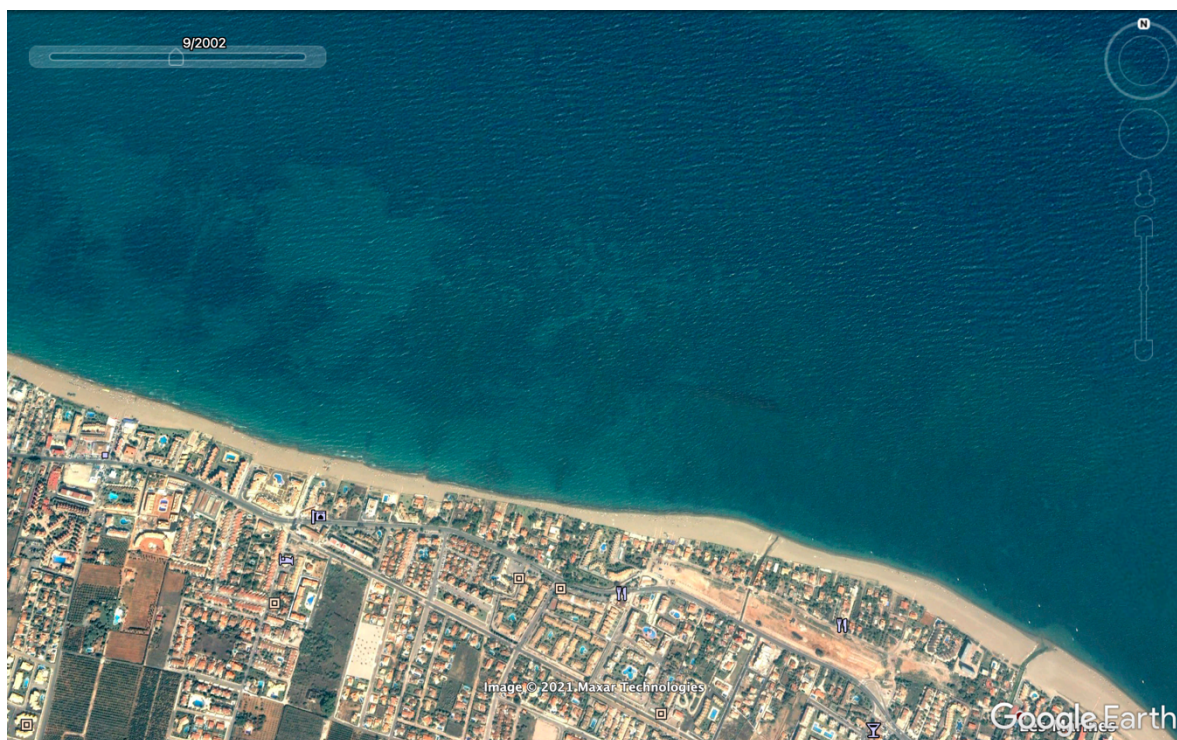


Figura 13. Fotografía aérea septiembre de 2002. Fuente: [googleearth.com](http://googleearth.com)



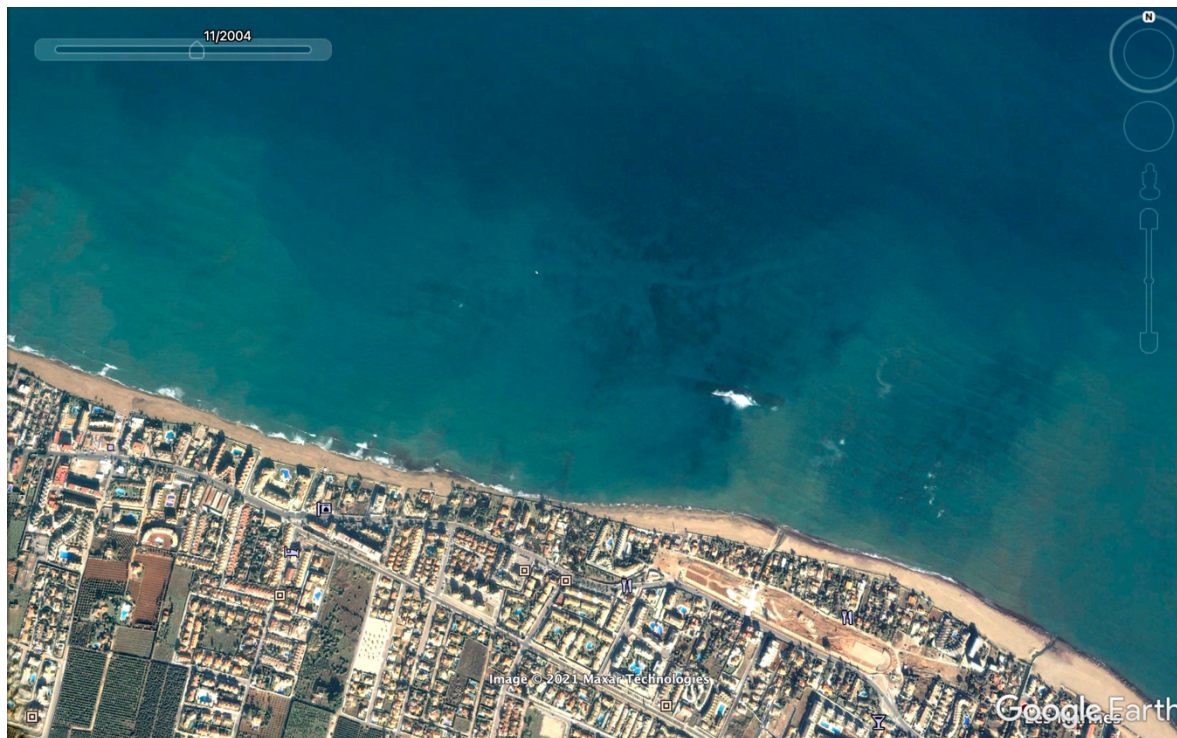


Figura 14. Fotografía aérea noviembre del 2004. Fuente: googleearth.com

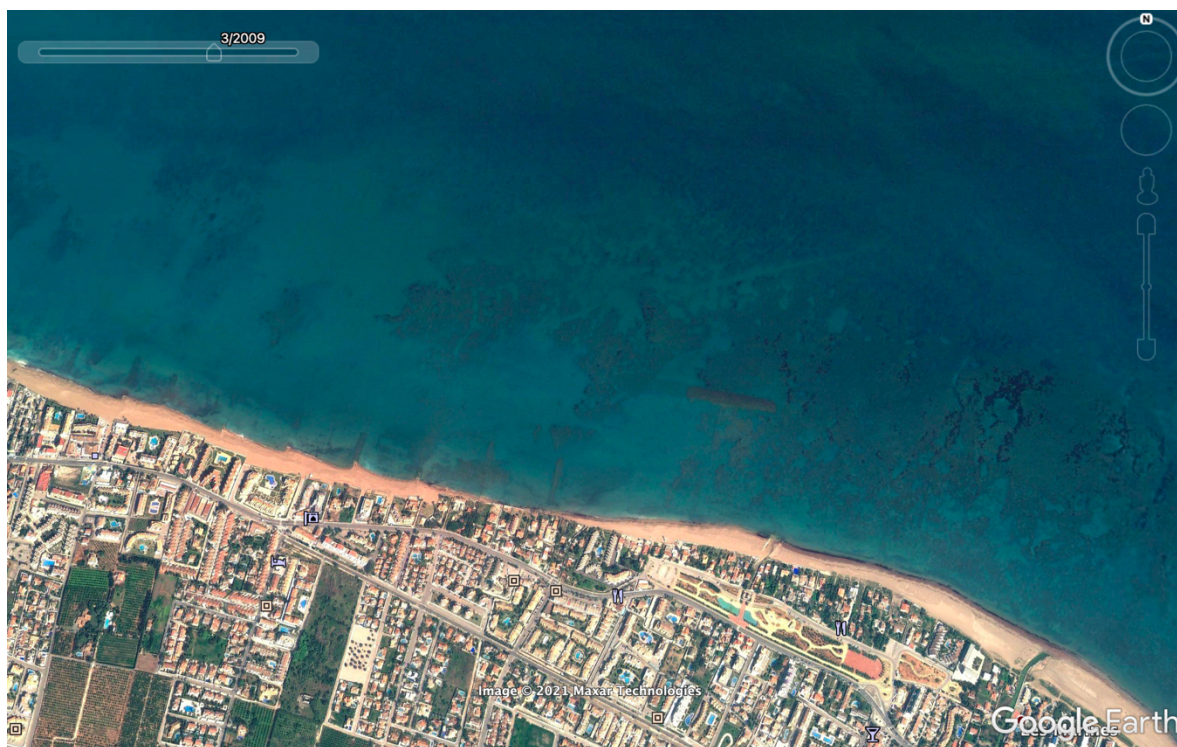


Figura 15. Fotografía aérea marzo del 2009. Fuente: googleearth.com



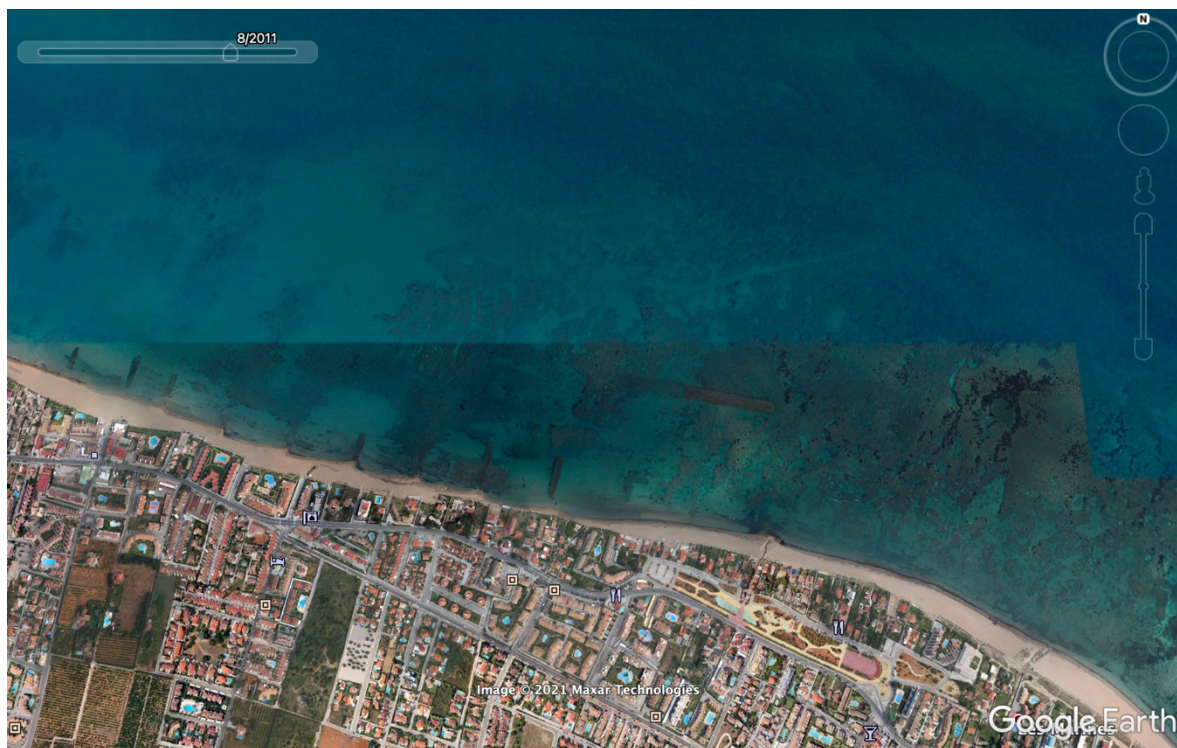


Figura 16. Fotografía aérea septiembre del 2011. Fuente: [googleearth.com](http://googleearth.com)

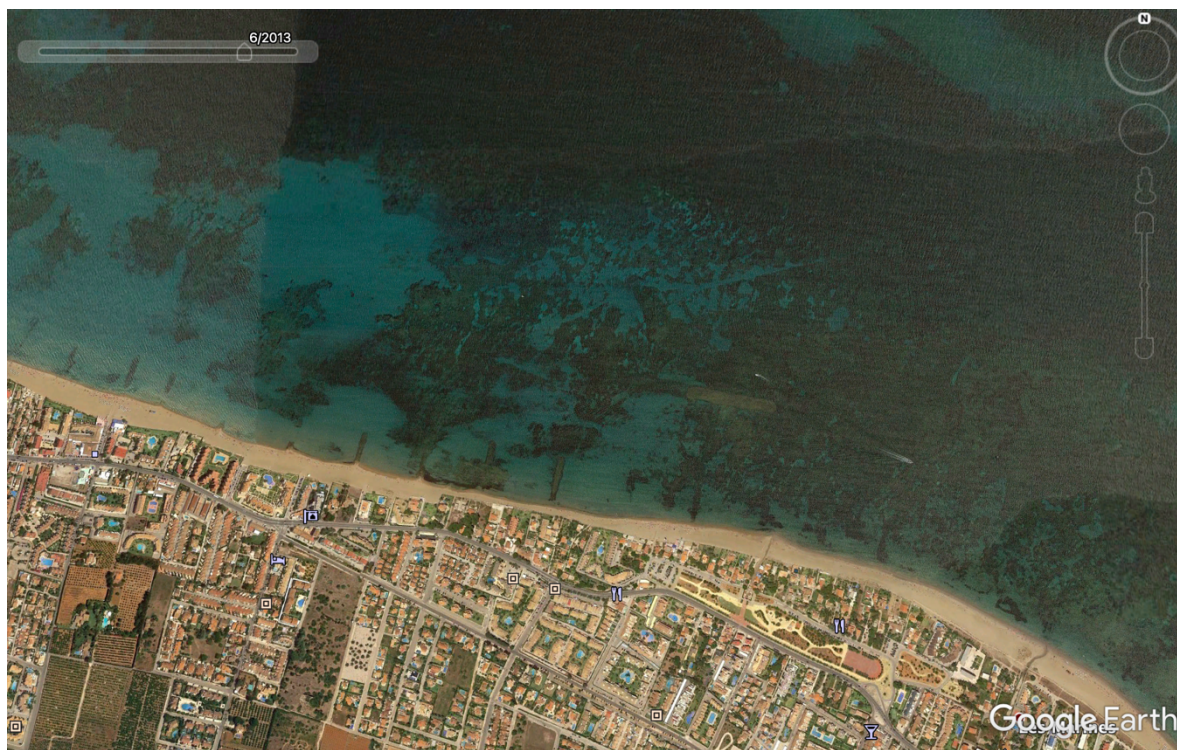


Figura 17. Fotografía aérea marzo del 2013. Fuente: [googleearth.com](http://googleearth.com)



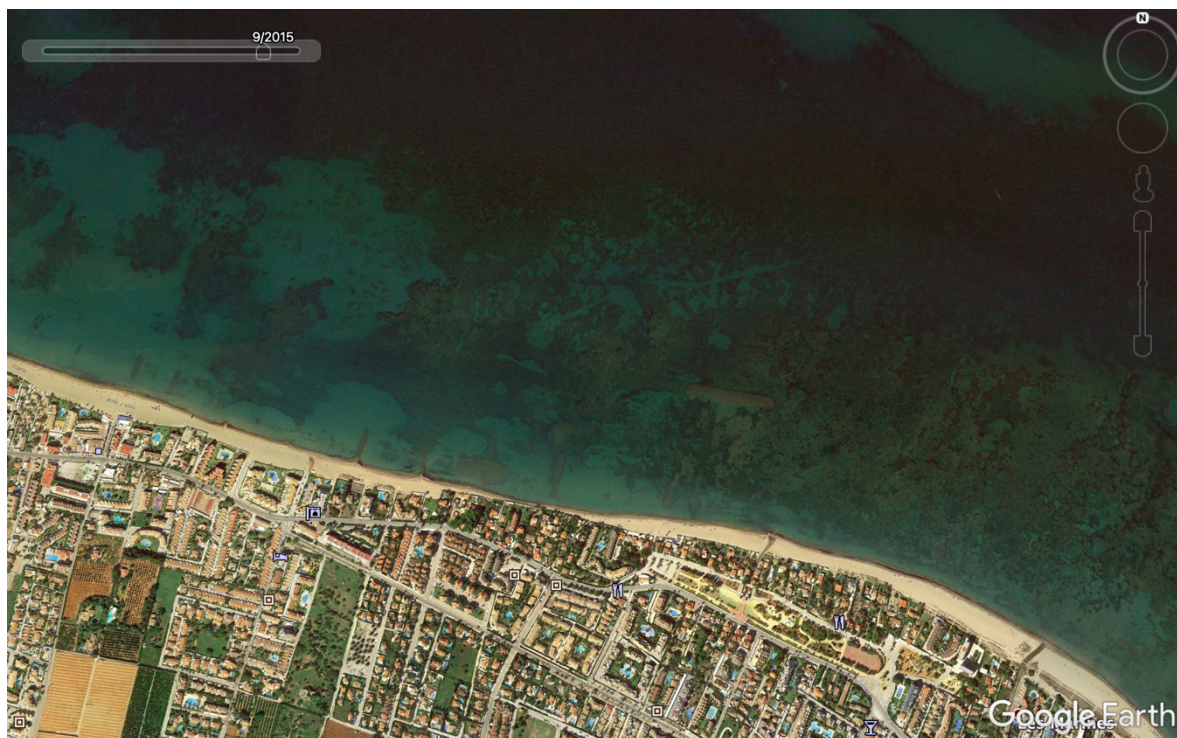


Figura 18. Fotografía aérea septiembre del 2015. Fuente: googleearth.com

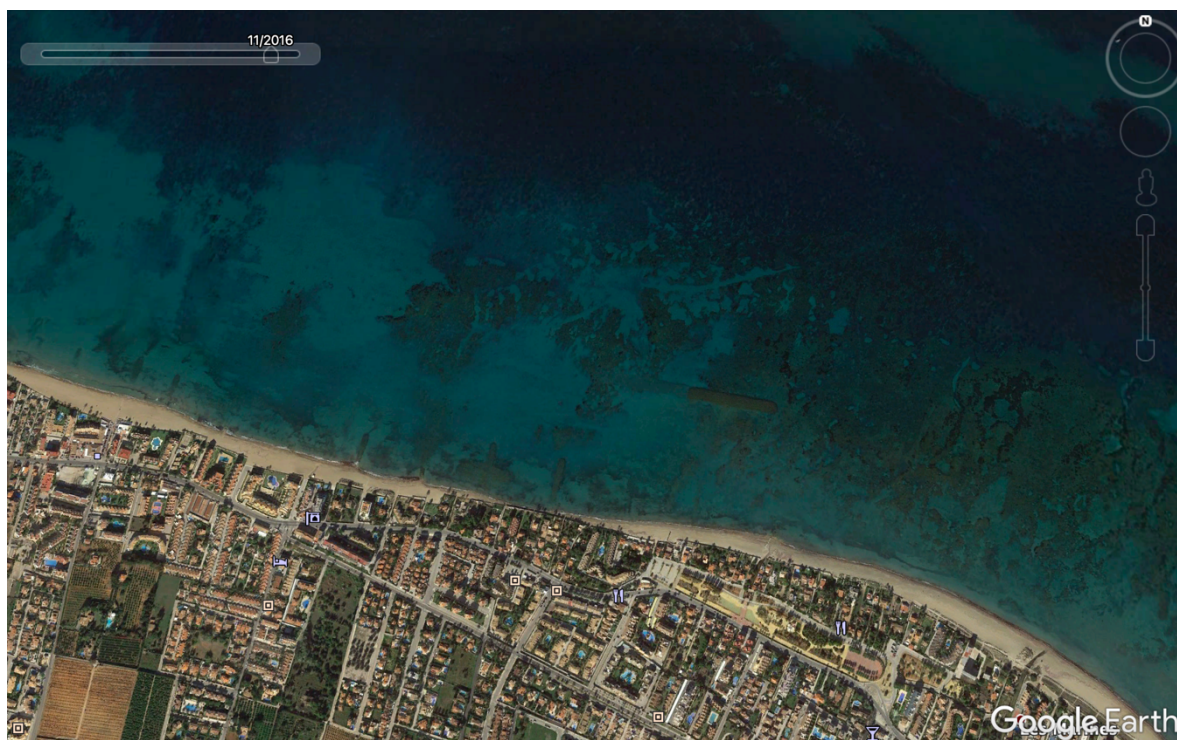


Figura 19. Fotografía aérea noviembre del 2016. Fuente: googleearth.com



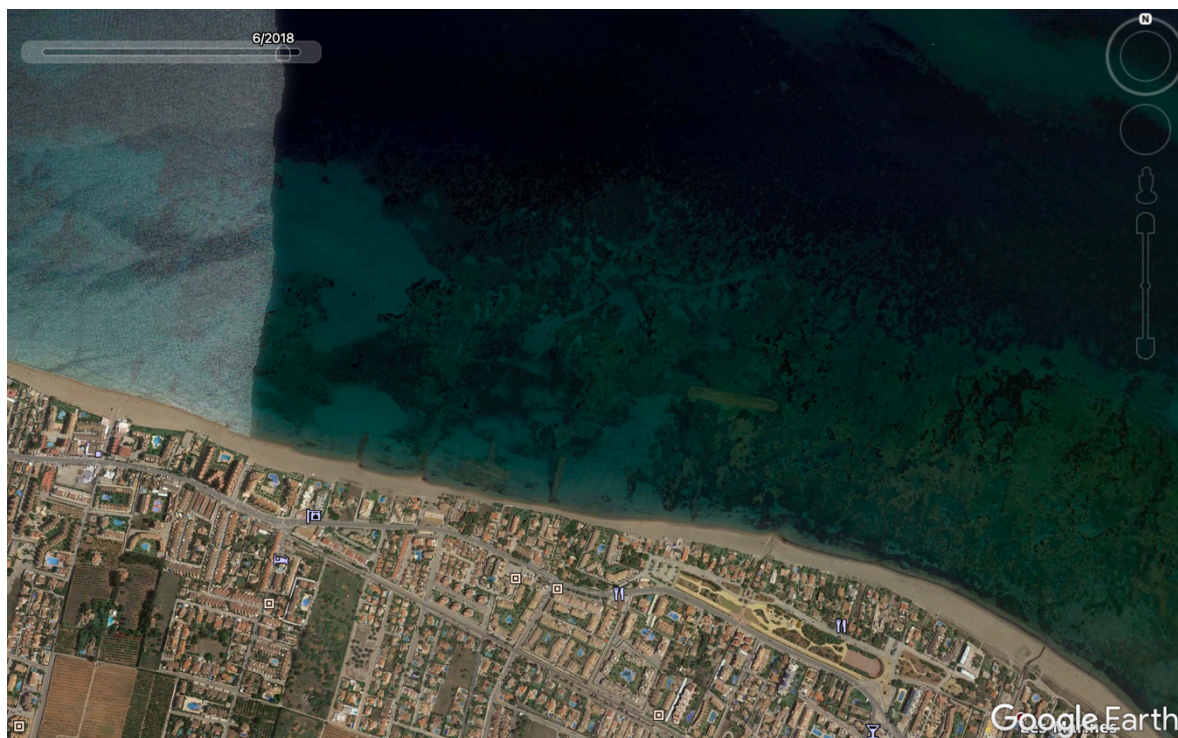


Figura 20. Fotografía aérea agosto del 2018. Fuente: [googleearth.com](http://googleearth.com)



Figura 21. Fotografía aérea marzo del 2020. Fuente: [googleearth.com](http://googleearth.com)



En la secuencia histórica podemos observar claramente dos aspectos diferenciativos en el transcurso de los años:

- La pérdida de zona de playa desde el 2002 hasta el 2020, aspecto que ya venía ocurriendo desde la década de 1960 aunque no aparezca en las imágenes.
- El cambio significativo en los meses de verano en algunas imágenes (2013 y 2018), dónde se aprecia un aumento de la zona de playa y por ello un avance de la línea de costa pero que se trata de un avance artificial debido a la aportación de arena que realiza el programa de conservación de costas del levante cada ciertos años.

A continuación se muestra una imagen en la que se ven comparadas las dos líneas de costas correspondientes a los años 2002 y 2020, tal y como se ha reflejado en el apartado anterior, obras y actuaciones en el tramo, se puede observar un claro retroceso especialmente agudizado en la zona del *Blay-Beach*. En este tramo la costa ha retrocedido 26m en tan solo 18 años y todo esto a pesar de los continuos aportes de arena que se han producido periódicamente en los meses de mayo de prácticamente cada año desde 2005.

