

Grado en Ingeniería Civil  
Trabajo Fin de Grado

**FORESHORE DYNAMICS ON HETEROGENEOUS BEACHES:  
ANALYSIS WITH HIGH-RESOLUTION VIDEO CAMERAS**

---

**DINÁMICA DE LA ZONA EMERGIDA EN PLAYAS  
HETEROGÉNEAS: ANÁLISIS CON CÁMARAS DE ALTA  
RESOLUCIÓN**

**AUTOR:**  
Antonio Jesús Torres Alcalde

**TUTORES:**  
Miguel Ortega Sánchez  
Rafael Jesús Bergillos Meca

Granada, junio de 2015



UNIVERSIDAD DE GRANADA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE  
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

# Foreshore dynamics on heterogeneous beaches: analysis with high resolution video cameras

-

Dinámica de la zona emergida en playas heterogéneas:  
Análisis con cámaras de alta resolución

Trabajo Fin de Grado

Grado en ingeniería Civil

Autor:

Antonio Jesús Torres Alcalde

Tutores:

---

# ÍNDICE

1. ABSTRACT/RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. ZONA DE ESTUDIO	3
3.1. DESCRIPCIÓN FÍSICA	3
3.2. CLIMA MARÍTIMO	5
3.2.1. RÉGIMEN MEDIO	6
3.2.2. RÉGIMEN EXTREMAL	7
4. METODOLOGÍA	10
4.1. SELECCIÓN DE EVENTOS DE TORMENTA	10
4.2. SELECCIÓN DE IMÁGENES	11
4.3. ESTACIÓN DE VIDEO MONITORIZACIÓN	11
4.4. OBTENCIÓN DE DATOS	14
5. RESULTADOS	16
5.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	16
5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS	22
5.2.1. VARIABLES CARACTERÍSTICAS DEL OLEAJE	22
5.2.2. VARIABLES GEOMÉTRICAS	25
5.2.3. RELACIÓN ENTRE VARIABLES	26
5.2.3.1. Tormenta del 31 de enero de 2015	28
5.2.3.2. Tormenta del 14 de abril de 2012	30
5.2.3.3. Tormenta del 2 de marzo de 2104	31
5.2.3.4. Periodo de calma: verano de 2013	33
6. CONCLUSIONES	35
7. BIBLIOGRAFÍA	38

---

# 1. ABSTRACT/RESUMEN

At present, foreshore dynamics on sandy beaches has been studied by several authors and it is shown by well descriptions and formulated conceptual models of its behavior. However, these models cannot be applicable on heterogeneous beaches, which present more complex behavior than fine sand beaches.

This work studies the evolution of shoreline on Carchuna Beach (Granada), a mixed sand and gravel beach composed of a wide range of sediment sizes, with different levels of gradation and mixing at depth and frequent cross and alongshore variations. In addition, the beach presents a series of non-periodic cusped features.

For this analysis, daily images captured by a coastal monitoring station have been used to measure the evolution of the foreshore during storm conditions and its natural recovery.

The results obtained from this survey can be summarized in the following points:

1. The behavior of foreshore depends on incoming wave directions.
2. There is exchange of sediments among the studied zones, which is mainly due to changes in wave directions
3. The natural recovery of the beach is very short (less than 24 hours) compared to sandy beaches.

Keyword: Foreshore dynamics, video-imaging, wave, heterogeneous beaches.

---

La dinámica de la zona emergida en playas de arena ha sido estudiada por diversos autores y, a día de hoy, está bien descrita y modelizada. Por el contrario, no ocurre lo mismo en playas de sedimento heterogéneo, que presentan un comportamiento más complejo que las playas de sedimento fino.

Este trabajo analiza la evolución de la línea de costa en la Playa de Carchuna (Granada), compuesta por un amplio rango de tamaños de sedimento cuya distribución es variable tanto en profundidad como transversal y longitudinalmente. Además, presenta una serie de formas cuspidales no periódicamente espaciadas.

Para el análisis, las imágenes diarias captadas por una estación de monitorización costera son usadas para cuantificar la evolución de la zona emergida durante eventos de tormenta y su posterior recuperación.

Las conclusiones extraídas en este estudio pueden resumirse en los siguientes puntos:

1. El comportamiento de la zona emergida depende de la dirección de procedencia del oleaje.
2. Existe transferencia de sedimentos entre las zonas estudiadas, debido principalmente a los cambios de dirección de procedencia del oleaje.
3. El tiempo de recuperación de la playa es muy corto (inferior a 24 horas) en comparación con playas de arena.

Palabras clave: Dinámica de la zona emergida, video-imágenes, oleaje, playas heterogéneas.

---

## 2. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas el litoral andaluz ha experimentado un notable aumento de presencia humana, llegando en la actualidad a albergar a más del 60% de la población andaluza. Las zonas costeras no sólo tienen un enorme valor ecológico, sino también sociocultural, atribuido en gran proporción al sector turístico, agrícola y urbanístico; todos ellos de gran trascendencia económica para la región. No obstante, estas actividades ejercidas de forma intensiva e incontrolada pueden suponer en muchos casos una alta presión sobre el litoral, traduciéndose en usos inadecuados del suelo e invasión de parte de las playas, que pueden dar lugar a efectos catastróficos en las construcciones próximas a las mismas. Las actuaciones que se hacen en la mayor parte de los casos son regeneraciones artificiales aportando arena a las playas, o construcción de espigones. Sin embargo, en muchos casos estas actuaciones pueden llegar a ser contraproducentes.