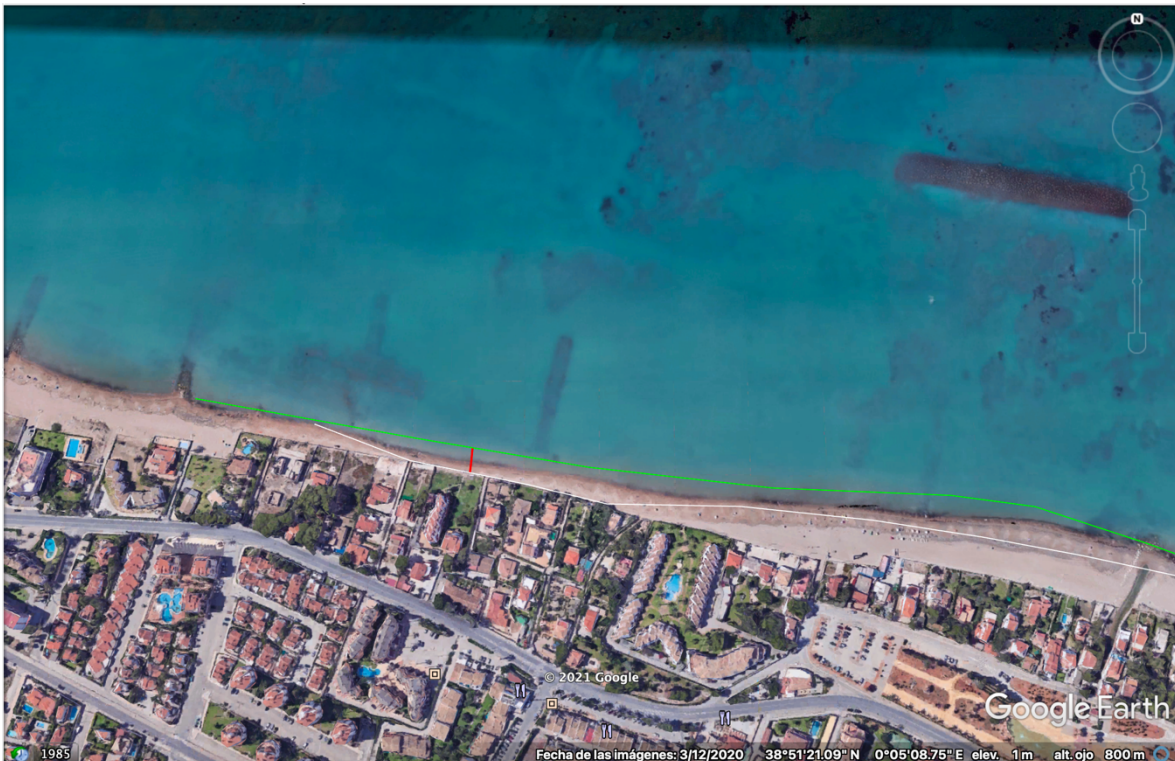


Figura 22. Comparación líneas de costa 2002 y 2021 (en verde). Imagen aérea del 3 de diciembre de 2021. Fuente: [googleearth.com](https://www.google.com/earth/)

Gracias a la entrevista realizada por el periodista J. Justo Moncho a Jorge Miquel Calatayud (propietario de una vivienda en primera línea de la playa de Las Marinas y fundador y coordinador de la Plataforma Recuperación Playa Marines) para el

periódico digital *denia.com* se ha obtenido una prueba más de los problemas que ocurren en esta playa y a nivel general en muchos tramos de la costa española.

En el artículo **«Costas ha puesto al lobo a cuidar del gallinero»: 90 años viendo al mar entrar en casa**, Jorge Miquel cuenta cómo por culpa de las malas decisiones tomadas durante las últimas décadas se ha llegado a la situación actual. En el artículo se mencionan los ya comentados problemas de la falta de llegada de sedimentos de carácter fluvial por culpa de la cantidad de embalses que existen en la zona, del poco cuidado de la línea de costas y de la influencia del turismo en Denia. Pero lo que me ha parecido más sorprendente de este artículo es una imagen tomada por el propietario de la vivienda durante las últimas décadas del siglo XX en la que se aprecia una importante cantidad de arena frente a la puerta de su casa, hoy en día destruida por la fuerza del mar.



Figura 23. Fotografía tomada por Jorge Miquel Calatayud en su propio jardín en las últimas décadas del siglo XX. Fuente: *denia.com*





*Figura 24. Jorge Miquel Calatayud en su propio jardín a 6 de junio de 2021. Fuente: denia.com*

Con la fotografía anterior se muestra el gran retroceso de la línea de costa y cómo esta se ha introducido en casa de Jorge Miquel Calatayud.

## 2.7 Riesgo de inundación

Debido al retroceso de la línea del frente litoral, una gran parte de las viviendas y establecimientos de la zona se han quedado muy expuestos a las posibles afecciones del mar en época de temporales. Esto, unido al aumento del nivel del mar provocado por el cambio climático, supone un gran riesgo para esta zona. No solo a nivel económico, también a nivel social. El aumento del riesgo considerable en esta zona ya ha provocado diversos daños materiales con el paso de los últimos temporales invernales de 2019 y 2020 y el problema se va agravar con el transcurso de los años si no se proponen soluciones eficaces a corto, medio y largo plazo.

La NASA (National Aeronautics and Space Administration) ha calculado el incremento del nivel del mar en las últimas décadas y la previsión futura no augura

buenos indicadores. La NASA prevé un aumento de entre 29 y 110 centímetros para el año 2100. La previsión estimada para la zona del levante, más concretamente en Denia estima una subida de unos 60cm para 2100. Este aspecto, sumado al retroceso de la línea de costa pone en serio riesgo a la zona, efectos que ya son visibles a día de hoy y que se pueden observar en las parcelas de la zona afectada. Este aumento del nivel del mar se tiene que tener en cuenta a la hora de dimensionar cualquier solución, ya que, aunque el período de vida útil de las soluciones no va a ser de 80 años, si que se producirá un aumento del nivel del mar aunque en niveles inferiores. El período de vida útil elegido es para los próximos 25 años, llegando casi hasta el año 2050. La CHJ( Cuenca Hidrográfica del Júcar) estima un aumento de 20cm en 2050 para la costa de Denia, basándose en los datos ofrecidos por la NASA y la IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Cahnge)

## 2.8 Influencia del cambio climático

El cambio climático es una realidad. Desde la llegada de la revolución industrial las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) se han disparado hasta niveles inimaginables. El cambio climático ya no es solo un problema ambiental, es también un problema económico y social.

El Informe de Síntesis del Quinto Informe de Evaluación del IPCC, publicado en noviembre de 2014, concluye que:

*"la influencia humana en el sistema climático es clara y va en aumento, y sus impactos se observan en todos los continentes. Si no se le pone freno, el cambio climático hará que aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles en las personas y los ecosistemas. Sin embargo, existen opciones para la adaptación al cambio climático, y con actividades de mitigación rigurosas se puede conseguir que los impactos del cambio climático permanezcan en un nivel controlable, creando un futuro más claro y sostenible".*

A pesar del conocimiento que tenemos hoy en día sobre el cambio climático, aquí se recogen unas de las consecuencias más representativas del cambio climático:

- Aumento de la temperatura global.
- Aumento del nivel del mar.
- Cambio de precipitaciones según la zona del planeta.
- Disminución de agua dulce en el planeta.
- Aumento de pandemias y enfermedades debido a la aparición de nuevos microorganismos.
- Deforestación y desertización de hábitats naturales.
- Extinción de numerosas especies.



Como podemos observar, hoy en día, en pleno 2021 y aquí en España estamos viviendo claramente los efectos de este cambio climático con la llegada de precipitaciones en forma de tormentas como las DANA's vividas en 2019 y 2020. El notable aumento de las temperaturas en verano, las sequías vividas en zonas dónde habitualmente no eran comunes, la llegada de la pandemia del COVID-19... Estos efectos no son una mera coincidencia, son los efectos directos del cambio climático que estamos viviendo desde la década de 1950 y que cada vez va a más.

Se podría estar escribiendo días y días sobre el cambio climático, pero centrándonos en este estudio vamos a tratar de acotar los aspectos más relevantes y la influencia que está teniendo el cambio climático en la **playa de Las Marinas** y los efectos que tendrá a largo plazo.

Efectos:

- Aumento del nivel del mar.
- Aumento de la temperatura del mar.
- Disminución de aporte sólido como consecuencia de la disminución de precipitaciones en la cuenca hidrográfica.
- Aumento de daños como consecuencia de la mayor existencia de fenómenos meteorológicos.
- Pérdidas económicas en caso de desaparición de efectos negativos en la playa que puedan afectar al turismo.

Uno de los efectos climáticos que mayores consecuencias puede tener, a pesar de que *a priori* no sea un efecto directo sobre la línea de la orilla, es el aumento de la temperatura del mar.

Un 3% del fondo del mar mediterráneo está ocupado por praderas de **Posidonia oceánica**, un elemento clave para la biodiversidad del entorno y para evitar la regresión de la línea de costas. La posidonia se trata de una especie vital ya que desempeña un papel fundamental debido a su aporte de oxígeno, producción y exportación de biomasa, sirve como refugio para los peces, y especialmente:

- Actúa como barrera, atenuando la fuerza de las corrientes y de las olas y previniendo por tanto la erosión costera.
- Consolida los fondos de las costas y ayuda a contrarrestar un excesivo transporte de sedimentos debido a las corrientes costeras.

Debido a que la pradera de posidonia constituye la "comunidad clímax" del Mediterráneo, ha sido catalogada como "hábitat prioritario" en el anexo I de la *Directiva Hábitat* (Dir. n.º 92/43/CEE), una ley que reúne todos los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) que necesitan ser protegidos.

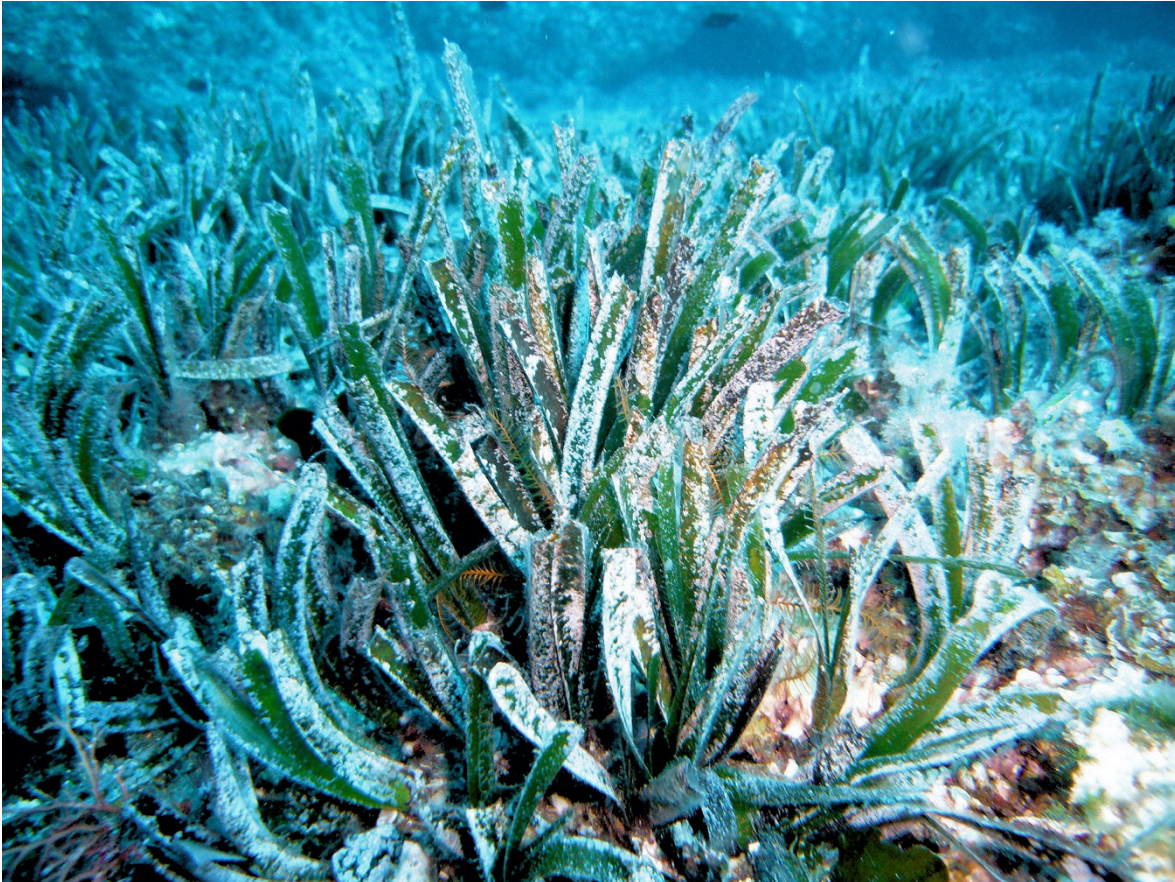


Figura 25. Posidonia oceánica. Fuente: Wikipedia.org

En la playa de Las Marinas, existe una serie de praderas que se encuentran a escasos 50m de la orilla, en los últimos años también se ha reducido considerablemente la cantidad de posidonia en la zona. Durante el otoño, la posidonia se desprende de gran cantidad de sus hojas, que se depositan entre la zona de pradera sumergida y el límite de la zona de lavado; dependiendo del oleaje, una parte importante del material vegetal es transportado a la playa, donde se acumula formando bermas. Estas acumulaciones de "hojarasca" son retiradas a menudo con la llegada de la Semana Santa para "dejar las playas limpias para la llegada del turismo", según dicen los ayuntamientos.

Un estudio llevado a cabo por el doctor en Geografía y Geología Francesc Roig, en colaboración con los investigadores de la UIB, Antonio Rodríguez Perea, José Ángel Martín y Bernadí Gelabert, analiza los volúmenes de sedimento retirados mediante la gestión mecánica de las bermas de posidonia retiradas en 19 playas de Baleares entre el 2010 y el 2018, cuantificando el volumen total en 39.343 m<sup>3</sup>, con un 82,1 % de sedimento intercalado, lo que equivale a una pérdida de arena de 27.583 toneladas. Estos datos coinciden con el estudio de **Cuantificación de la pérdida de sedimento por la retirada mecánica de bermas (banquettes) de posidonia en las playas de las islas baleares: consecuencias geomorfológicas**, publicado a la Revista de la Sociedad Geológica de España, dónde también se analizan 68 muestras de acopios de bermas de posidonia almacenadas en las orillas de las playas de las Islas Baleares y se obtiene como resultado que casi un 89% del material retirado es arena.

**«En lugar de aplicar medidas de recuperación, de mantenimiento y de estabilidad, hipotecamos las playas para que sean estéticas»,**

Francesc Roig (doctor en Geografía y Geología) para el periódico El Mundo.



### 3. ZONIFICACIÓN PARA LA ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN

La distintas estrategias de posibles actuaciones en la zona abarcan el tramo comprendido entre la punta dels Molins y la playa de Punta del Raset. Esto incluye la playa de Les Bovetes, la playa de las Marinas y la playa de Punta del Raset. A pesar de que el tramo afectado y que se quiere regenerar se encuentra en la playa de Las Marinas, se planteará la posibilidad de hacer actuaciones en estos dos tramos de playa colindantes para que sus efectos se observen en el tramo más afectado.

La zona de actuación incluirá todo el espectro del dominio público marítimo-terrestre, incluyendo la ribera del mar y las aguas someras de su proximidad.

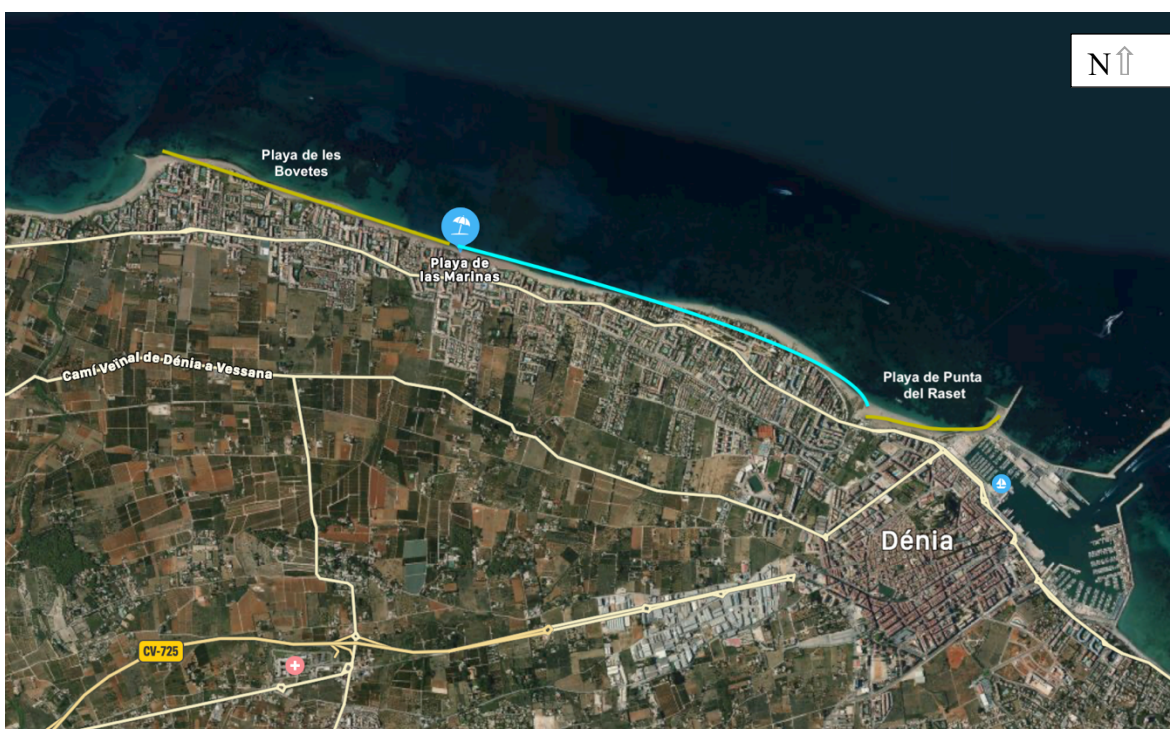


Figura 26: Zona de actuación. Fuente: Maps.com

A continuación se muestra una imagen aérea extraída de la web del Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico en el que a través de un visor interactivo se puede apreciar el deslinde de DPMT (dominio público marítimo terrestre) en cualquier zona de la costa española. Centrados en nuestra zona de actuación, se puede obtener de una forma más precisa la línea de DPMT y la línea de SP (servidumbre pública) que se hayan actualmente en tramitación. Dependiendo de lo que dicten los tribunales, se podrán tomar medidas de expropiaciones de viviendas o restaurantes de la zona. Las actuaciones de este estudio se basarán en la línea de DPMT con opción a incluir el área de SP en caso de que fuera necesario y supusiera una mejora considerable para la regeneración de este tramo de costas.

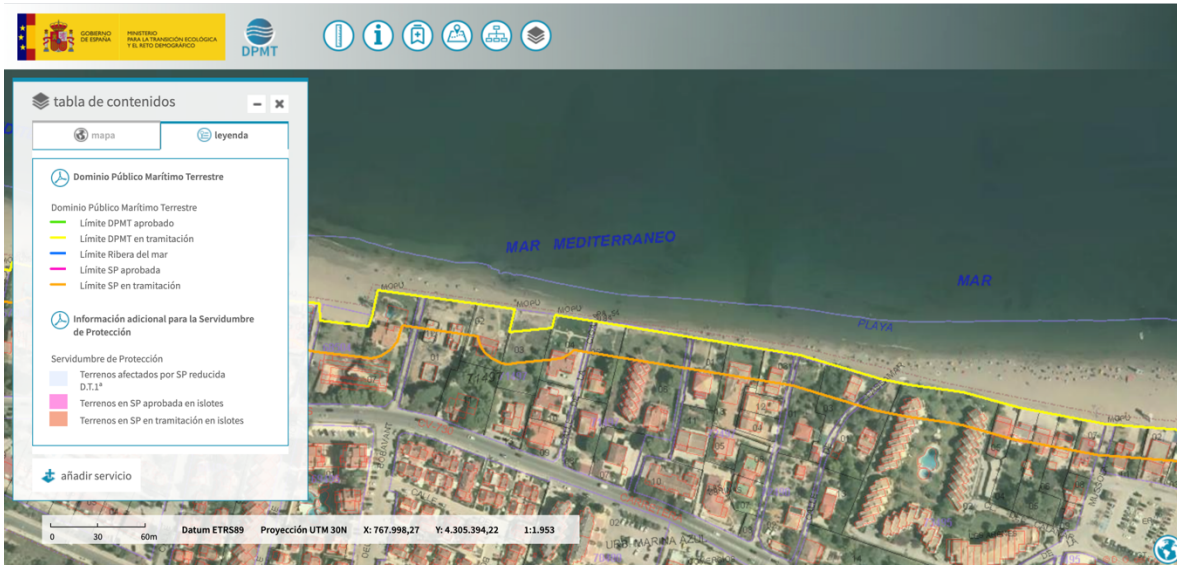


Figura 27: Deslinde DPMT y SP. Fuente: miteco.gob.es

## 4. ESTUDIO DE SOLUCIONES

A continuación se proponen una serie de soluciones que son fruto de los resultados que se han obtenido en proyectos parecidos y de la investigación y la implantación de nuevas soluciones.

### **- BATERÍA DE ESPIGONES TRANSVERSALES + APORTE ARENA**

La primera de las soluciones planteadas supone la creación, o en este caso remodelación y adaptación de la batería de espigones que se encuentra en la playa de las Marinas. Es una medida un tanto contradictoria y aparentemente un poco anticuada, puesto que ya se llevó a cabo en la década de 1970 y no consiguió solucionar el problema a largo plazo. A pesar de ello será estudiada por ser una de las medidas más recurrentes a lo largo de la historia.

Esta medida supondría una formación de 10 espigones transversales de escollera convencional que serían separados una distancia de 100m entre ellos y con una longitud de 70m aproximadamente. En caso de que esta fuera la solución elegida, se detallaría diámetro y peso de la escollera, sección del espigón.

### **- ESPIGÓN EXENTO + APORTE ARENA + REGENERACIÓN DUNAR( HAY QUE VER SI IMPLICA RETRANQUEO DE CIERTAS VIVIENDAS O COMO SOLUCIONAR LAS DUNAS)**

Otra posible solución pasa por reacondicionar el dique exento que se encuentra a 280m de la línea de costas y ayudar a la regeneración mediante una regeneración dunar (siguiendo los pasos del documento de regeneración dunar que podemos encontrar en la web [miteco.gob.es](http://miteco.gob.es)), que estaría basada en una regeneración del perfil dunar que sería de gran ayuda para la playa y que además no supondría un perjuicio para el medioambiente si no que supondría un impacto climático positivo. Esta medida podría generar unas posibles expropiaciones en primera línea de playa para continuar con el cordón dunar que si que se encuentra a unos cientos de metros al sureste de este tramo de playa.

### **- DIQUE EXENTO PERMEABLE(CUBÍPODOS) + REGENERACIÓN DUNAR+ PEQUEÑO APORTE DE ARENA**

En esta solución se plantea mantener el dique exento que se encuentra en la zona y generar una serie de diques exentos a lo largo de la línea de costa para tratar de generar unas especie de barrera al oleaje. Estos nuevos diques exentos estarían formados por Cubípodos, dotándoles de una permeabilidad que fomentará la vida subacuática. En esta opción se incluye una repoblación de la posidonia, no solo para mitigar los efectos causados por la colocación de los diques exentos de Cubípodos, si no también porque se trata de un elemento fundamental en la vida de una playa y supone una gran ayuda a la regeneración del frente litoral. Se planteará la opción de un pequeño aporte inicial de arena.

### **- NO HACER NADA HASTA QUE SE ESTABILICE LA ZONA**

A pesar de que a simple vista parece una opción inviable, desde un punto de vista naturalista y medioambiental se puede pensar que el propio futuro generará un equilibrio en la costa con el paso del tiempo. Asumiendo sus consecuencias y el hecho no tomar acciones.

### - ¿ACTUAR SOBRE EMBALSES Y RIOS? PARECE POCO PROBABLE LA ELIMINACIÓN DE EMBALSES PERO SE PUEDEN UTILIZAR SUS SEDIMENTOS

Eliminación parcial de pequeños embalses que estén reteniendo sólidos y que evitan que estos lleguen a la playa. Reacondicionamiento de los cauces que desembocan en la zona de estudio.

El estudio de soluciones finaliza con una tabla comparativa en la que se valoran diferentes criterios fundamentales para la elección más apropiada de la solución. Estos criterios son: economía, impacto medioambiental, impacto visual y social, durabilidad y efectividad.

A la hora de asignar valores a estos criterios para cada una de las alternativas se ha tenido una escala del 1 al 10 en función de si su aportación a este criterio era positiva o negativa. La alternativa elegida ha sido la que ha obtenido una menor puntuación, o visto de otra forma la que ha tenido un menor impacto en términos generales. Por ejemplo, a las alternativas con un coste económico alto se les ha dado una mayor puntuación en el criterio económico y las que tenían un impacto medioambiental positivo o nulo se les ha dado una puntuación baja, favoreciendo así a las alternativas que en cálculos globales tengan una menor puntuación.

SOLUCIONES	IMPACTOS						TOTAL
	COSTE	IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	SOCIAL	VISUAL	EFFECTIVIDAD	DURABILIDAD	
BATERÍA ESPIGONES TRANSVERSALES + APORTE DE ARENA	7	7	8	10	8	1	41
ESPIGÓN EXENTO+ REG.DUNAR	6	6	3	1	3	2	21
DIQUE PERMEABLE CUBÍPODOS + REG.DUNAR + APORTE ARENA	7	4	2	1	3	2	19
NO HACER NADA	0	10	10	8	5	5	38
ACTUACIÓN EMBALSES Y RIOS	9	6	6	1	9	3	34

Figura 28: Sumatorio impactos estudio de soluciones y resultado final. Fuente: Elaboración propia.

De las diversas alternativas, la que ha obtenido una menor puntuación y por tanto ha sido elegida como la mejor opción y la más eficaz es la opción de crear una serie de diques exentos permeables de Cubípodos junto con un sistema de regeneración dunar avalado y recomendado por el Ministerio de Transición Ecológica del gobierno de España y un pequeño aporte de arena inicial para consolidar la zona.

En el siguiente apartado se desarrollará con más detalles la solución escogida.



## 5. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

### 5.1 Introducción

Como resultado del estudio de soluciones, la solución escogida para realizar la regeneración de la playa de Las Marinas en Denia es la opción de crear una serie de diques exentos permeables de Cubípodos junto con un sistema de regeneración dunar avalado y recomendado por el Ministerio de Transición Ecológica del gobierno de España y un pequeño aporte de arena inicial para consolidar la zona. Para ello se va a desarrollar con más detalle esta solución.

En primer lugar se va a explicar qué es un dique exento y cuáles son sus funciones junto con sus ventajas y deventajas.

Los diques exentos o rompeolas son obras marítimas rectilíneas situadas normalmente paralelas a la línea de costa y a cierta distancia de la orilla que tratan de reproducir los efectos de dinámica litoral que provocan estructuras naturales como arrecifes o islas cercanas a la costa. Su principal objetivo es la protección y estabilización de una zona de la playa contra la acción del oleaje incidente y la energía que este lleva asociada modificando la altura de las olas y su dirección de propagación, por medio de la difracción del oleaje en los extremos de la estructura. Las estructuras pueden colocarse de forma individual o generando una serie de diques en función de la longitud de playa que se quiera proteger.

Su propio nombre indica que se encuentran alejadas de la costa pero sus efectos son perceptibles en la costa en función de la distancia a la que se encuentren de estas, pudiendo tener un efecto completo o un efecto parcial. Si la sedimentación provocada por estos diques alcanzara la obra exenta, se formaría una acumulación de arena que recibe el nombre de tómbolo.



Figura 29: Formación de tómbolos en la playa de Benicassim, Castellón. Fuente: maps.apple.com

## 5.2. Funciones de los diques exentos:

En este apartado hay que recalcar que hay diques exentos que sirven para proteger la costa, pero que hay otros tipos de diques exentos cuya finalidad es bien distinta. Hay diques exentos que se forman para mejorar las condiciones de las actividades pesqueras o incluso la creación de unas zonas especiales para la práctica de surf. A pesar de que en este caso se va a emplear el dique exento para la protección y regeneración de las playas, qué es su función principal, a continuación se muestra ejemplos de diques exentos ya colocados en otras playas.

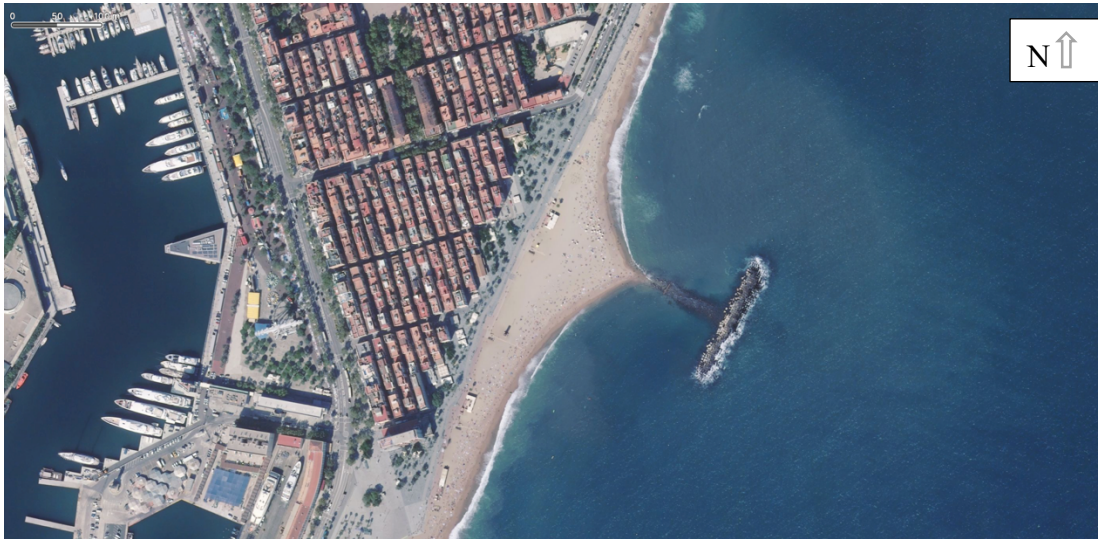


Figura 30: Ampliación de la playa de la Barceloneta, Barcelona. Fuente: [maps.apple.com](https://maps.apple.com)

En este caso, la creación del dique no está pensada para una protección de la línea de costas, si no para un aumento de la superficie de la arena para albergar la cantidad de visitantes que acuden a la playa cada día.

A diferencia de los espigones transversales, cuya finalidad es prácticamente la misma que la de los diques exentos, estos no suponen una barrera al transporte longitudinal de sólidos siempre y cuándo no se formen tómboloes y únicamente se amplie la zona de arena. Por ello es muy importante la distancia a la que se encuentran de la línea de arena, ya que de ella y del volumen de sólidos que se muevan, dependerá la formación de tómbolos o el paso del transporte sólido longitudinal.

Como resumen de las funciones de estos diques exentos encontramos las siguientes:

- Protección de un tramo concreto de costa sobre los efectos del oleaje que incide sobre ella.
- Favorecer la aparición de una nueva playa o aumento de su tamaño debido a la estimulación natural del sedimento arenoso.

- Proteger del oleaje a las instalaciones que se encuentren en la propia playa o en sus inmediaciones reducción la altura del oleaje que le llgue a esta.
- Aumento de la durabilidad de los aportes de sedimentos a una playa en tramos de regeneración de costas.
- Frenar e impedir la erosión de una zona.

### 5.3. Tipologías:

Dentro de los diques exentos encontramos diversas tipologías que son representadas en función de: su cota de coronación y de su composición estructural.

De la Peña y Sánchez(2008) hicieron una pequeña clasificación en función de su cota de coronación:

- o Diques exentos sumergidos: No producen ningún efecto visual en el entorno debido a que su francobordo se encuentra por debajo del nivel del mar.

$$R_c < 0m$$

- o Diques exentos bajos: Restan algo de visión del mar porque su francobordo es positivo pero no mayor de 1,5m, altura teórica de referencia visual para un humano. Se aprecia el mar más allá del dique.

$$R_c < 1,50m$$

- o Diques exentos medios: Obstaculizan la visión del mar cuando el observador se encuentra en la orilla, pero en la playa seca permite ver bien el mar. El francobordo de este tipo de diques estará comprendido entre 1,50 metros, la altura de los ojos del observador, y la altura de la berma más 1,50 metros.

$$1,50 < R_c < 1,50 + h_{berma}$$

- o Diques exentos altos: obstaculizan totalmente la vista desde la playa puesto que su francobordo es superior a 1,5m más la altura de la berma.

$$R_c > 1,50 + h_{berma}$$

Para este proyecto se ha elegido la opción de dique exento sumergido puesto que no genera impacto visual, necesita un volumen menor de material y por tanto un coste menor, permite el flujo de agua por encima de su francobordo con lo que genera

un flujo que favorece la biodiversidad y no es necesario que tenga una altura mayor puesto que no es una zona en la que se sufran oleajes de gran altura.

Otra de las clasificaciones en las que se pueden clasificar los diques exentos es en función de su **tipología estructural**. Pueden estar contruidos por capas, por material homogéneo o formados únicamente por un tipo de material.

Dentro de la tipología de diques homogéneos podemos encontrar los diques arrecife o “*tipo Ahrens*” formados por material rocoso natural de tamaño medio, los formados únicamente por elementos prefabricados de hormigón y, por último, los diques modulares, estos consisten en módulos prefabricados de hormigón a los que se les otorga un perfil de dique exento.

Los diques formados por estructuras prefabricadas de hormigón tienen su origen en 1950 con la aparición del Tetrapod, desde entonces se han creado decenas de piezas con distintas formas y volúmenes para formar parte de los mantos monocapa en los diques convencionales o directamente para formar exclusivamente un dique a partir de estas piezas.



Figura 31: Piezas especiales de hormigón prefabricado. Fuente: [science.direct.com](http://science.direct.com)

La solución contemplada para la formación del dique exento se trata de un dique formado única y exclusivamente por Cubípodos, sin manto ni núcleo. Al tratarse de un dique formado exclusivamente por cubípodos, se permite el flujo en el interior de los huecos que se forman entre estos, esto promueve la biodiversidad y la oportunidad de generar un ecosistema (pequeño arrecife) en el propio dique. Como consecuencia de la formación de este ecosistema en el propio dique, se va a promover también la regeneración de la posidonia en el trasdós del dique, desde el dique hacia la costa. Cabe recalcar la importancia de la posidonia en los bioindicadores de la playa y en su función regenerativa y de contención frente a la erosión.



## 5.4. Cálculo estructura de defensa:

### 5.4.1. Cálculos previos:

En primer lugar y teniendo en cuenta que la estructura de defensa se apoyará sobre el lecho marino a una profundidad igual al punto de profundidad de cierre, que se ha calculado en el apartado 2.5 , y que resulta ser de 6,4m de profundidad, se ha de calcular el periodo de retorno de la obra para poder diseñarla. Para ello emplearemos la ecuación basada en la vida útil y probabilidad conjunta de fallo.

$$P_{n,v} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^V$$

Donde  $P_{n,v}$  es la probabilidad conjunta de fallo;  $T_r$  es el periodo de retorno del temporal de cálculo (años) y  $V$  es la vida útil mínima (años).

El capítulo 2 de la normativa ROM 1.0-09 representa en forma de tabla los valores de IRE e ISA, y se proponen para el diseño los valores de la vida útil y la probabilidad conjunta de fallo en función del tipo de área abrigada o protegida.



Figura 32: Dique cubípodos del Puerto de Málaga. Fuente: abc.es

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA		ÍNDICE IRE 7		VIDA ÚTIL MÍNIMA (V <sub>m</sub> ) 7 (años)
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTO COMERCIAL	Puertos abiertos a todo tipo de tráfico	r <sub>3</sub> Alto	50
		Puertos para tráfico especializados	r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>1</sup> Medio (alto) <sup>1</sup>	25 (50) <sup>1</sup>
	PUERTO PESQUERO		r <sub>2</sub> Medio	25
	PUERTO NÁUTICO-DEPORTIVO		r <sub>2</sub> Medio	25
	INDUSTRIAL		r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>1</sup> Medio (alto) <sup>1</sup>	25 (50) <sup>1</sup>
	MILITAR		r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>2</sup> Medio (alto) <sup>2</sup>	25 (50) <sup>2</sup>
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O DE MÁRGENES		r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>3</sup> Medio (alto) <sup>3</sup>	25 (50) <sup>3</sup>
	ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES <sup>4</sup>		r <sub>3</sub> Alto
PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>5</sup> Medio (alto) <sup>5</sup>	25 (50) <sup>5</sup>	
PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		r <sub>1</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>6</sup> Bajo (alto) <sup>5</sup>	15 (50) <sup>7</sup>	
REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		r <sub>1</sub> Bajo	15	

Figura 33: Vida útil mínima exigida. Fuente: ROM 0.1-09

Obteniendo los datos de la ROM, se determina una vida útil mínima para áreas litorales en regeneración y defensa de playas de 15 años.

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE ISA	P <sub>IELU</sub>	P <sub>FELS</sub>	
ÁREAS PORTUARIAS	COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique <sup>1</sup>	Mercancías peligrosas <sup>2</sup>	s <sub>3</sub> Alto	0.01	0.07
			Pasajeros y Mercancías no peligrosas <sup>1</sup>	s <sub>2</sub> Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique		s <sub>1</sub> No significativo	0.20	0.20
	PESQUERO	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s <sub>2</sub> Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s <sub>1</sub> No signif.	0.20	0.20
	NÁUTICO-DEPORT.	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s <sub>2</sub> Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s <sub>1</sub> No signif.	0.20	0.20
	INDUSTRIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique <sup>1</sup>	Mercancías peligrosas <sup>2</sup>	s <sub>3</sub> Alto	0.01	0.07
			Mercancías no peligrosas	s <sub>2</sub> Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique		s <sub>1</sub> No significativo	0.20	0.20
	MILITAR	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique <sup>1</sup>		s <sub>3</sub> Alto	0.01	0.07
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s <sub>1</sub> No signif.	0.20	0.20
PROTECCIÓN *	Con zonas de almacenamiento adosadas al dique <sup>1</sup>	Mercancías peligrosas <sup>2</sup>	s <sub>3</sub> Alto	0.01	0.07	
		Mercancías no peligrosas	s <sub>2</sub> Bajo	0.10	0.10	
ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES <sup>3</sup>		s <sub>4</sub> Muy alto	0.0001	0.07	
	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		s <sub>2</sub> (s <sub>3</sub> ) <sup>4</sup> Bajo (alto) <sup>5</sup>	0.10	0.10	
				0.0001	0.07	
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		s <sub>2</sub> (s <sub>4</sub> ) <sup>5</sup> Bajo (muy alto) <sup>5</sup>	0.10	0.10	
				0.0001	0.07	
REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		s <sub>1</sub> No signif.	0.20	0.20		

Figura 34: Probabilidad conjunta de fallo. Fuente: ROM 0.1-09

Por tanto, para áreas litorales y regeneración y defensa de playas, se define un índice ISA no significativo y la estructura estudiada tendrá una probabilidad conjunta de fallo de 0,20.

Empleando la ecuación anterior, con una probabilidad conjunta de fallo de 0,2 y una vida útil mínima exigida de 15 años, se obtiene un periodo de retorno de 68 años.

#### 5.4.2. Tamaño de los cubípodos:

Una vez conocido el periodo de retorno se puede obtener la probabilidad de excedencia en un año de la altura de ola buscada para diseñar el dique, siendo esta probabilidad del 1,5%. Gracias a la línea de tendencia que define la probabilidad de excedencia del régimen extremal a pie de dique, para una probabilidad de excedencia de 0,015, la altura de ola de cálculo buscada será  $H_{cal} = 4,85m$  **4m** metros. Esta altura de ola es la  $H_{s0}$  = Altura de ola significativa en profundidades indefinidas.

El cálculo del diámetro nominal  $D_n$  requerido para la ubicación se realizará mediante una equivalencia entre el número de estabilidad ensayado en el laboratorio y el número de estabilidad de la obra final. El número de estabilidad se definía con la siguiente ecuación:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta \cdot D_n}$$

siendo  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{\rho_r - \rho_w}{\rho_w} = \frac{\rho_r}{\rho_w} - 1$$

Donde  $H_s$  es la altura de ola (m);  $\Delta$  es la densidad flotante relativa (-);  $\rho_r$  es la densidad del material que forma el manto (g/cm<sup>3</sup>);  $\rho_w$  la densidad del agua (g/cm<sup>3</sup>) y  $D_n$  el diámetro nominal de los cubípodos(m).

Siguiendo los datos de *Medina et al.* y el *Estudio de la estabilidad hidráulica de diques exentos homogéneos de baja cota de Cubípodos. Aplicación a la protección de la Playa Bávaro en la República Dominicana*. Realizado por Víctor Brisa basado en los ensayos físicos 2D en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), sobre tres tipos de estructuras: HLCS-A1, HLCS-B5 y HLCS-C3, compuestas por una, cinco y tres capas de Cubípodos respectivamente. Se obtiene que Sabiendo que la densidad del agua de los ensayos es de 1 g/cm<sup>3</sup>, el diámetro nominal de las piezas es de 3,79 cm y que la densidad de las piezas es de 2,30 g/cm<sup>3</sup>, se obtiene un número de estabilidad para la estructura B de  $N_s = 2,10$  y para la estructura C de  $N_s = 1,75$ . Siendo la estructura B la compuesta por 5 capas de cubípodos y la C la compuesta por 3 capas de cubípodos.

Cabe destacar que la opción de una estructura compuesta por una única capa de cubípodos queda descartada principalmente por dos motivos:

- Presenta mayor coeficientes de transmisión.



- No proporciona las condiciones idóneas de porosidad e iluminación heterogénea para el desarrollo de la biodiversidad.

Sabiendo que la densidad del agua del mar mediterráneo es de 1,028 g/cm<sup>3</sup> y utilizando la altura de ola de cálculo obtenida anteriormente (Hcal = 4 m) se puede obtener el diámetro nominal para cada tipo de estructura de la siguiente manera:

$$2,1 = \frac{0,78 \cdot 4 \text{ o } 4,85}{\left(\frac{2,3}{1,028} - 1\right) \cdot D_n(B)}$$

$$1,75 = \frac{0,78 \cdot 4 \text{ o } 4,85}{\left(\frac{2,3}{1,028} - 1\right) \cdot D_n(C)}$$

Obteniendo unos valores de Dn (B) = 1,2 metros y Dn (C) = 1,44 metros. Para decidir con qué tipo de estructura realizaremos la obra se aplicará el concepto de coeficiente de capa definido por De Keyser y Jacobs (2020) y que se emplea para determinar, en función del tipo de malla la coronación de la estructura.

Layer coefficient	T 1.58 ; 1.27	T 1.27 ; 1.58	T 1.6 ; 1.3	R 1.4 ; 1.3	R 1.4 ; 1.5	R 1.5 ; 1.5
Layer 1	1.30	1.31	1.31	1.32	1.30	1.28
Layer 2	1.07	1.05	1.05	1.05	0.95	0.89
Layer 3	0.98	0.94	0.94	0.94	0.86	0.81
Layer 4	0.97	0.94	0.95	0.94	0.87	0.82
Layer 5	0.99	0.92	0.93	0.91	0.85	0.82

Figura 35: Coeficiente de capa en función de la malla del dique. Fuente: De Keyser & Jacobs, 2020

Los ensayos realizados por la Universidad Nacional Autónoma de México determinaron la validez de la malla 1,58;1,27. Por tanto, teniendo en cuenta las capas de cada estructura y multiplicando cada coeficiente por el diámetro nominal, se obtiene una cota de coronación para la estructura B de 6,4 metros y para la estructura C de 4,83 metros.

Con estos datos queda descartada la estructura B (con 5 capas de cubípodos) debido a su gran altura y al gran impacto visual que este tendría.

Dado que el dique exento se colocará siguiendo una línea paralela a la costa y entre las batimétricas de 4m y 5m (debido a las pequeñas variaciones batimétricas que se encuentran en la zona), se escoge la opción C (tres capas de cubípodos) de estructura de dique, por lo que su altura de 4,83m y ,por tanto, quedará sumergida e gran parte de su recorrido o emergerá no más allá de 1m por encima del nivel del mar, con lo que no afectará a la vista desde la costa. El dique será perfectamente balizado para evitar posibles accidente náuticos causados por impactos contra el dique. Cada cubípedo tendrá un peso de 6,86Tn.

### 5.4.3. Longitud del dique y número de diques:

El primer aspecto importante a tener en cuenta es el hecho de construir un único dique continuo o una serie de diques con separaciones entre ellos. El tramo dónde se quiere colocar el dique consta de 3km de longitud, a continuación se muestra una tabla dónde se especifica la longitud y la separación de los diques para evitar la formación de tómbolos.

CONDICIONES PARA LA FORMACIÓN DE TÓMBOLOS		
Expresión analítica	Respuesta producida	Fuente y año
$L / y > 2$	Doble tómbolo	Gourlay (1981)
$L / y > 0,67 - 1$	Tómbolo (aguas someras)	Gourlay (1981)
$L / y > 2,5$	Tómbolo periódico	Ahrens y Cox (1990)
$L / y > 1,5 - 2$	Tómbolo	Dally y Pope (1986)
$L / y > 1,5$	Tómbolo (conjunto de diques)	Dally y Pope (1986)
$L / y > 1$	Tómbolo (dique aislado)	Suh y Dalrymple (1987)
$L / y > 2G/L$	Tómbolo (conjunto de diques)	Suh y Dalrymple (1987)
L: Longitud del dique exento y: Distancia del dique a la posición inicial de la línea de costa G: Separación entre diques exentos alineados		

Figura 36: Condiciones formación tómbolos. Fuente: [upcommons.upc.edu](http://upcommons.upc.edu)  
Gourlay (1981), Ahrens y Cox (1990), Dally y Pope (1986), Suh y Dalrymple (1987).

$$\frac{200}{1000} < \frac{2 \cdot 300}{200}$$

Para una longitud de dique de 200m y una separación entre estos de 300m, no se formarán tómbolos tal y como se pretende evitar. Por tanto se colocarán 6 diques de 200m de longitud para proteger la zona, estos diques estarán separados 300m entre ellos y se hallarán a una distancia de la costa de 300m, aproximadamente dónde se encuentra la línea batimétrica de 4m de profundidad. Dado que la estructura tendrá 4,8m de altura, en algunos puntos en los que la línea que siguen los diques tenga una batimetría inferior a 5m, la cimentación de estos diques se hallará a los 4m de profundidad, siendo necesario una pequeña excavación puntual en alguno de los diques, esta excavación no será mayor de 1m en ningún punto por lo que no supone un inconveniente.

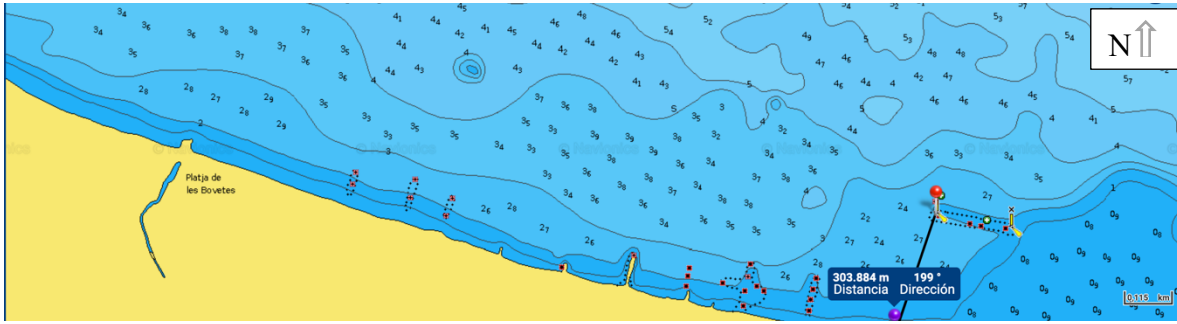


Figura 37: Distancia del dique a la costa y batimetría. Fuente: navionics.com

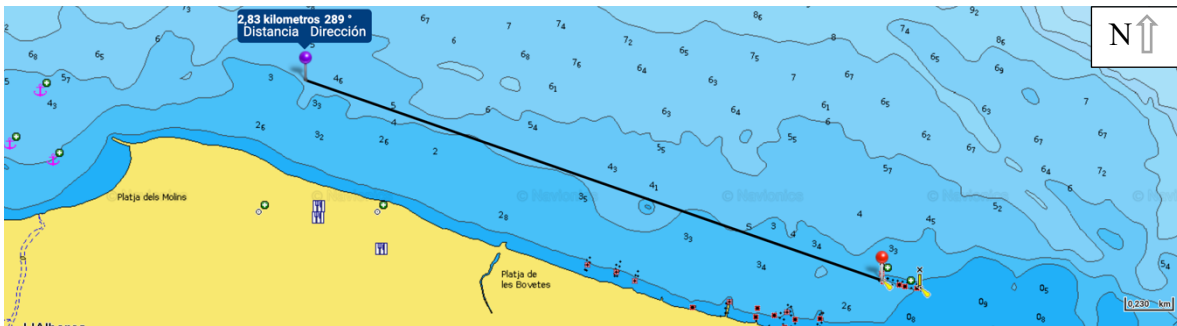


Figura 38: Longitud dique y batimetría. Fuente: navionics.com

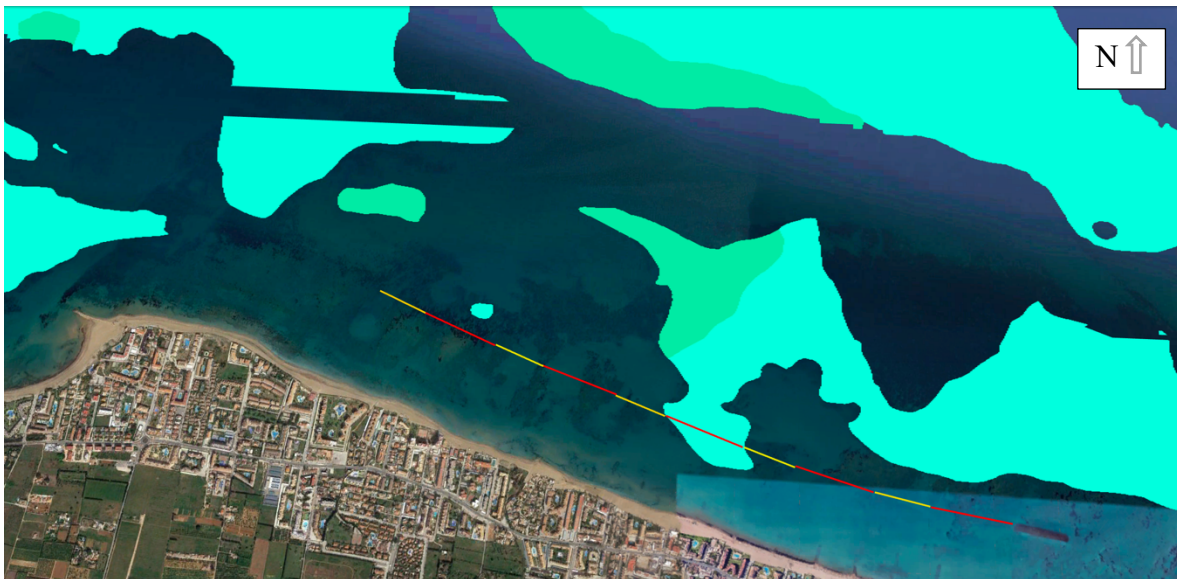


Figura 39: Vista aérea disposición diques y mapa de posidonia. Fuente: Elaboración propia y miteco.gob.es

Cabe destacar que la longitud completa del dique es de 3km, aunque se contabiliza también el dique exento ya construido, con una longitud de 200m. A partir de este, se dejará una distancia de 300m entre diques para evitar la formación de tómbolos en la orilla y comenzará la secuencia de 5 diques exentos de cubípodos con 200m de longitud y 300m de separación entre ellos. Tal y como se puede observar en la figura anterior, se ha tratado de respetar al máximo las praderas de posidonia que se encuentran en la zona, haciendo coincidir los huecos de separación con los tramos en los que se encuentran praderas de posidonia, vitales para la regeneración de esta playa.

Al respetar estas praderas y no construir los diques sobre estas, se consigue generar un espacio protegido dónde estas praderas de posidonia podrán crecer, regenerarse y suponer una clara ayuda a la regeneración del hábitat ayudando también a evitar la erosión.

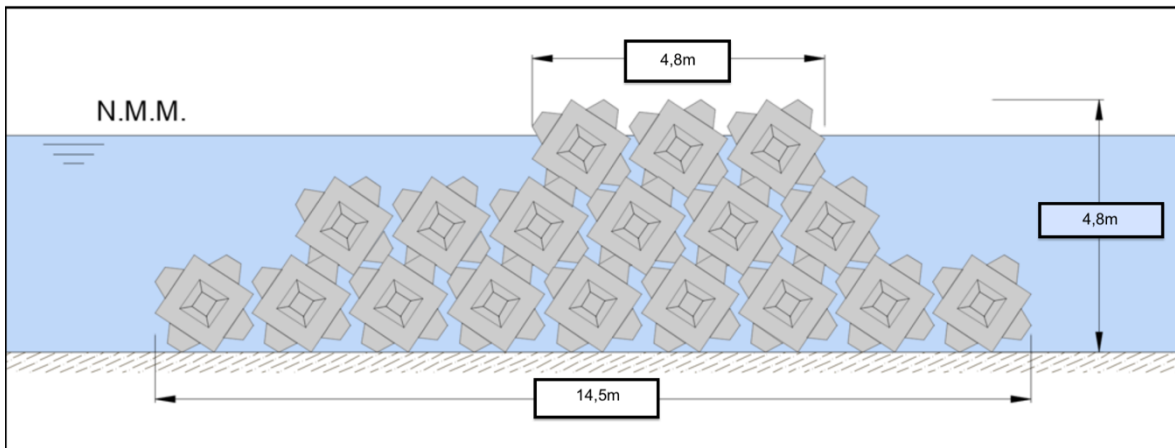


Figura 40: Esquema perfil dique exento. Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que el dique se colocará entre las batimétricas 4m y 5m para estar situado antes de la profundidad de cierre, que en este caso se halla a 6,4m. Así se conseguirá evitar que se pierda arena y que por tanto la playa se siga erosionando. Esto no solo ayudará a que se almacene arena en la orilla, si no que también hará de barrera protectora frente a temporales evitando que estos se lleven la arena que ya se encuentra en la playa junto a la que se pueda aportar en un futuro.

#### 5.4.4. Aporte de arena

Según la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar en su estudio de la Ecocartografía de Valencia (2007), el sedimento de la playa de Las Marinas tiene un tamaño medio ( $D_{50}$ ) de 0,31mm y una anchura media de 40m, siendo nula en algunos puntos como el del tramo crítico del Blay-Beach.

También se extrae información del "Proyecto de Recuperación de la playa de Les Deveses T.M. Dénia", dónde a fecha de 2018 se indica que el tamaño medio del sedimento ( $D_{50}$ ) es de 0,4mm. Ante estos dos criterios y teniendo en cuenta la problemática actual de la zona, se escoge un tamaño medio de árido de 0,50mm para el aporte artificial de arena a este tramo.

Para realizar el cálculo del volumen de arena a aportar se han escogido unas anchuras de 20m para la zona activa y 25m para la zona de reposo con un resguardo de 10m. Aproximadamente en los 400m de playa más críticos, correspondientes a la zona del *Blay-Beach*. Teniendo en cuenta las recomendaciones de la Dirección General de Costas en las Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM) se tendrá en cuenta para los cálculos un perfil de playa seca con pendiente del 8% para la zona activa, un 7% de pendiente para la zona de reposo y un 1,5% de pendiente para el estrán.

Para el cálculo del volumen a aportar se emplea la siguiente fórmula:

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

Siendo:

- $d$ = distancia entre secciones, se ha estimado 80m para el cálculo.
- $V$ = volumen teórico entre dos perfiles consecutivos ( $m^3$ )
- $A_n$  y  $A_{n+1}$  = área de perfiles consecutivos ( $m^2$ )
- $f_r$  = factor de relleno

Teniendo en cuenta que se trata de un aporte artificial y que no va a tener las mismas características que la arena de la playa, se tiene en cuenta un factor de relleno para amortiguar estas diferencias y posibles pérdidas de sedimento. Se estima un valor de 1,25.

El volumen total a aportar para restaurar este tramo de costa suma un total de **76.000  $m^3$** . El aporte de este árido podría ser encargado a la empresa Áridos el Vedat S.A ubicada en la localidad de Teulada por su proximidad a la obra.



## 5.4.5 Regeneración dunar

### 5.4.5.1. Introducción y situación actual

A parte de la colocación de la serie de diques exentos formados por cubípodos y del pequeño aporte de arena inicial, se ha de realizar una regeneración dunar completa en todo el tramo de la playa de Las Marinas debido a su gran deteriorización provocada en gran parte por la presión urbanística.

La regeneración del cordón dunar es fundamental para el futuro de esta playa, ya que sirve como depósito de arena y como barrera protectora frente al viento. Gana especial importancia debido a la regulación entre periodos invernales y estivales en función del oleaje y viento que se produzca. A parte de la función protectora de la playa, también supone un hábitat para la vegetación y numerosas aves que utilizan estas dunas como refugio y zona de cría.

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del gobierno de España tiene publicado un *Manual de restauración de dunas costeras* en el que se va a basar este estudio para la regeneración del frente litoral de la playa de Las Marinas T.M. Denia. Este manual se basa exclusivamente en técnicas ecológicas, por lo que supone una gran solución para el problema de erosión y además cumple perfectamente con los ODS y con el criterio medioambiental adoptado para este estudio.

*“las técnicas ecológicas, al igual que la instalación de captadores de arena para lograr una estructura topográfica adecuada y la plantación de vegetación dunar para la fijación de sus superficies, utilizan los procesos naturales para conseguir su función. En decir, el viento transporta la arena que se deposita detrás de los captadores y la vegetación se va estableciendo hasta conseguir una cobertura que permita su fijación y equilibrio. Estas dos actuaciones son los sistemas de regeneración de ecosistemas dunares más utilizados en Europa y consiguen, si previamente se logra una protección efectiva, su restauración en pocos años.”*

*“Los efectos negativos de la frecuentación humana se resuelven mediante sistemas de protección, siendo los más empleados pasarelas peatonales de acceso a las playas, cerramientos en ecosistemas dunares y eliminación del tráfico rodado sobre las dunas. La información al ciudadano cumple un importante papel en las actuaciones de protección y recuperación de espacios litorales, pues éste no suele tener conocimiento del daño que está produciendo, siendo un caso muy claro el perjuicio que produce el pisoteo sobre la duna. Por otro lado, la divulgación de las actuaciones llevadas a cabo consigue una comprensión y aceptación de los trabajos que se realizan, haciéndole al final cómplice y colaborador, lo que aumenta considerablemente el éxito de la restauración.”*

***Manual de restauración de dunas costeras.***

Estos dos extractos del *Manual de restauración de dunas costeras* resumen perfectamente los problemas que tiene esta playa y la forma en la que se pretenden solucionar, no solo actuando directamente sobre la playa si no también concienciando al ciudadano de la importancia de esta y su afección. La información y la educación son básicas para este tipo de actuaciones y conservaciones de espacios naturales.

Uno de los puntos críticos de esta regeneración dunar se encuentra en el choque entre el cordón dunar y las viviendas que están construidas en la zona, pero debido a que el deslinde publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico se encuentra en tramitación, no se puede tomar una decisión definitiva y avalada judicialmente para la expropiación de terrenos y viviendas situados sobre la línea de costas o sobre el área de servidumbre.

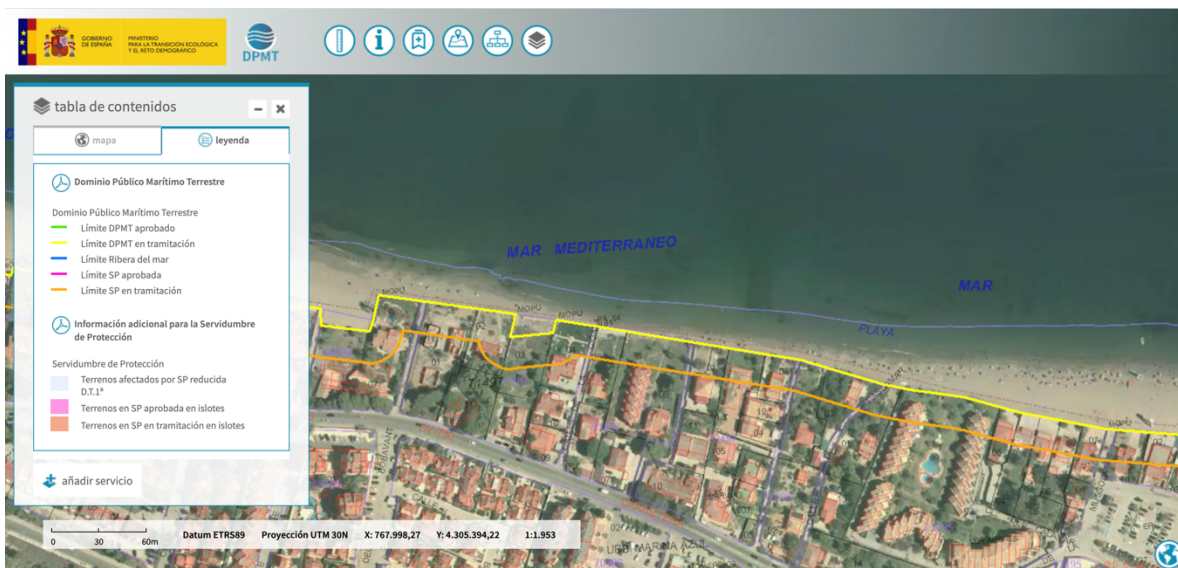


Figura 41: Deslinde DPMT y SP en tramitación. Fuente: miteco.gob.es

Por tanto, la ubicación exacta del cordón dunar queda a expensas de la decisión judicial del ministerio de aprobar o no estos límites de dominio público. En tramos como en el de la imagen anterior no se comenzaría con las obras de regeneración dunar hasta que hubiera una resolución firme. En el resto de tramos dónde si que se encuentra el cordón dunar o hay espacio necesario para realizar los trabajos de regeneración, se realizarán estos trabajos en el punto más alejado de la orilla para así conseguir un mayor espacio de playa y favorecer la regeneración del cordón dunar.

Por ello, y tal y como advierte el MITECO, en esta zona no se podrá realizar la regeneración dunar hasta eliminar/expropiar estas viviendas que afectan directamente a la posición del cordón dunar original y que están construidas sobre este.

*“Es importante recordar que todas estas actuaciones deben realizarse después de, o a la vez que se produce la eliminación total o la reducción a niveles compatibles de las causas*

*que han conducido a la alteración del sistema dunar. Sólo así podrá garantizarse el éxito de las acciones realizadas y se evitará volver a la situación anterior de degradación de las dunas costeras.”*

### ***Manual de restauración de dunas costeras.***

#### 5.4.5.2 Actuaciones:

Para la realización de la regeneración dunar se va a seguir el *Manual de restauración de dunas costeras* del MITECO:

1. Eliminación de las causas de alteración
2. Reconstrucción dunar
3. Revegetación
4. Sistemas de protección del sistema dunar
5. Sistemas de comunicación de actuaciones realizadas
6. Seguimiento durante las actuaciones de restauración
7. Seguimiento a medio plazo de la restauración
8. Mantenimiento durante los años posteriores

#### 1. Eliminación de causas de alteración:

Como se ha comentado anteriormente, en el caso de los tramos dónde hay que eliminar las viviendas que están situadas sobre el cordón dunar, no se podrá realizar hasta que no haya una decisión judicial firme.

#### 2. Reconstrucción dunar:

Se empleará un sistema de reconstrucción con captadores de arena que implica un coste menor, una morfología natural y ningún daño ambiental en comparación con una reconstrucción con maquinaria. La única desventaja frente a la reconstrucción con maquinaria sería un mayor tiempo para alcanzar el objetivo, pero que no resulta un problema considerable.

*“Los sistemas pasivos de captación de arenas son estructuras que consiguen formar depósitos gracias a la intercepción de la arena que el viento transporta, al reducir su velocidad por la fricción que ejercen. Estos sistemas son utilizados para 1) ayudar a rellenar huecos o brechas en las dunas, 2) crear cordones completamente nuevos y 3)*

*crear “cordones de sacrificio” para protección de zonas interiores de elevado valor cultural o natural para su conservación.”*

*“Su función es reducir la velocidad del viento por fricción y con ello, disminuir la carga de arena transportada, propiciando la acumulación de arena, aumentando la altura y anchura del depósito. Estos sistemas contrarrestan la erosión eólica y aportan una mayor estabilidad al depósito arenoso”*

Los captadores escogidos son captadores de mimbre, que a diferencia de los de espartina o las tablestacas de madera, generan una acumulación más regular, son mas económicos y favorecen el contenido de materia orgánica en el suelo al biodegradarse, que posteriormente favorecerá el cfecimiento de la vegetación dunar.



Tabla 6.5. Captadores de mimbre	
Descripción	
<p>Ramas de mimbre seco, hincadas verticalmente en el suelo, de una longitud media de 1,80 m, de los cuales 0,60 m van enterrados, quedando, por tanto, a una altura con respecto al suelo, de 1,20 m. Se disponen en filas paralelas entre ellas y separadas entre sí unos 8 metros.</p> <p>Se excava una zanja de 0,6 m de profundidad y una anchura de 0,4 a 0,6 m, en función de la cohesión de la arena, para evitar que los derrumbes laterales de la zanja tapen la excavación. Esta zanja se podrá efectuar mediante maquinaria (zanjadora, retroexcavadora, etc.), o por medios manuales.</p> <p>Los captadores se colocan en fila dentro de la zanja con una densidad de mimbre de 3 Kg/m. Se tapa la zanja manteniendo las varas de mimbre en posición vertical. Por último, se apisona la zona rellenada para dar más estabilidad a la empalizada.</p>	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al ser porosos son más efectivos que los sólidos, ya que estos últimos producen depósitos menos estables.</li> <li>• Estabilizan la superficie ayudando a la colonización natural.</li> <li>• Su instalación es más sencilla.</li> <li>• Su precio es menor que las tablestacas.</li> <li>• Son biodegradables, aumentando el contenido en materia orgánica del suelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tienen un impacto paisajístico considerable.</li> <li>• Son menos resistentes a fuertes inclemencias climáticas (lluvia y viento).</li> <li>• Son más endebles y menos resistentes en el tiempo que los de madera.</li> </ul>
Foto	Esquema
	

Figura 42: Captadores de mimbre. Fuente: Manual de restauración de dunas costeras. Miteco.gob.es

### 3. Revegetación

Tal y como afirma García Mora (2000), no es viable económica ni técnicamente la reintroducción de todas las especies que, en teoría, podrían componer el sistema dunar. Por ello, es necesario determinar cuales son las especies que tienen un papel fundamental sobre la dinámica eólica litoral y seleccionar un número limitado con el que se puedan conseguir los objetivos de equilibrio dinámico.

Las especies a emplear serán la grama marina (*Elymus farctus*) y el barrón (*Ammophila arenaria*), también llamadas "estructurales" (García Mora, 2000) o constructoras de dunas (Ranwell y Boar, 1986). La primera se desarrolla especialmente en las dunas embrionarias y la segunda, sobre el primer cordón dunar. Ambas especies son gramíneas perennes, con un sistema radicular muy desarrollado, adaptadas a las condiciones ambientales del litoral, capaces de dispersarse a través del viento y del agua de mar y resistentes al enterramiento en la arena.

La grama marina se empleará en los espacios dónde no exista cordón dunar y el barrón se empleará en las zonas dónde si que exista cordón dunar pero se encuentre fracturado o desestructurado como consecuencia de la presión urbanística y de las actividades humanas.

Debido a las condiciones climáticas del litoral mediterráneo, la época de plantación se llevará a cabo entre los meses de noviembre y febrero, tratando de estirar al máximo este periodo (enero-febrero) para tratar de esquivar los temporales "de gota fría" típicos del levante. Las condiciones climáticas adecuadas son condiciones de cielo cubierto y con humedad relativa alta que a parte de facilitar la adaptación de las plantas al terreno también facilitarán la apertura de los hoyos ya que la arena de la playa habrá absorbido parte de esta humedad y favorecerá la apertura de estos.

Las plantas procederán de invernadero, debido a que la densidad de plantas en el mediterráneo es baja y es bueno que las plantas tengan ya como mínimo 25cm por encima de la arena y 25cm más enterrados (mínimo total 25cm) para garantizar su correcto funcionamiento.



*Figura 43: Efecto plantación captadores de mimbre. Fuente: urdaibai.es*

#### 4. Sistemas de protección del sistema dunar

Debido a la sensibilidad al pisoteo y a la baja cohesión de la arena, las zonas de replantación quedarán protegidas mediante una serie de postes y cuerdas que eviten el acceso a pie del ser humano. Deberán mantenerse estos sistemas de protección hasta que el cordón quede completamente estabilizado e incluso se valorará la opción de una protección permanente para acceder evitar el acceso a las dunas y su consecuente deterioro.

#### 5. Sistemas de comunicación de actuaciones realizadas

Se colocarán una serie de paneles informativos en cada acceso de la playa para informar y sobre todo, concienciar a los visitantes sobre la importancia de esta actuación y su conservación para el futuro.

#### 6. Seguimiento durante las actuaciones de restauración

Se realizará un seguimiento exhaustivo para comprobar que las plantas son colocadas en su sitio, en función de si se trata de dunas embrionarias y ya plantadas directamente sobre el cordón dunar y se protegerán inmediatamente para evitar su pisoteo.

#### 7. Seguimiento a medio plazo de la restauración

Se reemplazarán las plantas muertas o afectadas por temporales y que no hayan conseguido arraigar. También se realizará un seguimiento y medición del crecimiento de las plantas y del efecto que están provocando sobre las dunas tratando de cuantificar el aumento de arena almacenada y el aumento de playa seca cada 3 meses para tratar de cuantificar la efectividad de este proyecto.

#### 8. Mantenimiento durante los años posteriores

Una vez conseguido el objetivo inicial se producirán trabajos de mantenimiento y conservación para evitar que se destruya las dunas ya generadas y volver a tener los mismos problemas de erosión y retroceso de la línea de costas.

## 6. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

A parte de las consideraciones ambientales llevadas a cabo mediante los objetivos de desarrollo sostenible (consultar Anexo IV. Objetivos de desarrollo sostenible), se han planteado otras medidas para tratar de tener un menor impacto ambiental y una mejor recuperación de la zona:

- En primer lugar se ha planteado el debate de prohibir la pesca de arrastre en la zona y realizar un mayor control, a pesar de que no es muy común en esta zona debido a su poca profundidad, cabe concienciar a los propios pescadores sobre el impacto ambiental de esta técnica y sus problemáticas, especialmente con la destrucción de la posidonia.
- Aumentar el número de boyas de amarre para evitar que las embarcaciones echen el ancla en las zonas de praderas de posidonia. Actualmente no se encuentra ninguna boya de amarre en esta zona de playa y ni siquiera está permitido que los barcos se amarren a las boyas amarillas que diferencian la zona de uso náutico de la zona de baño, por lo que todas las embarcaciones que quieren pasar un rato frente a esta playa deben de tirar el ancla y generar un impacto directo sobre las praderas de posidonia.
- Retrasar la retirada de la acumulación de algas muertas, en mayor parte posidonia, hasta que llegue el mes de mayo en el que se dan por finalizados normalmente los temporales. Esta propuesta de retraso se debe al gran efecto que provoca la retirada de estas algas muertas ya que sirven como barrera contra los temporales y que se observa que el 80% del material retirado es arena tal y como afirma un estudio llevado a cabo por el doctor en Geografía y Geología Francesc Roig, en colaboración con los investigadores de la UIB, Antonio Rodríguez Perea, José Ángel Martín y Bernadí Gelabert, lo que supone una gran cantidad de arena retirada cada año. A pesar de asumir las consecuencias turísticas de tener estas algas muertas durante la semana santa, una de las grandes impulsoras turísticas de la zona. El gobierno balear ya trata de legislar sobre este aspecto y está buscando soluciones efectivas para evitar la retirada de estas acumulaciones de posidonia muerta.

Esta serie de consideraciones ambientales se aplican para tratar de proteger al máximo el entorno ambiental de la zona. Tanto las praderas de posidonia que se encuentran en la misma playa como el cordón dunar dañado y fraccionado en gran parte de la playa son de especial interés natural y medioambiental para esta zona ya que suponen el principal hábitat de la fauna de la zona. Debido a su proximidad con la Reserva Natural del Cabo de San Antonio, se trata de una zona con especial interés.

En el cordón dunar la especie más relevante es el Chorlitejo Patinegro, que actualmente se encuentra en la categoría de "Vulnerable" en el Libro Rojo de Aves de



España y aparece a nivel estatal dentro del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial.



Figura 44. Chorlitejo patinegro. Fuente: Wikipedia.org



Figura 45. Bermas formadas por acumulación de posidonia muerta. Fuente: periodicodeibiza.es

## 7. PROGRAMA DE TRABAJOS

En este apartado se pretende crear una estimación del tiempo de ejecución de la obra y en el que también se pretenden abordar los aspectos básicos de rendimientos, acopios y proceso constructivo. Para realizar el programa de trabajos se tiene en cuenta una jornada laboral de 8h diarias, 5 días a la semana y aproximadamente unos 20 días laborables al mes.

### 7.1. Trabajos previos:

La primera acción a tomar en la fase de construcción será la de diseño del acopio de los cubípodos, en la que se empleará el puerto de Denia como zona de acopio y desde el cual serán transportados por vía marítima hasta la zona de su colocación. Esta zona estará debidamente vallada, señalizada y con sus correspondientes zonas de acceso, caseta de obra e instalaciones de servicios. Duración estimada del montaje y preparación de la zona de acopio: **2 semanas**.

### 7.2. Fabricación y acopio:

Para poder estimar la duración de esta actividad, hay que conocer la cantidad exacta de cubípodos que se van a emplear. Para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$n_{\text{cubípodos}} = n_{\text{diques}} \cdot C_{\text{sección}} \cdot \frac{B}{D_n}$$

Dónde  $n_{\text{Cubípodos}}$  es el número de cubípodos necesarios;  $n_{\text{diques}}$  es el número de diques que ejecutarán;  $C_{\text{sección}}$  es el número de cubípodos que forman una sección transversal de la estructura seleccionada;  $B$  es la longitud total del dique (m) y  $D_n$  es el diámetro nominal de los cubípodos (m). Con los datos recogidos anteriormente se obtiene así que el número de cubípodos necesarios será de 12500.

$$n_{\text{cubípodos}} = 5 \cdot 18 \cdot \frac{200}{1,44} = 12500$$

Los encofrados presentan rendimientos de fabricación de 3 cubípodos por día en caso de trabajar 24h al día, dado que se debe esperar entre 6 y 8 horas para poder realizar el desencofrado. Empleando un número de 42 encofrados y trabajando las 24 horas al día, la duración de este proceso de fabricación y acopio durará 100 días o lo que es lo mismo, **5 meses completos**.

La maquinaria necesaria para este proceso será: el sistema de encofrados, camiones hormigonera y grúas pinza que se encarguen del movimiento y acopio de estas piezas

### 7.3. Construcción de los diques:

El transporte y colocación de los cubípodos se realizará por vía marítima puesto que resulta impensable tener que construir caminos de acceso para maquinaria terrestre. Los cubípodos serán colocados mediante una grúa con sistema GPS que indica las coordenadas X-Y de las piezas y que no necesitará de ayuda auxiliar de buzos o de personal especializado. Los rendimientos de esta acción son de 8 a 12 cubípodos/hora. Se emplearán dos grúas debido a la gran cantidad de cubípodos a colocar. Con los rendimientos anteriores y con dos grúas, se emplearán **66 días** .

Con el objetivo de minimizar el tiempo de la obra, las grúas empezarán a colocar cubípodos antes de que se acabe la fabricación de estos, no solo por reducir tiempo, si no también por reducir el espacio necesario para el acopio de estos cubípodos. Si las grúas son capaces de colocar 192 cubípodos al día mientras que con los 42 encofrados se pueden fabricar 126 cubípodos al día. Es fundamental que la grúa no pare su actividad una vez empieza a colocar cubípodos, por lo que la grúa empezará a trabajar 34 días después de que se empiecen a encofrar los cubípodos. Durante estos primeros 34 días se almacenarán 4285 cubípodos. El plazo total de fabricación y colocación de cubípodos será de 100 días.

La construcción se llevará a cabo mediante barcazas que recogerán los Cubípodos de la zona de acopio y los trasladarán hasta la zona de actuación, donde la grúa con sistema GPS, que estará apoyada sobre una plataforma tipo Jack-up colocará las piezas en su posición correspondiente.

### 7.4. Gestión de residuos y seguridad y salud:

El cumplimiento de las normas de seguridad y salud y la gestión de residuos generados es obligatorio durante todo el proceso.

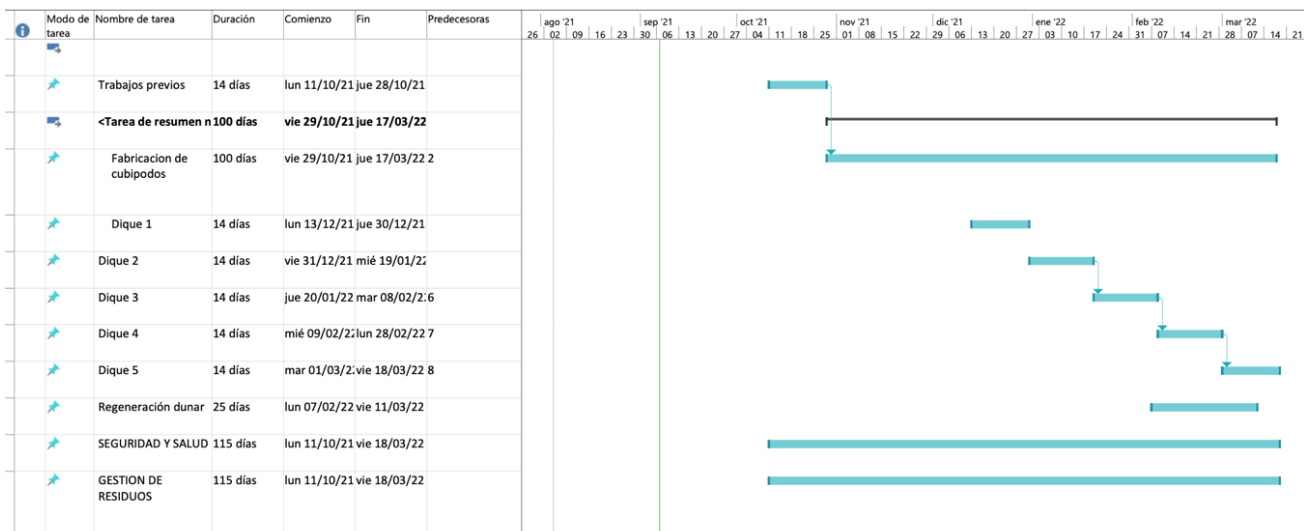


Figura 46. Diagrama de Gantt y planificación. Fuente: Elaboración propia.

En el anterior diagrama de Gantt se refleja la planificación estimada de la duración de la obra y las diferentes tareas a realizar. En ella se incluye tanto la construcción de los diques exentos como las obras de regeneración dunar.



## 8. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO

Se propone un programa de seguimiento de la fase de construcción y 5 años posteriores para asegurarse de que se cumplen con los criterios preestablecidos en el proyecto, observar y cuantificar la efectividad y resistencia de este proyecto.

En primer lugar, se designará un responsable como jefe de obra que será el encargado de asegurar las adherencias al plan de acciones y seguimiento de la obra. A parte de este jefe de obra, se nombrará a un coordinador de seguridad y salud que velará por el cumplimiento del estudio de seguridad y salud de los trabajadores durante todo el proceso de construcción. Dada la importancia ambiental de este proyecto, se necesitará la función de un responsable de impacto ambiental cuya función se basa en limitar al máximo los impactos ambientales producidos por la obra y este se asegurará de que se cumplan todas las medidas y procedimientos ambientales para garantizar que la obra se adhiere al proyecto también en este aspecto. Recibirá el nombre de coordinador de medio ambiente.

Más allá de los criterios de control que decida emplear el jefe de obra o la dirección facultativa, se propone un control exhaustivo mensual, durante el primer año, para evaluar el efecto que está teniendo la obra y para cuantificar tanto el almacenamiento de arena como el avance o retroceso de las praderas de posidonia y la regeneración dunar. Estos avances serán anotados mensualmente durante el primer año desde la construcción de este proyecto y trimestralmente durante los 4 siguientes años, sumando así un control en los 5 años próximos a la finalización de las obras.

Como ya se explicó en el apartado de regeneración dunar, este es el aspecto que más control necesita debido a la probabilidad de que ciertos esquejes de las plantaciones no sobrevivan o que puedan ser alterados por condiciones ambientales o efectos humanos, se sustituirán toda la vegetación afectada o muerta y esto se hará gracias a un control semanal durante el periodo comprendido entre la finalización de las obras y la llegada del verano para tratar de solventar así posibles pérdidas de eficacia debido a la falta de vegetación. Una vez terminada esa primera fase de control exhaustivo a la zona de regeneración dunar, se procederá a realizar una inspección visual mensualmente para tratar de reparar los posibles problemas sufridos durante el primer año.

En el apartado marino, se tomarán muestras de agua para evaluar su calidad de nutrientes, su contenido en oxígeno y su turbidez antes, durante y tras la fase de construcción.

- Se harán 3 tomas de muestra de agua 10 días antes del comienzo de la obra, 5 días antes del comienzo y el mismo día del comienzo de las obras para obtener unos valores claros sobre la calidad del agua.
- Durante el proceso de obra se tomarán muestras semanalmente para medir estos valores y el efecto que está causando la obra.
- Se tomarán muestras semanalmente durante los 3 primeros meses posteriores a la finalización de la obra para comprobar si las posibles alteraciones causadas por las obras han sido restituidas o si por el contrario se siguen viendo anomalías en los datos respecto a la situación pre-obra. En caso de encontrar anomalías en estos valores superados los 3 meses, se estudiarían las medidas oportunas.

Estas medidas correspondientes a la regeneración dunar y calidad de las aguas, serán realizadas por el responsable de medio ambiente nombrado anteriormente.

A modo de resumen, el programa de seguimiento será el siguiente.

Programa de seguimiento	Obra	Primer mes después	Primer año posterior	Hasta el quinto año post-obra	Responsable	Supervisión Jefe de Obra
Seguridad y salud	x				Coordinador de seguridad y salud	SÍ
Regeneración dunar	x	S	M	T	Coordinador de medio ambiente	NO
Calidad marítima	S	S	S		Coordinador de medio ambiente	NO

S: control semanal.

M: control mensual.

T : control trimestral.

C.SyS: coordinador de seguridad y salud.

C.MA: coordinador de medio ambiente.

## 9. VALORACIÓN ECONÓMICA

### 9.1. Introducción

Puesto que este documento se trata de un estudio correspondiente a un Trabajo Final de Grado se realiza una valoración económica, sin justificación de precios, considerando las mediciones y precios unitarios de los capítulos principales de la actuación, que permita conocer el coste aproximado que permitiría llevar a cabo la solución propuesta para evitar la problemática de la playa de Las Marinas T.M. Denia. En esta valoración económica se incluye tanto la construcción de diques exentos formados por cubípodos como la regeneración dunar propuesta.

### 9.2. Mediciones

Tanto el cálculo de aporte de arena como el número final de cubípodos a emplear están basados en los cálculos realizados en capítulos anteriores.

#### CAPÍTULO 0.1.-CONSTRUCCIÓN DE DIQUES EXENTOS

Nº	Ud.	Descripción	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
1.1	m <sup>3</sup>	Cubípedo de 6,8 t y Dn=1,44 m, incluso suministro de hormigón, encofrado, acopio, carga, transporte y colocación.	12500	1,44	1,44	1,44	37.324,8	37.324,8

#### CAPÍTULO 0.2.-APORTE DE ARENA

Nº	Ud.	Descripción	Uds.	Volumen	Subtotal	Total
2.1	m <sup>3</sup>	Arena de canto rodado procedente de cantera D <sub>50</sub> =0,50mm incluso extracción, cribado, lavado, carga, transporte hasta el punto de vertido en obra y extendido.	1	76.000	76.000	76.000

### CAPÍTULO 0.3.- REGENERACIÓN DUNAR

Nº	Ud.	Descripción	Uds.	Largo	Alto	Ancho	Subtotal	Total
3.1	m <sup>2</sup>	Trabajos de regeneración dunar incluidos reconstrucción, revegetación, protección, conservación y mantenimiento futuro.	1	1000	20	-	20.000	20.000

### CAPÍTULO 0.4.- GESTIÓN DE RESIDUOS

Nº	Ud.	Descripción	Uds.	Largo	Alto	Ancho	Subtotal	Total
4.1	pa	Gestión de residuos	1	-	-	-	1	1

### CAPÍTULO 0.5.- SEGURIDAD Y SALUD

Nº	Ud.	Descripción	Uds.	Largo	Alto	Ancho	Subtotal	Total
5.1	pa	Seguridad y salud	1	-	-	-	1	1

#### 9.3. Precios unitarios

### CAPÍTULO 0.1.-CONSTRUCCIÓN DE DIQUES EXENTOS

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (€)	En letra (euros)
1.1	Cubípedo de 6,8 t y Dn=1,44 m, incluso suministro de hormigón, encofrado, acopio, carga, transporte y colocación.	210,2	DOSCIENTOS DIEZ EUROS Y VEINTE CÉNTIMOS

### CAPÍTULO 0.2.-APORTE DE ARENA

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (€)	En letra (euros)



2.1	Arena de canto rodado procedente de cantera D <sub>50</sub> =0,50mm incluso extracción, cribado, lavado, carga, transporte hasta el punto de vertido en obra y extendido	10,85	DIEZ EUROS Y OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS
-----	--	-------	---------------------------------------

#### CAPÍTULO 0.3.- REGENERACIÓN DUNAR

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (€)	En letra (euros)
3.1	Trabajos de regeneración dunar incluidos reconstrucción, revegetación, protección, conservación y mantenimiento futuro.	8,2	OCHO EUROS Y VEINTE CÉNTIMOS

#### CAPÍTULO 0.4.- GESTIÓN DE RESIDUOS

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (€)	En letra (euros)
4.1	Gestión de residuos	1800	MIL OCHOCIENTOS EUROS

#### CAPÍTULO 0.5.- SEGURIDAD Y SALUD

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (€)	En letra (euros)
5.1	Seguridad y salud	30.000	TREINTA MIL EUROS

#### 9.4. Presupuesto de ejecución de material

##### CAPÍTULO 0.1.-CONSTRUCCIÓN DE DIQUES EXENTOS

Nº	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
1.1	m <sup>3</sup>	Cubípedo de 6,8 t y Dn=1,44 m, incluso suministro de hormigón, encofrado, acopio,	37.324,8	210,2	7.845.672,96

		carga, transporte y colocación.			
--	--	---------------------------------	--	--	--

#### CAPÍTULO 0.2.-APORTE DE ARENA

Nº	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
2.1	m <sup>3</sup>	Arena de canto rodado procedente de cantera D <sub>50</sub> =0,50mm incluso extracción, cribado, lavado, carga, transporte hasta el punto de vertido en obra y extendido	76.000	10,85	824.600

#### CAPÍTULO 0.3.- REGENERACIÓN DUNAR

Nº	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
3.1	m <sup>2</sup>	Trabajos de regeneración dunar incluidos reconstrucción, revegetación, protección, conservación y mantenimiento futuro.	20.000	8,2	164.000

#### CAPÍTULO 0.4.- GESTIÓN DE RESIDUOS

Nº	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
4.1	pa	Gestión de residuos	1	1.800	1.800

#### CAPÍTULO 0.5.- SEGURIDAD Y SALUD

Nº	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
5.1	pa	seguridad y salud	1	30.000	30.000

### PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL

Capítulo	Importe
0.1. Construcción de diques exentos	7.845.672,96
0.2. Aporte de arena	824.600
0.3. Regeneración dunar	164.000
0.4. Gestión de residuos	1.800
0.5. Seguridad y salud	30.000
<b>Total</b>	<b>8.866.072,96</b>

Asciende el Presupuesto de Ejecución del Material a la expresada cantidad de OCHO MILLONES OCHOCIENTOS SESENTA Y SEIS MIL SETENTA Y DOS Y NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS.

## 9.5. Presupuesto de licitación

### PRESUPUESTO DE LICITACIÓN

	<b>Importe</b>
<b>Presupuesto de Ejecución del Material</b>	<b>8.866.072,96</b>
16,00 % Gastos Generales	1.418.571,67
6,00 % Beneficio Industrial	531.964,37
<b>Suma</b>	<b>10.816.609,0</b>
I.V.A            21,00%	2.271.487,89
<b>Presupuesto de licitación</b>	<b>13.088.096,89</b>

Asciende el presupuesto de licitación a TRECE MILLONES OCHENTA Y OCHO MIL NOVENTA Y SEIS EUROS Y OCHENTA Y NUEVE CÉNTIMOS.



## 10. CONCLUSIONES

El retroceso en la línea de costa en el tramo de playa de Las Marinas T.M. Denia es una realidad visible en la que hay que tomar decisiones ya. La desmedida presión urbanística, el incumplimiento o mal cumplimiento de la ley de costas anterior y los continuos errores en soluciones en las últimas décadas han llevado a una situación tremendamente preocupante y que va a agravarse con el aumento del nivel del mar y los fenómenos meteorológicos provocados por el cambio climático.

La línea de costa se encuentra en retroceso año tras año y de una forma natural, parece improbable que se puede salvar esta situación, para ello se proponen una serie de soluciones basadas en la construcción de una serie de diques exentos de cubípodos que no solo frena la erosión causada por el oleaje si no que también genera un espacio de abrigo dónde pueda prosperar la posidonia oceánica, también en retroceso en los últimos años. También se propone una regeneración dunar por medios naturales que favorecerá el almacenaje de sedimentos en la playa, el aumento de esta y otorgará una mayor protección al entorno. Tanto la regeneración dunar como el abrigo generado por la serie de diques exentos, permitirá la regeneración y prosperidad de numerosas aves y especies marinas.

Las ventajas de este tipo de diques frente a un dique convencional, ya mencionadas anteriormente, son el menor impacto ambiental debido a la construcción por vía marítima, permite el flujo de agua y de especies debido a la permeabilidad del dique que favorece el espacio para un nuevo hábitat marino y al regenerar las dunas de una forma natural se evita que todos los años se deban realizar aportes continuos de arena.

Bien es cierto que se plantean medidas poco populares como la no retirada de posidonia marina (popularmente llamadas algas) tras el periodo invernal, o por lo menos una retirada de una forma mucho mas seleccionada y tratando de evitar que se retiren toneladas de arena que está pegada a estos restos de posidonia. Estas medidas sólo se emplearán de manera puntual durante el primer año y el periodo de construcción de los diques y sistemas de regeneración dunar para favorecer y optimizar el efecto de estos. Una vez se compruebe que los diques cumplen con su función y que las dunas avanzan, se podrá volver a retirar anualmente los restos de posidonia. Siempre y cuándo se modernicen estos sistemas de retirada de posidonia, granatizando que no se retiran con ellas ciertas toneladas de arena.

Cabe hacer una mención especial sobre el efecto que tenemos como sociedad en la conservación de los espacios naturales, no solo recae la responsabilidad en las instituciones gubernamentales si no que también nosotros debemos de concienciarnos sobre la importancia de estos espacios naturales para nuestra y de cómo podemos mantenerlos o tener el menor impacto negativo sobre estos. Para ello, en el proceso de construcción se generarán una serie de carteles informativos sobre la influencia del ser humano en las dunas y sobre el porqué de estas medidas. Es imprescindible que la gente sea consciente de lo que se está haciendo y de porqué se está haciendo para que por ejemplo, respeten los tramos señalizados que se encuentran en proceso de regeneración dunar, o entiendan el porqué no se retiran las acumulaciones de posidonia durante el proceso de construcción de este proyecto.

Si se consigue que la población esté concienciada sobre el efecto y la importancia de la posidonia oceánica, las dunas o la presión urbanística a la que está sometida este tramo de costa, y muchos otros de la costa española, se estaría dando un gran paso para que las generaciones futuras conciban la importancia de estos espacios naturales.

Y no solo hay que centrarse en la importancia natural que aportan estos espacios, ya que la conservación y mejora de ellos, también van a permitir un mejor desarrollo social y económico puesto que una playa en buenas condiciones resulta mucho más atractiva para el turismo y este implica dinero y por tanto desarrollo en la zona.

Por otra parte, el hecho de emplear cubípodos en la construcción de los diques exentos supone un plus de motivación, ya que han sido desarrollados por los profesores María Esther Gómez Martín y Josep Ramón Medina Folgado en colaboración con la Universitat Politècnica de València. Este hecho acerca el trabajo de investigación y desarrollo a los problemas cotidianos que vivimos en numeras playas de la Comunidad Valenciana y del resto de España. Ofreciendo así una serie de soluciones muy cercanas, eficaces y eficientes para un problema que va creciendo con el paso de los años y que se va extendiendo por numerosas zonas de la costa española como consecuencia de la falta de medidas tomadas en las últimas décadas.

En Valencia a 14 de Septiembre de 2021

Carlos Gómez Huerga

## REFERENCIAS

37768-5.pdf. (s. f.). [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3378/37768-](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3378/37768-5.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

[5.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3378/37768-5.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

180824\_proyecto\_denia\_les\_deveses\_completo\_tcm30-483497.pdf. (s. f.),

[https://www.miteco.gob.es/es/costas/participacion-](https://www.miteco.gob.es/es/costas/participacion-publica/180824_proyecto_denia_les_deveses_completo_tcm30-483497.pdf)

[publica/180824\\_proyecto\\_denia\\_les\\_deveses\\_completo\\_tcm30-483497.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/costas/participacion-publica/180824_proyecto_denia_les_deveses_completo_tcm30-483497.pdf)

190520\_eia\_denia\_girona\_unificado\_tcm30-498060.pdf. (s. f.-a), de

[https://www.miteco.gob.es/es/costas/participacion-](https://www.miteco.gob.es/es/costas/participacion-publica/190520_eia_denia_girona_unificado_tcm30-498060.pdf)

[publica/190520\\_eia\\_denia\\_girona\\_unificado\\_tcm30-498060.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/costas/participacion-publica/190520_eia_denia_girona_unificado_tcm30-498060.pdf)

190520\_eia\_denia\_girona\_unificado\_tcm30-498060.pdf. (s. f.-b). , de

[https://www.miteco.gob.es/es/costas/participacion-](https://www.miteco.gob.es/es/costas/participacion-publica/190520_eia_denia_girona_unificado_tcm30-498060.pdf)

[publica/190520\\_eia\\_denia\\_girona\\_unificado\\_tcm30-498060.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/costas/participacion-publica/190520_eia_denia_girona_unificado_tcm30-498060.pdf)

Alegaciones-regeneración-playas-Denia.pdf. (s. f.), de

[https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2019/08/Alegaciones-](https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2019/08/Alegaciones-regeneraci%C3%B3n-playas-Denia.pdf)

[regeneraci%C3%B3n-playas-Denia.pdf](https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2019/08/Alegaciones-regeneraci%C3%B3n-playas-Denia.pdf)

Auken, M. (s. f.). *Sobre el impacto de la urbanización extensiva en España en los derechos individuales de los ciudadanos europeos, el medio ambiente y la aplicación del Derecho comunitario, con fundamento en determinadas peticiones recibidas (2008/2248(INI))*. 18.

Brisa Sáiz, V. (2020). *Estudio de la estabilidad hidráulica de diques exentos homogéneos de baja cota de Cubípodos. Aplicación a la protección de la Playa Bávaro en la República Dominicana* [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València].

<https://riunet.upv.es/handle/10251/151217>

*Cap06\_tecnicas\_de\_restauracion\_tcm30-161254.pdf*. (s. f.). Recuperado 22 de junio de 2021,

de

[https://www.miteco.gob.es/es/costas/publicaciones/cap06\\_tecnicas\\_de\\_restauracion\\_tcm30-161254.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/costas/publicaciones/cap06_tecnicas_de_restauracion_tcm30-161254.pdf)

Change, N. G. C. (s. f.). *Sea Level | NASA Global Climate Change*. Climate Change: Vital Signs of the Planet. Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level>

*Climate Change: Vital Signs of the Planet*. (s. f.). Climate Change: Vital Signs of the Planet.

Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://climate.nasa.gov/>

«Costas ha puesto al lobo a cuidar del gallinero»: 90 años viendo al mar entrar en casa. (2021, junio 6). *Dénia.com*. <https://www.denia.com/costas-ha-puesto-al-lobo-a-cuidar-del-gallinero-90-anos-viendo-al-mar-entrar-en-casa/>

de Costas, I. (s. f.). *MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS*. 74.

dénia, J. F. B. |. (2019, agosto 8). *La regeneración de las playas de Dénia amenaza los puertos de Altea y Benidorm*. Levante-EMV. <https://www.levante-emv.com/marina/2019/08/08/regeneracion-playas-denia-amenaza-puertos-11826739.html>

Ecológico, R. / E. M. (2015, junio 29). Cultivar Posidonia para repoblar el Mediterráneo. *El Mundo Ecológico*. <https://www.elmundoecologico.es/rsc/cultivar-posidonia-repoblar-mediterraneo/>

España Dirección General de Costas. (2000). *La ley de costas y su reglamento: Sentencias del Tribunal Constitucional*. Ministerio de Medio Ambiente.



España Subdirección General de Costas y Señales Marítimas. (1976). *Plan de defensa de costas*.

Ministerio de Obras Públicas.

INEbase. *Alteraciones de los municipios*. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2021, de

<https://www.ine.es/intercensal/intercensal.do?search=1&cmbTipoBusq=0&textoMunicipio=D%C3%A9nia>

Jiménez, Á. A. (s. f.-a). *ESTUDIO DE LA RESTITUCIÓN DEL FLUJO SEDIMENTARIO FLUVIAL Y LITORAL DE LA COSTA VALENCIANA ENTRE EL DELTA DEL EBRO Y EL PUERTO DE DENIA*. 133.

Jiménez, Á. A. (s. f.-b). *ESTUDIO DE LA RESTITUCIÓN DEL FLUJO SEDIMENTARIO FLUVIAL Y LITORAL DE LA COSTA VALENCIANA ENTRE EL DELTA DEL EBRO Y EL PUERTO DE DENIA*. 133.

Knots, 21. (s. f.). *Conoce que vientos soplan en Dénia, la «Tarifa del Levante»*. Recuperado 20 de mayo de 2021, de <https://www.nauticalnewstoday.com/denia-tarifa-del-levante/>

*Líneas de deslinde para el Dominio Público Marítimo Terrestre*. (s. f.). Recuperado 1 de julio de 2021, de <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/procedimientos-gestion-dominio-publico-maritimo-terrestre/linea-deslinde/default.aspx>

Lorente, S., & Borja, X. (2020). *Estudio de soluciones para la regeneración de la playa el Perelló, Sueca (Valencia)* [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/155321>

*Los ecologistas se oponen a la regeneración de la playa de Dénia*. (2019, agosto 24).

ELMUNDO. <https://www.elmundo.es/comunidad-valenciana/alicante/2019/08/24/5d60251cfc6c8337508b469a.html>

Martín Soldevilla, M. J., Iribarren Alonso, R., Moreno Blasco, L., García Mañes, M., Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, & Centro de Estudios de Puertos y Costas.

(1995). *Modelos físicos y numéricos en ingeniería de costas*. CEDEX.

Medina, J. R., & Gómez-Martín, M. E. (2015). *Manual del cubipodo 2015*. Universitat Politècnica de València.

Plaza, L. M. (2015, febrero 16). La CHJ sitúa a las playas de Dénia, Xàbia y Moraira entre las más amenazadas por la subida del nivel del mar a causa del cambio climático. *LA MARINA PLAZA*. <https://lamarinaplaza.com/2015/02/16/la-chj-situa-a-las-playas-de-denia-xabia-y-moraira-entre-las-mas-amenazadas-por-la-subida-del-nivel-del-mar-a-causa-del-cambio-climatico/>

Plaza, L. M. (2020, febrero 19). Dénia y Xàbia, un mes después del «peor temporal de los últimos años». *LA MARINA PLAZA*. <https://lamarinaplaza.com/2020/02/19/denia-y-xabia-un-mes-despues-del-peor-temporal-de-los-ultimos-anos/>

*Posidonia: De residuo a elemento natural de las playas*. (2020, febrero 3). Periódico de Ibiza y Formentera. <https://www.periodicodeibiza.es/pitiusas/ibiza/2020/02/03/1138931/posidonia-residuo-elemento-natural-playas.html>

*Preguntas frecuentes sobre la ley de costas y su aplicación*. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2021, de [https://www.miteco.gob.es/es/costas/preguntas-frecuentes/index2010-10-29\\_22.56.32.8360.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/costas/preguntas-frecuentes/index2010-10-29_22.56.32.8360.aspx)

*Qué es el cambio climático*. (s. f.). Recuperado 10 de junio de 2021, de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/el-cambio-climatico/>

Regeneración del ecosistema dunar de Laida. (s. f.). *Urdaibai*. Recuperado 28 de julio de 2021, de <https://www.urdaibai.eus/es/regeneracion-del-ecosistema-dunar-de-laida/>

*ROM 0\_3-91.pdf*. (s. f.). Recuperado 19 de mayo de 2021, de

[https://widispe.puertos.es/rom/storage/public/docROM/ROM%200\\_3-91.pdf](https://widispe.puertos.es/rom/storage/public/docROM/ROM%200_3-91.pdf)

Santos, M., Corredor, A., Maciñeira, E., Bajo, V., Gómez-Martín, M. E., & Medina, J. R.

(2016). Aspectos innovadores en el diseño y construcción del dique Oeste en el puerto exterior de A Coruña en Punta Langosteira (España). *RIBAGUA - Revista Iberoamericana del Agua*, 3(2), 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2016.07.005>

Serra, J., Bautista, R., Maia, L. P., & Montori, C. (1998). Sistemas de protección de costas (I):

Regeneración de playas. El ejemplo del Maresme (1987-1998). *Geogaceta*, 25, 187-190.

*Todos los daños que causa retirar los restos de posidonia de las playas*. (2019, noviembre 18).

ELMUNDO.

<https://www.elmundo.es/baleares/2019/11/18/5dd2813ffdddf6aa8b464a.html>

## Anexo I. Cálculo de clima marítimo.

En este primer Anexo se va a adjuntar toda la información correspondiente a la boya SIMAR 2085107 que se ha empleado para el cálculo del clima marítimo del apartado 2.2 de la memoria. Toda la información ha sido obtenida de la boya SIMAR 2085107 por su cercanía a la playa de Las Marinas y porque tiene una gran similitud con los datos de las boyas SIMAR cercanas, a pesar de esa similitud, se ha escogido esta por la mayor precisión de datos para determinar el clima marítimo debido a su proximidad.

Se procede únicamente a la inserción de las tablas obtenidas de la boya SIMAR 2085107 debido a que la explicación del clima marítimo y la interpretación y cálculo del viento predominante, altura de oleaje pico y periodo pico ya queda explicada en el apartado 2.2 Clima marítimo de la memoria de este proyecto.

Para el cálculo de los valores que la ROM nos pide para definir el clima marítimo de una zona, vamos a obtener los datos directamente de la web de Puertos del Estado ([www.puertos.es](http://www.puertos.es)) y junto con los criterios de la ROM se va a definir el clima marítimo del tramo de playa de Las Marinas T.M. Denia.

Procedencia y obtención del conjunto de datos:

El conjunto de datos SIMAR está formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numérico. Son, por tanto, datos simulados y no proceden de medidas directas de la naturaleza.

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 poder ofrecer series temporales más extensas en el tiempo y actualizadas diariamente. De este modo, el conjunto SIMAR ofrece información desde el año 1958 hasta la actualidad.

En este caso los datos SIMAR se obtienen del nodo SIMAR 2085107, es el mas cercano a la playa de Las Marinas en Denia, se encuentra situado enfrente de esta y es el nodo que mejores indicadores nos va a ofrecer, debido a su cercanía.

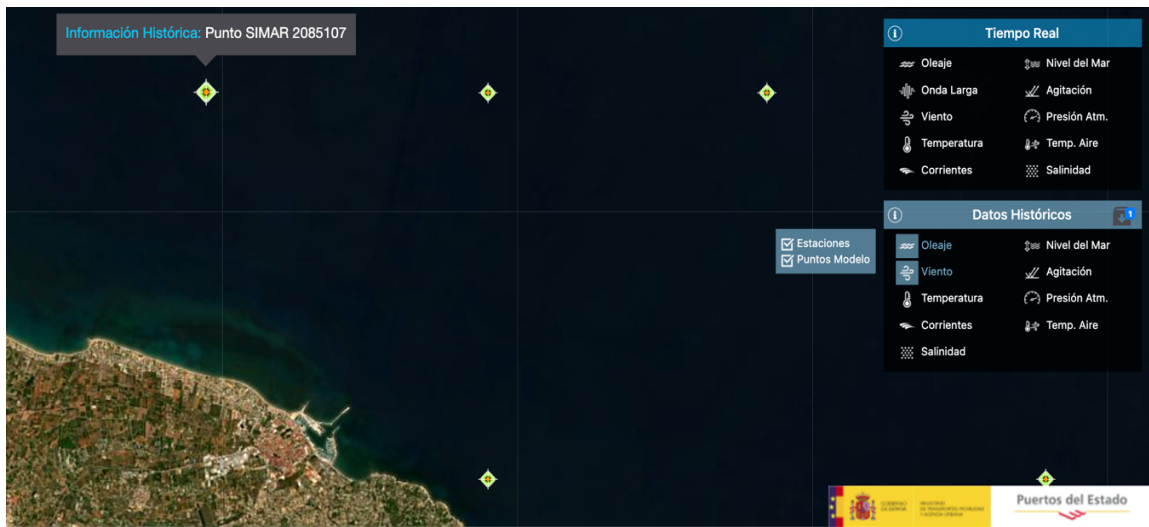


Figura 1. Ubicación punto SIMAR 2085107 de referencia. Fuente: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)

Tablas Hs-Tp anual:

Distribución Conjunta de Periodo de Pico y Altura Significativa

Lugar: SIMAR 2085107

Periodo: Anual

Serie analizada: Ene. 1958 - May. 2017



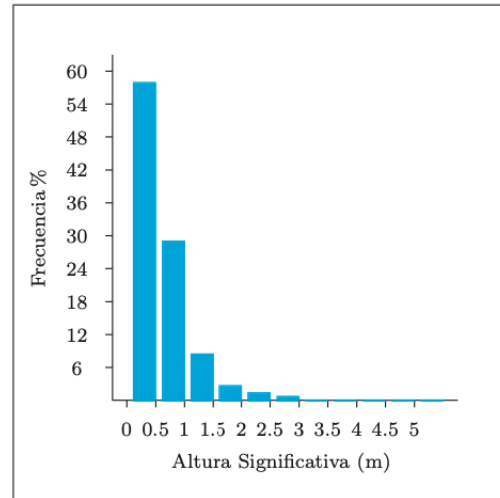
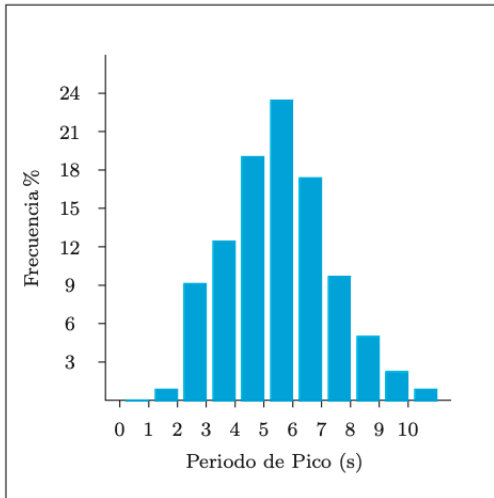


Tabla Periodo de Pico (Tp) - Altura Significativa (Hs) en %

Hs (m)	Tp (s)											Total
	≤ 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	> 10.0	
≤ 0.5	-	0.888	8.878	9.604	13.902	12.656	6.993	3.205	1.195	0.408	0.068	57.798
1.0	-	0.002	0.258	2.845	4.190	8.477	7.194	3.794	1.700	0.540	0.112	29.112
1.5	-	-	0.001	0.030	1.001	1.750	1.970	1.627	1.115	0.597	0.206	8.296
2.0	-	-	-	-	0.040	0.512	0.762	0.564	0.477	0.290	0.167	2.813
2.5	-	-	-	-	-	0.042	0.312	0.316	0.192	0.152	0.118	1.132
3.0	-	-	-	-	-	0.001	0.041	0.173	0.119	0.076	0.056	0.466
3.5	-	-	-	-	-	-	0.001	0.067	0.085	0.064	0.020	0.236
4.0	-	-	-	-	-	-	-	0.005	0.042	0.028	0.016	0.091
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.008	0.012	0.014	0.034
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.005	0.005	0.011
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.012	0.012
Total	-	0.890	9.138	12.480	19.134	23.438	17.272	9.751	4.933	2.172	0.792	100 %

Figura 2. Datos Hs-Tp. SIMAR 2085107. Fuente: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)

En estas tablas se puede observar como el periodo de pico más frecuente en los últimos años se encuentra entre los 5s y 6s. La altura de ola más significativa (m) corresponde con el intervalo 0-0,5, viendo que llegan a aparecer pequeños porcentajes de altura entre 2,5 y 3. A pesar de ello, son casos aislados y puntuales.

Sin embargo, si obtenemos las mismas gráficas divididas por los periodos del año estivales con los otoñales, obtenemos una pequeña alteración. Se observa en la siguiente figura como en el periodo de septiembre a noviembre existen unos porcentajes de olas de mayor altura aunque es prácticamente insignificante su frecuencia, esto se debe a las famosas "Gotas Frias" de la zona o actualmente más conocidas como "depresión atmosférica aislada en niveles altos" (DANA)..

LUGAR : SIMAR 2085107

PERIODO : Sep. - Nov.

SERIE ANALIZADA : Ene. 1958 - May. 2017

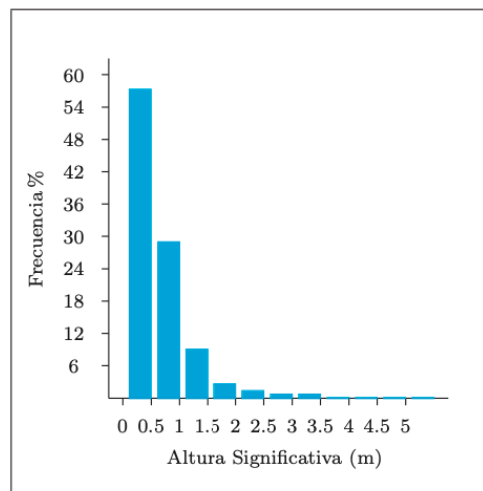
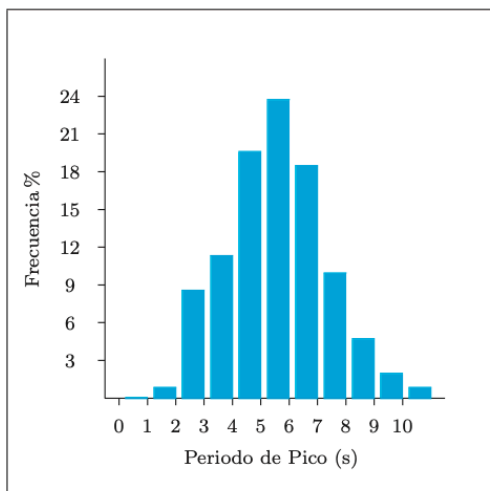


Tabla Periodo de Pico (Tp) - Altura Significativa (Hs) en %

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	-	0.889	8.430	8.790	14.433	12.683	7.191	3.205	1.099	0.287	0.014	57.022
1.0	-	-	0.236	2.469	4.038	8.776	7.667	3.788	1.561	0.497	0.082	29.114
1.5	-	-	0.002	0.040	0.999	1.870	2.413	1.657	0.994	0.576	0.226	8.778
2.0	-	-	-	-	0.026	0.434	0.833	0.602	0.420	0.308	0.196	2.819
2.5	-	-	-	-	-	0.044	0.399	0.315	0.226	0.170	0.098	1.253
3.0	-	-	-	-	-	0.002	0.040	0.194	0.133	0.077	0.063	0.509
3.5	-	-	-	-	-	-	-	0.124	0.107	0.065	0.037	0.334
4.0	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.056	0.033	0.026	0.117
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.009	0.009	0.026	0.044
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	-	0.002
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.007	0.007
Total	-	0.889	8.668	11.299	19.496	23.809	18.544	9.887	4.607	2.026	0.775	100 %

Figura 3. Datos Hs-Tp. SIMAR 2085107 Sep-Nov. Fuente: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)

LUGAR : SIMAR 2085107

PERIODO : Jun. - Ago.

SERIE ANALIZADA : Ene. 1958 - May. 2017

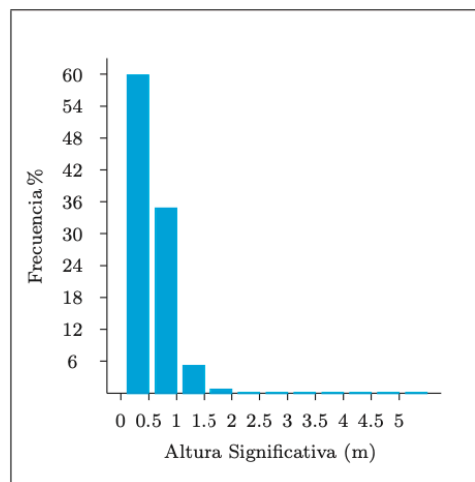
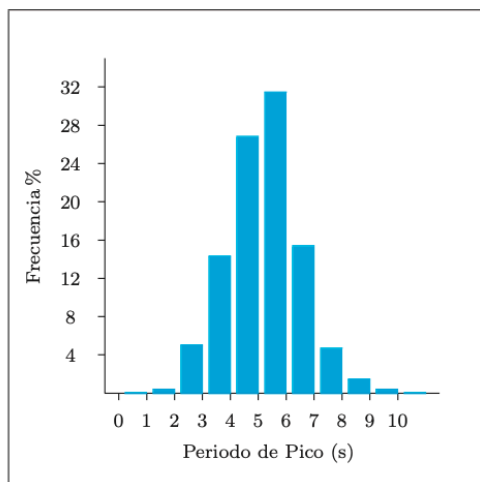


Tabla Periodo de Pico (Tp ) - Altura Significativa (Hs ) en %

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	-	0.446	4.699	11.546	19.683	15.898	5.277	1.561	0.312	0.062	0.002	59.487
1.0	-	-	0.203	2.789	6.426	13.625	8.579	2.303	0.717	0.141	0.021	34.804
1.5	-	-	-	0.002	0.765	1.598	1.302	0.758	0.308	0.113	0.025	4.872
2.0	-	-	-	-	0.014	0.266	0.264	0.123	0.032	0.014	0.002	0.715
2.5	-	-	-	-	-	0.014	0.065	0.023	0.002	-	-	0.104
3.0	-	-	-	-	-	-	0.002	0.014	-	-	-	0.016
3.5	-	-	-	-	-	-	-	0.002	-	-	-	0.002
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	-	0.446	4.902	14.337	26.889	31.400	15.488	4.784	1.371	0.331	0.051	100 %

Figura 4. Datos Hs-Tp. SIMAR 2085107 Jun-Ago. Fuente: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)

## Rosas de oleajes:

### ROSA DE ALTURA SIGNIFICATIVA

LUGAR : SIMAR 2085107

PERIODO : Anual

CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

SERIE ANALIZADA : Ene. 1958 - May. 2017

INTERVALO DE CALMAS : 0 - 0.2

PORCENTAJE DE CALMAS : 16.06 %

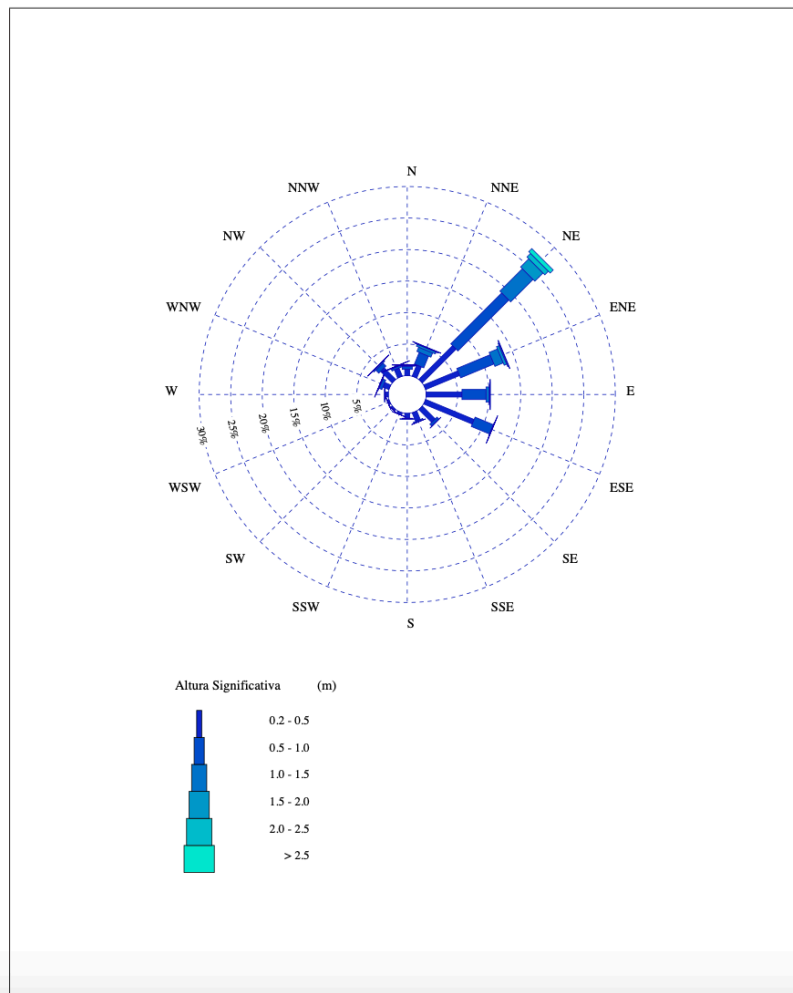


Figura 5. Datos altura oleaje significativa. SIMAR 2085107. Fuente: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)

En la figura de rosa de altura de oleaje significativa observamos una gran procedencia de la componente NE, que no solo supone la componente más común, si no que además también es la que mayor altura de ola significativa tiene. Esto se debe en gran parte al mayor *fetch* (distancia de la superficie del océano en el cual la velocidad y dirección del viento permanecen constantes). La longitud de éste en la dirección del viento es igual al camino que las olas pueden recorrer permaneciendo

siempre bajo su acción) que tiene esta componente, ya que supone la mayor distancia en línea recta hasta el próximo punto de la costa.

En la siguiente imagen satelital se puede observar como el mayor *fetch* posible coincide con la componente NE, que es la que genera una mayor procedencia de oleajes y una altura de ola mayor. En amarillo se muestra la orientación NE y en color malva se señala el *fetch* máximo que afecta a esta playa, como se ha comentado, coincide con el viento que sopla con componente NE y como consecuencia de esto se generan las olas de mayor altura. Este *fetch* tiene una longitud aproximada de 1000km de distancia.

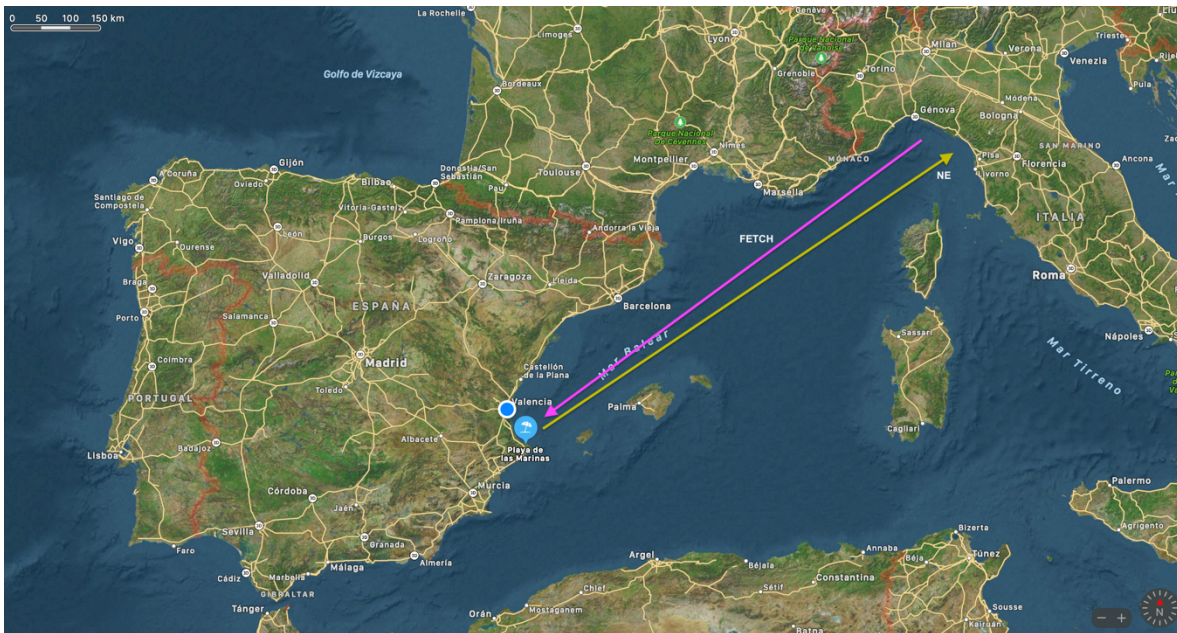


Figura 6. Orientación NE y fetch playa de Las Marinas. Fuente: [googlemaps.com](http://googlemaps.com)

A continuación, se muestran las rosas de oleajes por periodos estacionales. Se observa una gran anomalía en la rosa de los vientos en la estación veraniega, donde aparece una gran cantidad de vientos de componente ESE. Estos vientos aparecen con una mayor frecuencia en los meses estivales y se trata de unos vientos de carácter térmico provocados por el Cabo de San Antonio con dirección E hacia la localidad de Oliva.

El viento principal en la temporada de verano es el Siroco o Xaloc (en la zona), comienzan a generarse en el mes de marzo y suelen producirse hasta diciembre. Estos vientos térmicos de aproximadamente entre 12 y 18 nudos (22 -33km/h) a parte de suponer un contraste frente a la predominancia anual del viento de componente NE, genera un atractivo en la ciudad de Denia ya que es perfecto para la realización de numerosos deportes náuticos como el *windsurf*, *kitesurf* o la práctica de regatas de vela. Este choque térmico es provocado por las altas temperaturas del viento terrestre que impactan contra el viento húmedo y mas fresco del mar. Más adelante se comprobará la influencia de este viento sobre el transporte de sólido litoral y su



afección positiva o negativa sobre la línea de costa de la playa de Las Marinas, tramo de estudio de este trabajo de fin de grado.

LUGAR : SIMAR 2085107

PERIODO : Dic. - Feb.

CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

SERIE ANALIZADA : Ene. 1958 - May. 2017

INTERVALO DE CALMAS : 0 - 0.2

PORCENTAJE DE CALMAS : 19.59 %

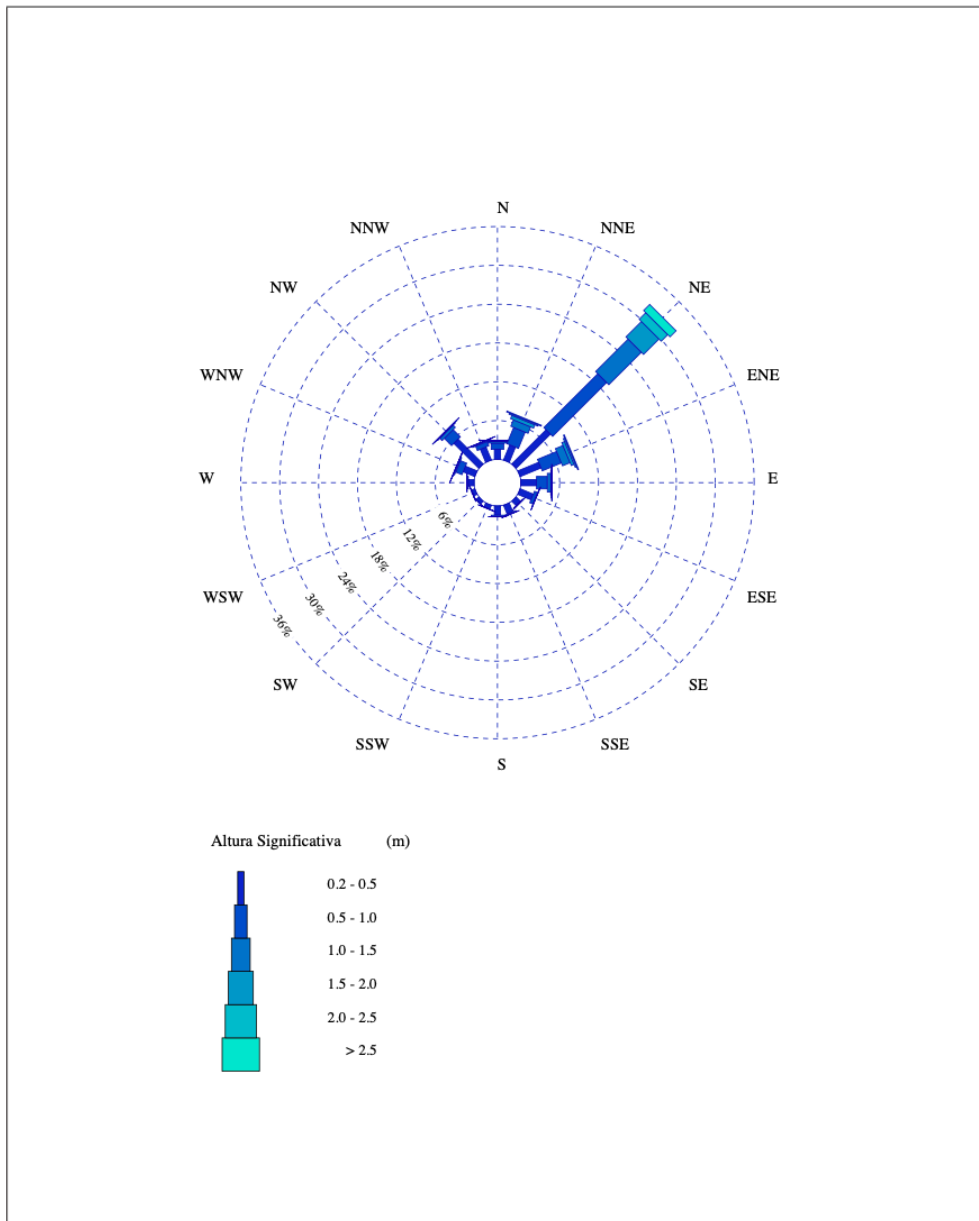


Figura 7. Datos Dic-Feb, Años 1958-2017. SIMAR 2085107. Fuente: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)

ROSA DE ALTURA SIGNIFICATIVA

LUGAR : SIMAR 2085107

PERIODO : Mar. - May.

CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

SERIE ANALIZADA : Ene. 1958 - May. 2017

INTERVALO DE CALMAS : 0 - 0.2

PORCENTAJE DE CALMAS : 18.23 %

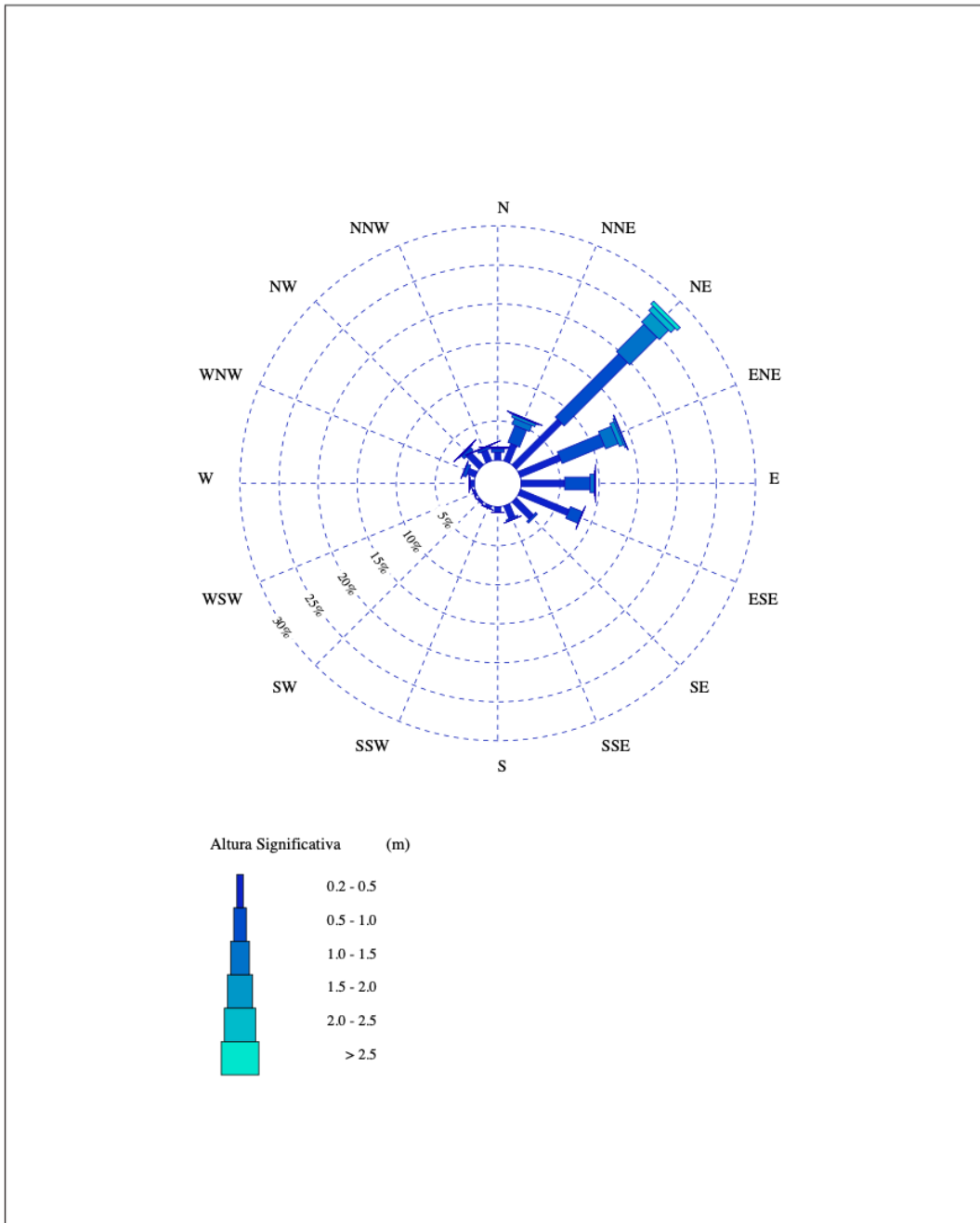


Figura 8. Datos rosa de altura significativa Mar-May. SIMAR 2085107. Fuente: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)

ROSA DE ALTURA SIGNIFICATIVA

LUGAR : SIMAR 2085107

PERIODO : Jun. - Ago.

CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

SERIE ANALIZADA : Ene. 1958 - May. 2017

INTERVALO DE CALMAS : 0 - 0.2

PORCENTAJE DE CALMAS : 10.36 %

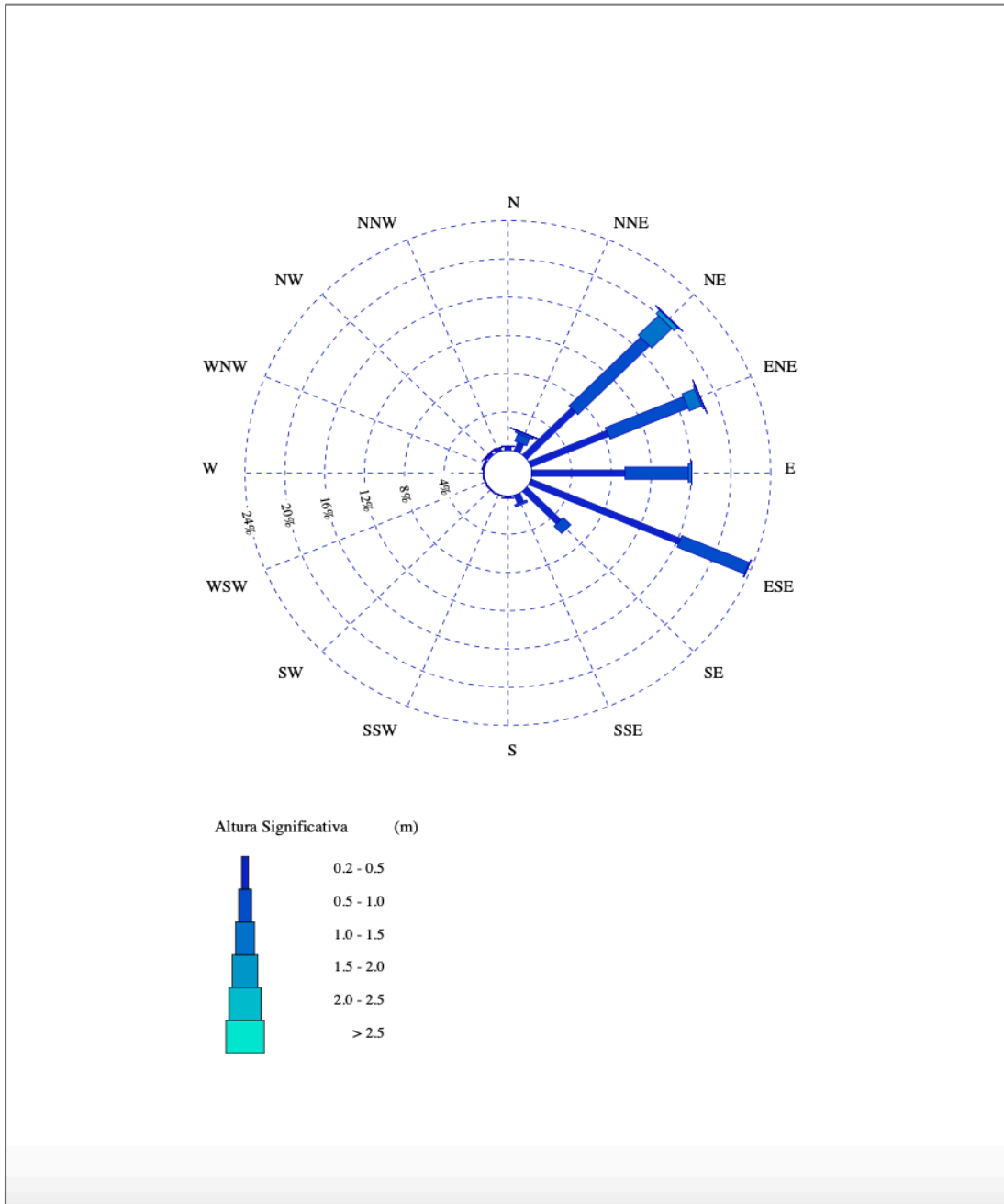


Figura 9. Datos rosa de altura significativa Jun-Ago. SIMAR 2085107. Fuente: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)

ROSA DE ALTURA SIGNIFICATIVA

LUGAR : SIMAR 2085107

PERIODO : Sep. - Nov.

CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

SERIE ANALIZADA : Ene. 1958 - May. 2017

INTERVALO DE CALMAS : 0 - 0.2

PORCENTAJE DE CALMAS : 16.09 %

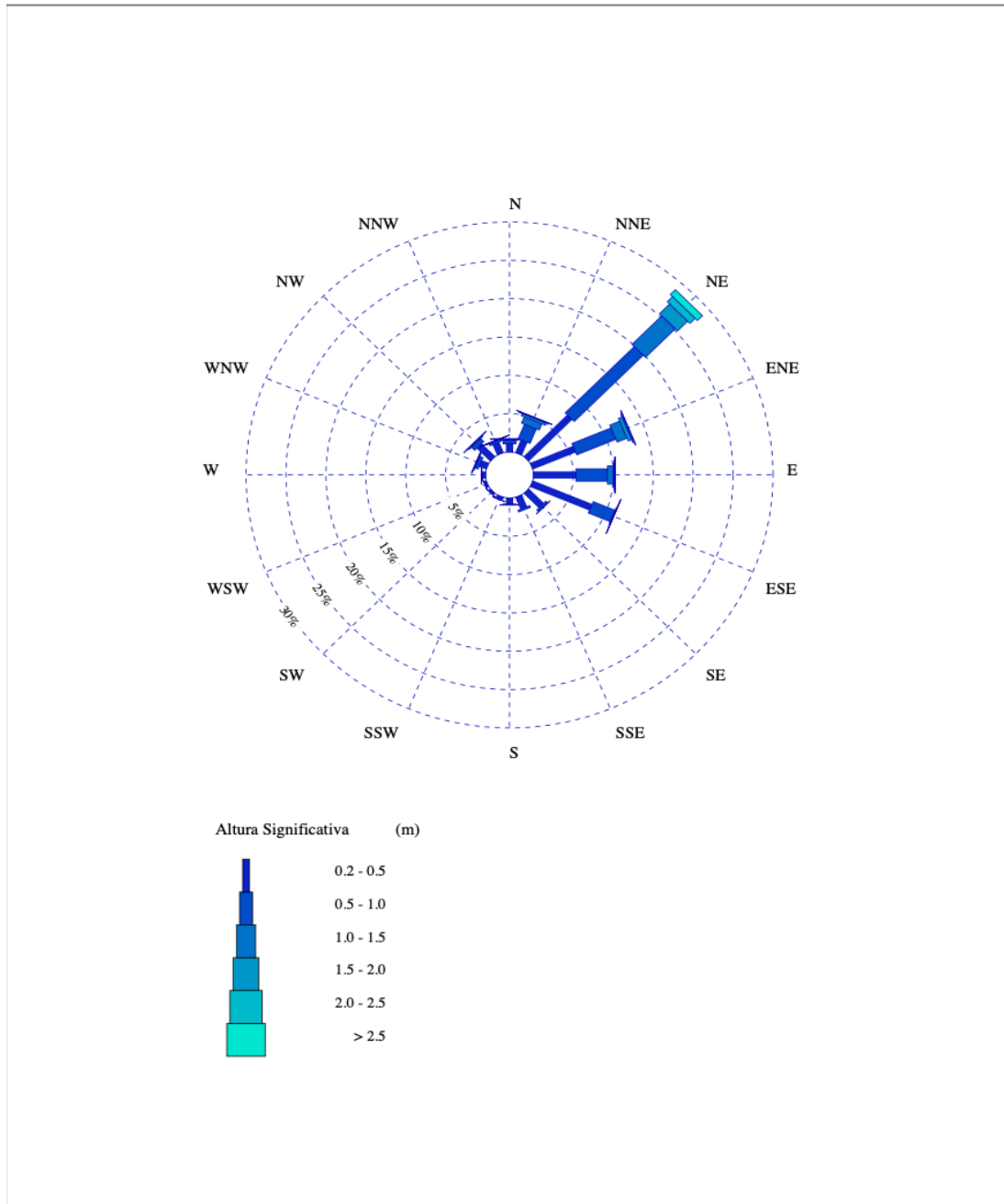


Figura 10. Datos rosa de altura significativa Sep-Nov. SIMAR 2085107. Fuente: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)





## Anexo II. Cálculo del FME:

En este anexo se adjunta toda la información y los datos sobre el proceso del cálculo del FME (flujo medio de energía), que representa el movimiento anual de sedimentos entre dos puntos de la costa. Para ello se emplea el método de Longuet-Higgins, que se basa en la longitud de avance de la costa entre dos puntos y su distancia en línea recta. Empleando así una estimación en superficie triangular y una extrapolación a volumen con una estimación del espesor de la capa de sedimento depositada. Para poder emplear este método de Longuet-Higgins se necesita que uno de los puntos de la costa se mantenga estable en cuanto a avance o retroceso para evitar que los cálculos sean equívocos.

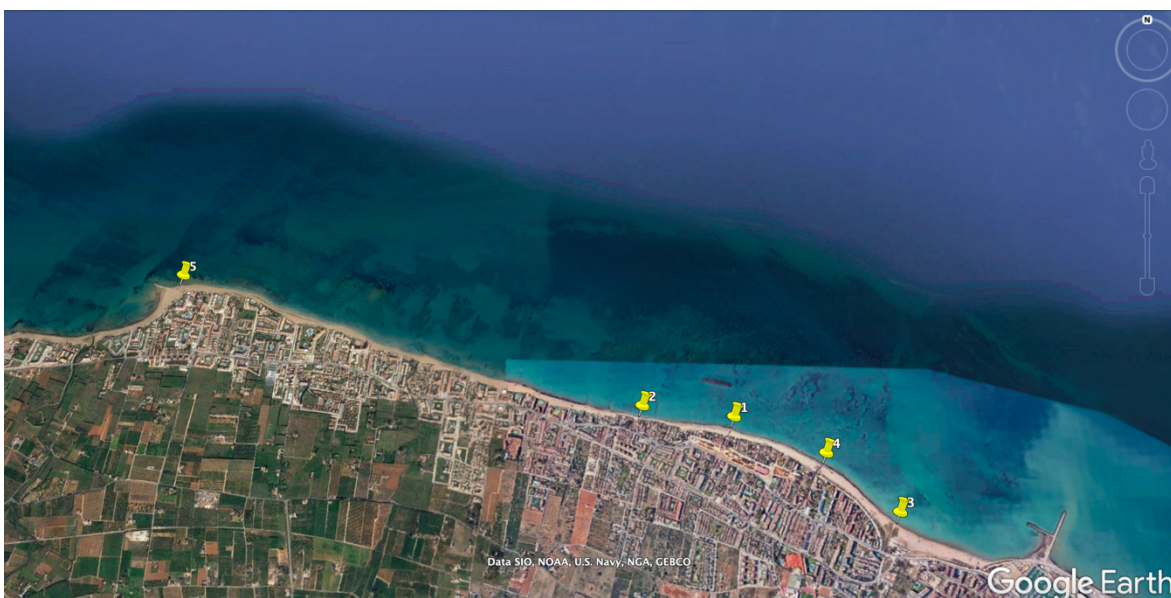


Figura 1. Puntos para el cálculo del FME. Fuente: [googleearth.com](http://googleearth.com)

La longitud entre los puntos ha sido calculada también mediante la herramienta "regla" de Google Earth y se han obtenido las siguientes distancias:

- Longitud 1-N: 650m
- Longitud 1-2: 570m
- Longitud 1-3: 1135m
- Longitud 1-4: 595m
- Longitud 1-5: 3685m

Para el cálculo de sedimentos se ha escogido el punto N, denominado así por ser punto de no afección, y se ha calculado el volumen perdido con el punto 1 (se ha escogido para el cálculo inicial el punto 1 en lugar del 2 por su mayor distancia al punto N y así obtener una aproximación más real). Una vez calculado el flujo de sedimentos, mediante la ayuda de la rosa de los vientos y las distintas orientaciones de los puntos

escogidos respecto del oleaje incidente, se hará una estimación del cálculo transportado anualmente a cada punto, bien sea positivo o negativo.

Comparando las líneas de costa de los años 2002 y 2009, (se han escogido estas dos fechas porque en gran parte de las fotografías de Google Earth de otros años se han realizado aportes de arena o cambios muy significativos en periodos de tiempo muy cortos que podían alterar considerablemente el cálculo del transporte de sedimentos) se observa que en una distancia de 650m en línea recta (distancia entre el punto N y el punto 1), la línea de costa ha retrocedido 21m. Con la ayuda de una tabla de Excel, suponiendo una pérdida en altura de 1m de arena y teniendo en cuenta el periodo de 7 años, se ha calculado un balance negativo anual entre los puntos N y 1 de **32910 m<sup>3</sup>/año**.

Una vez calculado el volumen de transporte, se calcula el potencial de transporte mediante la siguiente fórmula:

$$Q \text{ (m}^3\text{/año)} = \sum [2,027 \cdot 10^6 \cdot H_0^{5/2} \cdot \text{sen}(2\alpha_0) \cdot \text{cos}(\alpha_0)^{1/4} \cdot K_p \cdot K_g]$$

$H_0$  = altura de ola significativa en profundidades indefinidas

$\alpha_0$  = dirección del oleaje en profundidades indefinidas respecto de la normal de la costa

$K_p$  = probabilidad, en tanto por uno, de presentación de una altura de ola en una determi

$K_g$  = coeficiente geométrico

*Figura 56: Fórmula cálculo de potencial de transporte de sedimentos. Fuente:*

Para poder aplicar la fórmula anterior y poder calcular el potencial real, se necesita obtener los parámetros  $K_p$ ,  $K_g$ ,  $H_s$ ,  $T_s$  y  $h^*$ . Estos, se obtienen con las siguientes fórmulas:

$$h^* = 1,75 H_{s12} - 57,9 \left( \frac{H_{s12}^2}{g T_s^2} \right)$$

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

$H_{s12}$  = Altura de ola significativa superada 12 horas al año  
 $T_s$  = Periodo significativo del oleaje

$$T_p = 5,55 H_s^{0,31}$$

*Figura 57 y 58 : Fórmulas cálculo  $H_s$ ,  $T_s$  y  $h^*$ . Fuente:*

Con las fórmulas anteriores y con la función de distribución Weibull basada en los parámetros A, B y C obtenidos de la gráfica de régimen medio de altura significativa que nos ofrece la boya SIMAR 2085107, se calcula el potencial de transporte.

ANUAL

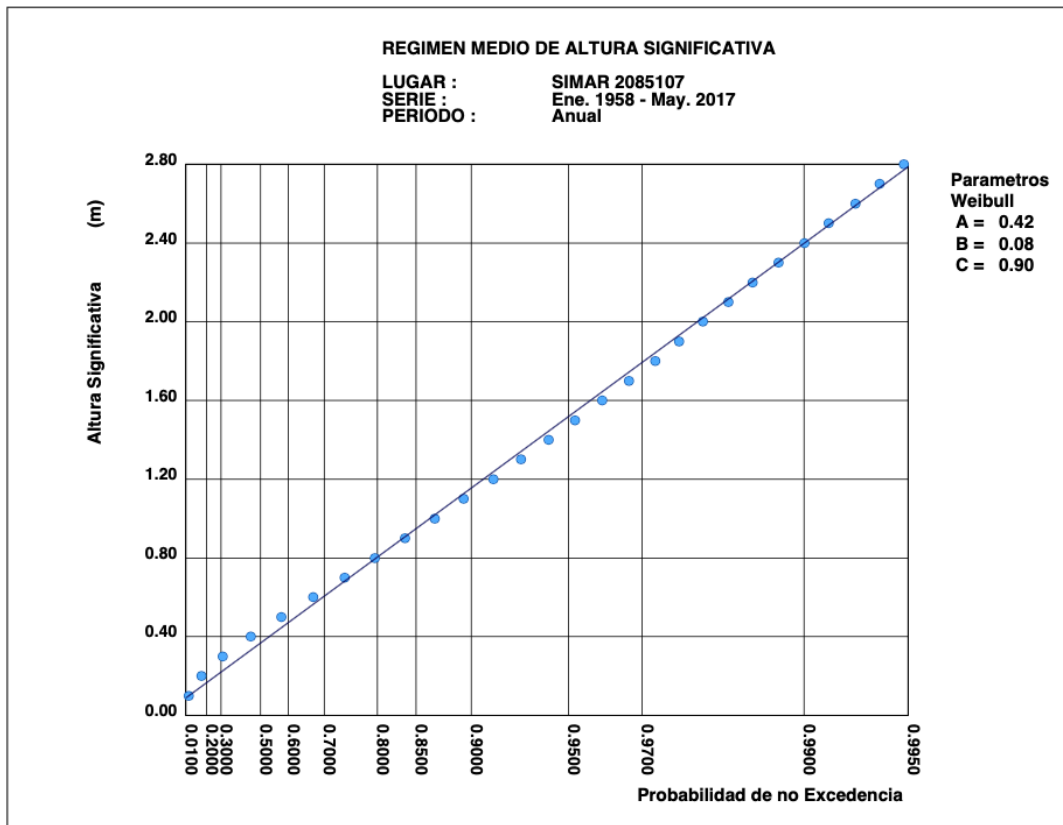


Figura 2: Tabla de régimen medio de altura significativa de la boya SIMAR 2085107.  
Fuente: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)

En la siguiente imagen, tomada directamente del Excel mencionado anteriormente, se aprecian los datos obtenidos de una forma agrupada y más aclaratoria. El cálculo corresponde al FME entre el punto N y el punto 1. Las coordenadas de los puntos N y 1 son las siguientes:

- Coordenadas punto N:
  - o Latitud: 38°51'20.13"N
  - o Longitud: 0° 4'59.56"E
- Coordenadas punto 1:
  - o Latitud: 38°51'17.02"N
  - o Longitud: 0° 5'26.55"E

La 21 m  
h\* 4,83 m  
hb 1 m  
A 699,15 m<sup>2</sup>  
D 659 m  
V 230370,4 m<sup>3</sup>  
T(años) 7 años  
V/año 32910 m<sup>3</sup>/año  
  
Pno exc 0,9986  
x 3,334964031  
A 0,42  
B -0,08  
C 0,9  
Fe 0,9986  
  
Error 5,96569E-13  
  
Hs12 3,33 m  
Ts 8,06 s

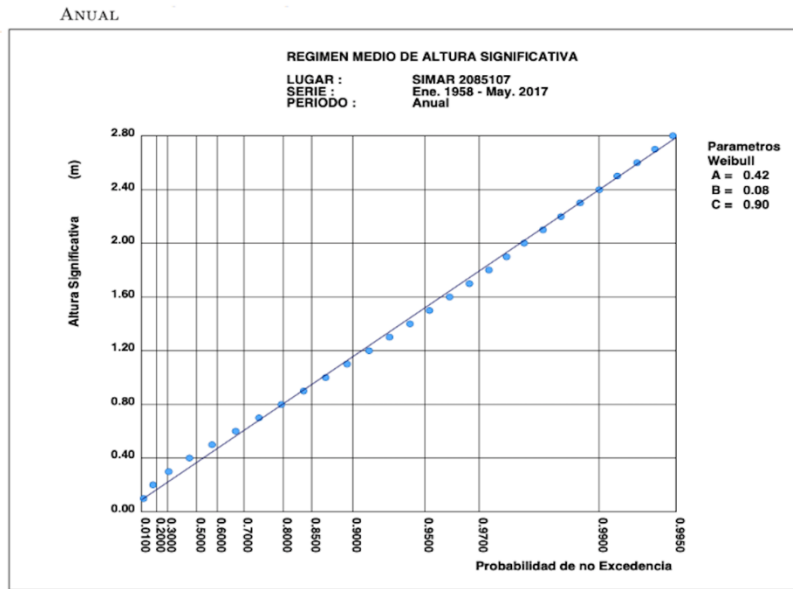


Figura 3: Datos y resultados obtenidos. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestran los cálculos del potencial obtenido para cada punto en los que se ha calculado. Como se puede observar, se pierde arena en todos los puntos de este tramo, por lo que la costa se encuentra en una clara recesión. El transporte sigue la dirección SE-NW.

Punto 2		Hs											Suma	¿Afecta?
ang.lc(°)	-5													
kg	0,540													
	Ángulo	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5			
N	-85	-179,39945	-520,3231	-281,64751	-332,88361	-285,66078	-160,93322	-47,319775	0	0	0	-1808,16743	1	
NNE	-62,5	-2493,4186	-14747,717	-15046,547	-13207,674	-7155,506	-3224,9681	-3047,9432	-2364,3634	-634,78336	0	-61922,9199	1	
NE	-40	-13497,819	-115057,02	-140069,72	-104475,33	-79499,83	-56731,416	-43897,218	-24840,137	-13424,752	-6199,1334	-597692,373	1	
ENE	-17,5	-6402,9833	-35445,471	-24440,422	-14805,802	-9316,1854	-4930,805	-142,13945	-595,40948	0	0	-96079,2174	1	
E	5	1906,35783	7243,74223	2756,72462	1020,12459	600,281033	236,726973	43,5035534	0	0	0	13807,46082	1	
W	27,5	751,932671	826,358865	191,762296	0	0	0	0	0	0	0	1770,053832	0	
WNW	50	1734,65308	4805,02897	2392,97039	654,972255	0	150,407608	0	0	0	0	9738,03231	1	
NW	72,5	2120,49915	3155,69384	2356,51961	1183,07585	459,277436	72,4483041	0	0	0	0	9347,514187	1	
NNW	95	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	1	
												Qformula-2	-724609,67 m <sup>3</sup> /año	

Punto 3		Hs											Suma	¿Afecta?
ang.lc(°)	5													
kg	0,540													
	Ángulo	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5			
N	-95	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	1	
NNE	-72,5	-1568,3971	-9276,5315	-9464,5	-8307,8215	-4500,9189	-2028,5525	-1917,2012	-1487,2195	-399,2881	0	-38950,4303	1	
NE	-50	-12918,645	-110120,07	-134059,52	-99992,431	-76088,598	-54297,147	-42013,647	-23774,28	-12848,714	-5933,1368	-572046,188	0	
ENE	-27,5	-8980,1366	-49712,01	-34277,51	-20765,028	-13065,881	-6915,4174	-199,34952	-835,05738	0	0	-134750,39	0	
E	-5	-1906,35783	-7243,7422	-2756,7246	-1020,1246	-600,281033	-236,72697	-43,503553	0	0	0	-13807,4608	0	
W	17,5	536,140212	589,207297	136,729632	0	0	0	0	0	0	0	1262,077142	0	
WNW	40	1812,42168	5020,44979	2500,25292	684,336211	0	157,150737	0	0	0	0	10174,61134	0	
NW	62,5	3371,14373	5016,88364	10180,3429	1880,83959	730,153676	230,354864	0	0	0	0	21409,7184	1	
NNW	85	91,2509894	516,193547	1422,46215	2920,03166	5101,08538	8046,66105	11829,9438	16518,1935	0	0	46445,82212	1	
												Qformula-1	-17540,7119 m <sup>3</sup> /año	

**Punto 4**

ang.lc(°) 10  
kg 0,540

	Ángulo	Hs										Suma	¿Afecta?	
		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5			
N	-100	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!		
NNE	-77,5	-1064,4168	-6295,6608	-6423,2284	-5638,2309	-3054,6178	-1376,7084	-1301,1381	-1009,3244	-270,98301	-5638,2309	0	-26434,3085	1
NE	-55	-11980,703	-102124,94	-124326,29	-92732,6	-70564,276	-50354,967	-38963,296	-22048,177	-11915,848	-5502,3685	0	-530513,457	1
ENE	-32,5	-9811,1339	-54312,223	-37449,457	-22686,567	-14274,962	-7555,3512	-217,79678	-912,33131	0	0	0	-147219,822	1
E	-10	-3744,0159	-14226,44	-5414,1047	-2003,4868	-1178,9296	-464,92297	-85,439362	0	0	0	0	-27117,3398	0
W	12,5	397,352402	436,682289	101,335148	0	0	0	0	0	0	0	0	935,3698388	0
WNW	35	1758,61691	4871,40933	2426,02872	664,020544	0	152,485454	0	0	0	0	0	9872,560965	1
NW	57,5	3873,83566	5764,98195	4305,00984	2161,30312	839,031371	132,352246	0	0	0	0	0	17076,51418	1
NNW	80	584,223047	818,968646	459,351158	300,652796	262,60941	112,977502	0	0	0	0	0	2538,782559	1

Qformula-1 -674679,731 m3/año

**Punto 5**

ang.lc(°) -5  
kg 0,540

	Ángulo	Hs										Suma	¿Afecta?	
		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5			
N	-85	-179,39945	-520,3231	-281,64751	-332,88361	-285,66078	-160,93322	-47,319775	0	0	0	0	-1808,16743	1
NNE	-62,5	-2493,4186	-14747,717	-15046,547	-13207,674	-7155,506	-3224,9681	-3047,9432	-2364,3634	-634,78336	0	0	-61922,9199	1
NE	-40	-13497,819	-115057,02	-140069,72	-104475,33	-79499,83	-56731,416	-43897,218	-24840,137	-13424,752	-6199,1334	0	-597692,373	1
ENE	-17,5	-6402,9833	-35445,471	-24440,422	-14805,802	-9316,1854	-4930,805	-142,13945	-595,40948	0	0	0	-96079,2174	1
E	5	1906,35783	7243,74223	2756,72462	1020,12459	600,281033	236,726973	43,5035534	0	0	0	0	13807,46082	1
W	27,5	751,932671	826,358865	191,762296	0	0	0	0	0	0	0	0	1770,053832	1
WNW	50	1734,65308	4805,02897	2392,97039	654,972255	0	150,407608	0	0	0	0	0	9738,03231	1
NW	72,5	2120,49915	3155,69384	2356,51961	1183,07585	459,277436	72,4483041	0	0	0	0	0	9347,514187	1
NNW	95	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	1

Qformula-1 -722839,616 m3/año



## Anexo III. Solución empleada

Este Anexo III se va a centrar en dar más detalles e información sobre dos de las soluciones empleadas: los cubípodos y la regeneración dunar por medios naturales mediante los captadores de mimbre. Ambas soluciones aparecen ya en otros proyectos y como parte de otras soluciones y están actualmente asentadas en el mundo de la regeneración y defensa de las costas.

En primer lugar, se va a describir un poco la historia del cubípedo y sus beneficios que le han llevado a ser elegido para la solución de la regeneración del frente litoral costero de la playa de Les Marines T.M. Denia.

El cubípedo es una pieza masiva de la familia del bloque cúbico y con una resistencia estructural elevada. Su creación surgió para dar soluciones a los costosos diques de talud tanto por su elevado precio como por su gran cantidad de material requerido. Debido a su mayor resistencia hidráulica y a su ausencia de necesidad de una colocación por trabazón, ha ganado la partida a otros elementos como el cubo, tetrápodo, Dolo, Acropode™, Core-Loc™ o el Xbloc®.

Surgió como un proyecto de innovación por parte de la Universidad de Cantabria y de la Universitat Politècnica de Valencia por medio de los profesores Josep Ramon Medina Folgado y María Esther Gómez Martín y actualmente se encuentra bajo la patente de la marca SATO y se ha empleado en numerosas obras como las del puerto de Málaga o el dique de Punta Langosteira del puerto de A Coruña.

La figura del cubípedo está basada en un cubo con unas pertuberancias en el centro de cada uno de sus lados que le permite obtener una resistencia hidráulica mayor con un peso y por tanto un volumen de hormigón menor. Al reducir el volumen se reduce también el precio de esta pieza y las emisiones de CO<sub>2</sub> que emite el hormigón durante su proceso de curado y fraguado.



Figura 1: Cubípedo. Fuente: upv.es



Figura 2: Cubípodos de 6t en el dique de San Andrés (Málaga). Fuente: Manual del cubípedo.

Centrándonos ya en la aplicación directa a este estudio se ha decidido optar por él, principalmente por su capacidad de permeabilidad y paso del agua y otras especies por el interior de el dique exento. Este pequeño detalle permite que puedan prosperar las praderas de posidonia tanto en el trasdos como en el intrados del dique favoreciendo así una mejor calidad de las aguas y una mayor defensa frente a la erosión causada por el oleaje. Con el paso del agua por los huecos que se forman entre los cubípodos, también se va a generar un espacio de refugio y vida para numerosas especies que habitan en la zona y que pueden ver un poco alterado su habitat durante el proceso de construcción de estos diques. Así, se compensa el efecto negativo que se pueda crear a especies como los pulpos, sepias y distintas especies de peces que habitan la zona.

El hecho de que gracias a estos diques pueda prosperar la posidonia oceánica, supone un gran efecto positivo para la costa de Las Marinas, ya que aportan oxígeno al agua, suponen una barrera para la erosión y generan una mayor visibilidad dentro del agua debido a su función filtrante.

Para obtener una mayor información sobre el cubípedo y sus características se recomienda el uso del *Manual del cubípedo*, dónde se pueden encontrar sus características básicas y especialmente las ayudas al cálculo de estos y de sus uso en diques monocapa y bicapa.



Figura 3: Mapa de posidonia oceánica en la costa de denia. Fuente: miteco.gob.es y googleearth.com.

En la figura 60 se observa el mapa con las zonas donde se encuentran las praderas de posidonia y en el que ya se aprecia un retroceso claro en los últimos años, ya que hace una década las praderas de posidonia llegaban hasta escasos 20m de la orilla de la playa de Las Marinas. Con la construcción de esta serie de diques exentos se pretende también proteger y regenerar el medio ambiente y en especial el objetivo nº 14 de los ODS, vida submarina.

La solución escogida de los diques exentos supone una continuación con la solución ya empleada en la zona, es uno de los motivos por los que se ha optado por la elección de esta tipología de dique. A parte de por sus numerosas ventajas cómo la reducción de materiales debido al menor volumen necesario o el nulo impacto visual que tiene desde la costa. Otra de las ventajas respecto a la solución planteada inicialmente que se basaba en una serie de diques transversales a la línea de la costa, es su construcción por vía marítima, ya que aunque tiene un coste mayor debido al incremento que supone el uso de embarcaciones para el transporte y colocación de los cubípodos, supone un impacto ambiental mucho menor en la zona. Al construirse por vía marítima no se han de construir caminos de acceso por la zona de la playa seca y se reduce así considerablemente el impacto ambiental causado. Otra de las ventajas de la construcción de este tipo de dique es que se va a reducir la turbidez del agua debido a la ausencia de materiales finos que al dejarlos caer suponen una gran turbidez por mantenerse en suspensión durante cierto tiempo. Podría decirse que se trata de la solución menos invasiva y más respetuosa con el medio ambiente, teniendo siempre en cuenta que inicialmente se va a generar un impacto medioambiental negativo.

Al continuar con la solución ya existente en la playa de las marinas y que se puede observar que funciona de una forma bastante eficaz, en las imágenes aéreas se observa una mayor acumulación de arena gracias a la existencia de este dique exento ya construido. Se pretende también dar una solución continuista y que respeta las obras ya realizadas con anterioridad y que tienen un correcto funcionamiento. A pesar de observarse claramente en las imágenes aéreas, también se puede ver perfectamente el ejemplo desde la carta batimétrica que nos ofrece la web [navionics.com](http://navionics.com) y en la que se ve una acumulación de sedimentos y por tanto una disminución del calado debido a un aumento de la cota batimétrica causada por el dique exento que se encuentra en las inmediaciones de la playa de Las Marinas.

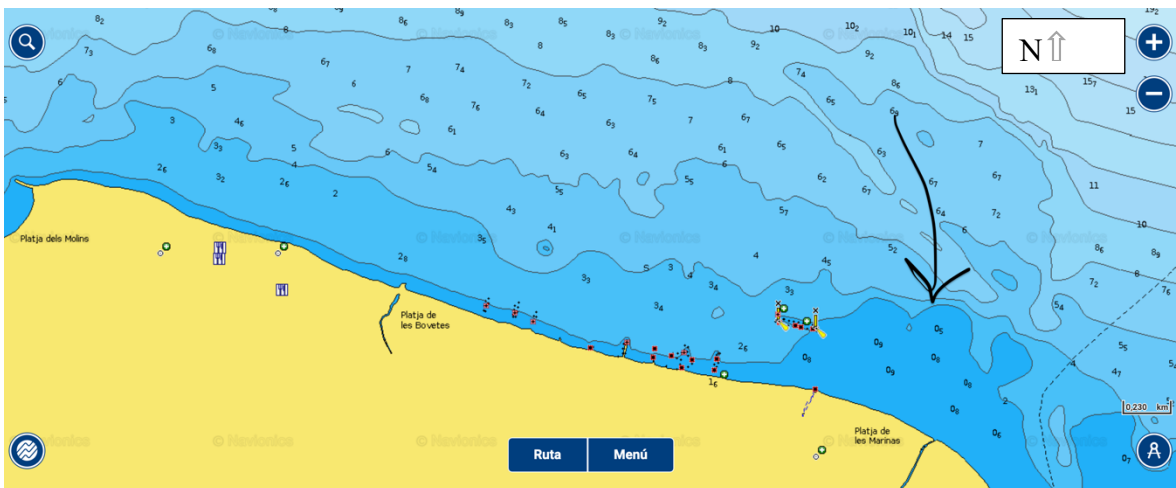


Figura 4: Mapa cartográfico costa de Denia. Fuente: [navionics.com](http://navionics.com).

A continuación se muestra una serie de ejemplos ya finalizados dónde se aprecia el proceso de regeneración dunar y la forma en la que se va a construir siguiendo los consejos del Ministerio para la Transición Ecológica del Gobierno de España. Debido a que el proceso ya se ha explicado en el apartado 5.4 Regeneración dunar, dónde se ha seguido el *Manual de restauración de dunas costeras*.

En primer lugar se muestra una figura dónde se representan las distintas zonas de la playa-duna y el grado de sensibilidad o afección de los distintos tramos. Se puede apreciar como la zona dunar es una de las más sensibles y por eso se propone la especial protección de esta. Para conocer la protección dunar, ir al apartado 8. Programa de seguimiento.



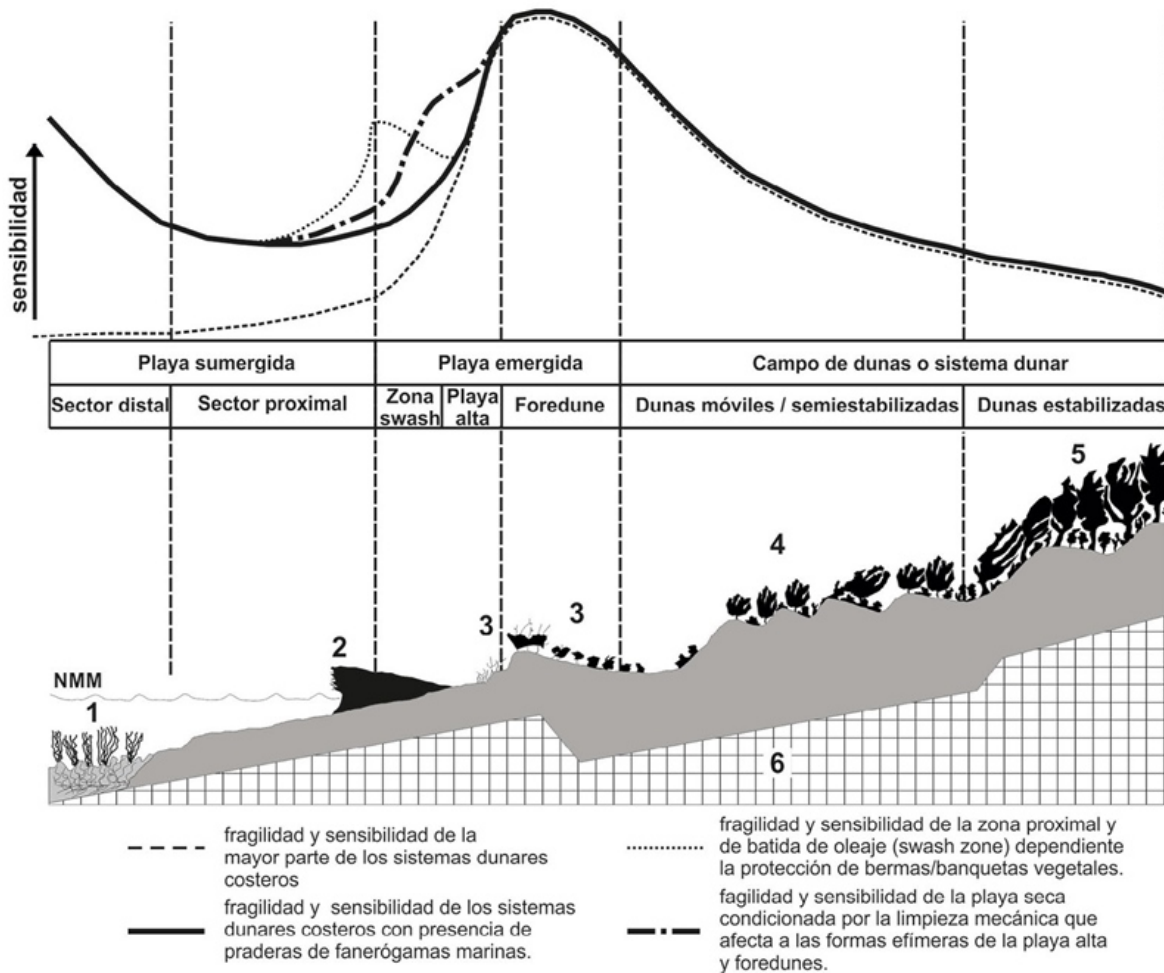


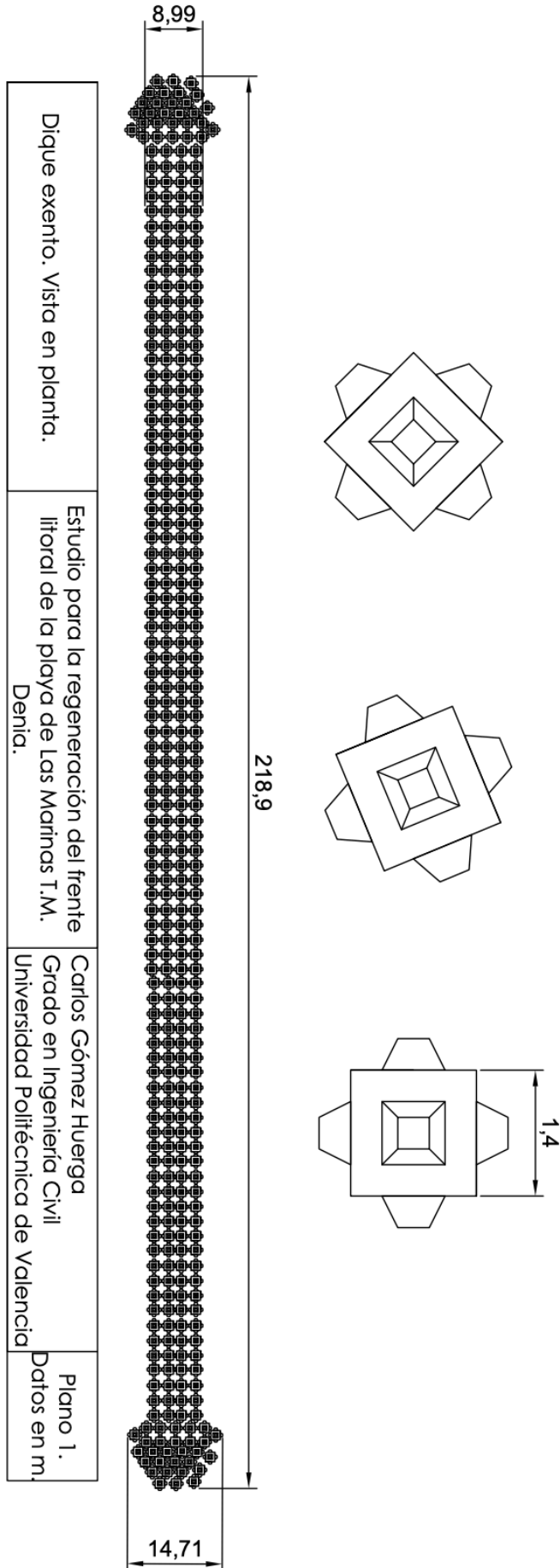
Figura 5: Sectores de la playa-duna y sus diferentes grados de sensibilidad geoambiental  
 Fuente: Balaguer y Roig-Munar (2016), modificada de Roig-Munar (2004), Rodríguez-Perea et al. (2000) y Brown y McLachan (1990).

Para consultar más información sobre cual sería el estado final del proceso de regeneración dunar, consultar el Anexo V, dónde se han colocado fotografías de como se encuentra actualmente el pequeño tramo de la playa dónde si que se ha conservado el cordón dunar y que se pretenede conseguir a lo largo de toda la playa





*Figura 6. Cordón dunar protegido . Fuente: Elaboración propia.*



## Anexo IV. Objetivos de desarrollo sostenible

### INTEGRACIÓN CON OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Los objetivos de desarrollo sostenible son una iniciativa impulsada por Naciones Unidas para dar continuidad a la agenda de desarrollo tras los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Son 17 objetivos y 169 metas propuestos como continuación de los ODM incluyendo nuevas esferas como el cambio climático, la desigualdad económica, la innovación, el consumo sostenible, la paz y la justicia, entre otras prioridades. Tras un proceso de negociación sobre los ODS que involucró a 193 estados miembros de la ONU, el 25 de septiembre de 2015, los 193 dirigentes mundiales aprobaron en una cumbre celebrada en Nueva York en reunión plenaria de alto nivel de la Asamblea General, una Agenda que lleva por título “*Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*”, el que entró en vigor el 1 de enero de 2016.



Figura 1. Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: Naciones Unidas.

La UPV participa en el conocimiento y consecución de los ODS y por ello han sido integrados en este trabajo de fin de grado para tratar de darles visibilidad y concienciar sobre su importancia. El objeto de este proyecto trata de cumplir los objetivos de desarrollo sostenible y en consecuencia se ven reflejados mayoritariamente los siguientes:

#### ODS nº11: Ciudades y comunidades sostenibles.



En este trabajo se trata de dar una solución viable al problema de erosión que ocurre en la playa de Las Marinas. Actualmente esta playa no es sostenible a nivel medioambiental ni económicamente puesto que se han realizado actuaciones que

no han conseguido solucionar el problema. Se pretende generar una playa estable y sostenible a largo plazo.

Con la regeneración del frente litoral se pretende generar una playa estable y sostenible en el futuro, con la regeneración dunar planteada se pretende generar un espacio que sirva como almacén de arena y que genere un hábitat tanto para vegetación como para zona de reproducción y cría de aves. No solo para frenar la erosión y aumentar el tamaño de la playa. Esto permitirá a la localidad de Denia ser mucho más sostenible a largo plazo puesto que evitará el uso de maquinaria y demás reparaciones que se tienen que hacer cada año.

### **ODS nº7: Energía asequible y no contaminante.**

Las obras que se lleven a cabo para la reforma de esta playa se tratarán de hacer con la maquinaria menos contaminante posible, a pesar de ser conscientes de que se van a emitir gases de CO<sub>2</sub> a la atmósfera para la solución tomada.



El hecho de haber optado por unos captadores de arena formados por espartina en vez de utilizar un tablestacado de madera, proporciona una solución mucho menos contaminante y que no necesita de maquinaria para su plantación. Reduciendo la emisión de CO<sub>2</sub> considerablemente.

### **ODS nº13: Acción por el clima.**

Este proyecto tiene como finalidad conservar la playa y todas sus partes. Es un proyecto que trata de conservar el hábitat de la zona y que gracias a su conservación evitará cambios mas radicales en el clima de la zona, previniendo la costa de mayores efectos causados por los temporales, evitando la desaparición de especies de la zona como la posidonia respetando sus praderas en la colocación del dique exento de cubípodos.



Reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> con las medidas que ya se han comentado anteriormente supone un pequeño grano de arena a la acción por el clima de estos ODS

### **ODS nº 14: Vida submarina.**

En este proyecto se pretende salvar la posidonia de la playa y todo el hábitat que ella conforma. Si se consigue evitar la desaparición de la posidonia oceánica,



también conseguiremos mantener un mayor número de especies. La vida submarina también depende de la protección que ofrezca la playa y si esta entra en retroceso y se conforma como una playa muerta, también será una playa muerta a nivel de hábitat marino. Se propone prohibir la pesca de arrastre en la zona para proteger la posidonia oceánica y numerosas especies endémicas de la zona que sufren los efectos de este tipo de pesca.

Con la construcción de la serie de diques exentos también se pretende formar un hábitat en el que las especies submarinas puedan prosperar y generar un ecosistema marino que actualmente se encuentra dañado.

### **ODS nº 15: Vida de ecosistemas terrestres.**

Con la protección que se pretende dar a la playa y con la regeneración dunar no solo se conseguiría proteger el tramo de playa, si no que se permitiría un mayor progreso de ecosistemas situados en el interior de la costa gracias a la proliferación de aves como consecuencia de esta regeneración dunar que se pretende conseguir. A parte de conseguir mantener una estabilidad en la línea de costas, lo que supone una estabilidad de la playa en toda su longitud.





## Anexo V. Anexo fotográfico

En este anexo se muestra fotografías del estado de la playa de las Marinas en el mes de abril tras el paso del invierno. Cabe destacar que estos efectos no son solo consecuencia del paso del invierno, si no que como se ha explicado con anterioridad, son consecuencia de numerosos problemas arrastrados durante los últimos años. Las imágenes que se muestran a continuación corresponden con el tramo de playa correspondiente al *restaurante Blay-Beach*, el punto en peor estado de la playa de Las Marinas.



*Figura 1. Playa de Las Marinas. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 2. Playa de Las Marinas. Fuente: Elaboración propia.*





*Figura 3. Playa de Las Marinas. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 4. Playa de Las Marinas. Fuente: Elaboración propia.*

A continuación se muestran unas imágenes actuales de la playa de Las Marinas. Las imágenes se tomaron en el mes de agosto de 2021 y se observa principalmente la zona en la que si que quedan dunas y su estado actual.





Figura 5. Playa de Las Marinas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Playa de Las Marinas. Fuente: Elaboración propia





*Figura 7. Playa de Las Marinas, cordón dunar existente. Fuente: Elaboración propia*



*Figura 8. Señalización del cordón dunar. Fuente: Elaboración propia*