Una ordenación urbanística adecuada puede reducir el impacto de los temporales en las construcciones colindantes a las playas. Para ello, surge la necesidad de conocer en profundidad el comportamiento de la costa, a fin de obtener la información suficiente para la definición de actuaciones sobre las costas. Esto da justificación a este estudio, que se centra en analizar los efectos de las tormentas sobre la costa, ya que de todos los agentes son los de menor duración y los que mayor modificación geométrica de la costa producen.

Este estudio se encuadra en la playa de Carchuna, situada en el sureste del litoral español. Posee una singular morfología caracterizada por la presencia de cúspides, no periódicamente separadas, a distancias del orden de centenares de metros. El comportamiento y proceso de formación es bien conocido para otras playas, diferenciadas de Carchuna en el tipo de sedimento, distancia de separación de las puntas (del orden de decenas de metros) y la forma en la que están separadas (cúspides separadas de forma periódica), haciendo que los resultados obtenidos en estas playas no sean extrapolables a este caso concreto de estudio, por lo que no se dispone de información detallada. No obstante, sobre esta misma playa fue realizado un análisis teórico (Ortega *et al*, 2003) y otro experimental haciendo uso de las imágenes proporcionadas por la estación de monitorización instalada en las proximidades de la playa (Ortega *et al*, 2010), ambos atribuyen la formación de esta singular morfología al patrón de refracción inducido por el oleaje cuando este incide sobre los valles fluviales sumergidos que componen la batimetría de la zona; además, la acción del oleaje a distintos niveles energéticos no parece alterar esta morfología, sino variar ligeramente las dimensiones de las cúspides, sin llegar a alterar su posición.

Por otro lado, se trata de una playa de sedimento heterogéneo. La mayoría de estudios se han centrado en el estudio de playas de arena, y su comportamiento frente a temporales es bien conocido. En contraposición, existe poca literatura sobre costas de sedimento mixto. Está demostrado que los patrones obtenidos del estudio de playas de arena no son aplicables en playas heterogéneas (Bramato *et al*, 2012). Conocer mejor el comportamiento de este tipo de playas ante eventos de tormenta, y su recuperación natural para mejorar la información existente y posteriormente gestionar la costa de un modo eficiente es el principal objetivo de este estudio.

Para ello se analizarán los resultados procedentes de las imágenes de la estación de monitorización, situada en un faro próximo a la playa, cuyos objetivos cubren el área de estudio en su totalidad. Se cuantificará el avance y retroceso de la línea de costa, para relacionarlo con datos de los estados de mar, como son la altura de ola significativa espectral, el periodo de pico espectral y la dirección de procedencia del oleaje.

## 3. ZONA DE ESTUDIO

### 3.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA

La zona en la que se encuadra este estudio es la playa de Carchuna, situada en la Costa Tropical Granadina. Se encuentra en la ladera sur de la Sierra de Lújar (vertiente sur de Sierra Nevada), bañada por las aguas del Mar de Alborán, limitada al este por la Punta del Llano y al oeste por el Cabo Sacratif.



Figura 1. Situación de la playa de Carchuna.

Cabe destacar la presencia en esta playa de cúspides irregularmente separadas centenares de metros, en las que varían sus dimensiones transversales y longitudinales de forma local, pero mantienen su posición longitudinal en el tiempo. Cada una de estas cúspides se designa por la letra y número H (1-6), correspondiendo H1 al Cabo Sacratif. Este estudio se centra en la zona situada entre H2 y H4, de aproximadamente 1500 m de longitud, ya que es el tramo del que se disponen las imágenes rectificadas de la estación de video monitorización, situada en el Cabo Sacratif (Ortega *et al.*, 2003).

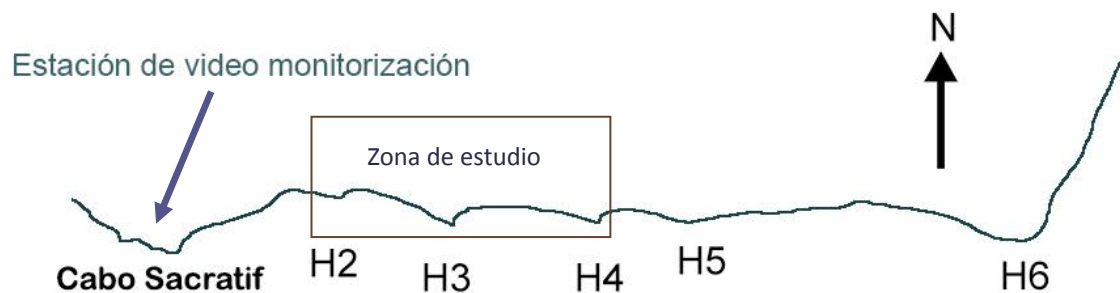


Figura 2. Playa de Carchuna y zona de estudio

En cuanto a la geología del área de estudio, está caracterizada por la presencia de dos formaciones: los mantos Alpujárrides, constituidos por materiales preorogénicos con un alto grado de metamorfismo; y sobre estos se sitúan materiales aluviales, más recientes (Holoceno), que constituyen la playa de Carchuna (Aldaya, 1969, 1970, 1981).

Se distinguen dos grupos principales de oleaje que predominan en la zona: el procedente del Golfo de Cádiz, que incide con componente oeste y periodos altos, generado por las borrascas sudatlánticas y propagado a través del estrecho de Gibraltar; y el procedente del Mar de Alborán, con una marcada componente este, y caracterizado por períodos más cortos, que tiene su origen en las borrascas del seudo frente Mediterráneo. La carrera media de marea es baja (0,6 m), con un valor máximo registrado de 1,1 m (Ortega *et al.*, 2003).

El sedimento en esta playa es heterogéneo, con una disposición graduada de arena fina en las capas superiores, a bloques de tamaño métrico en las capas subyacentes. La pendiente es acusada y varía a lo largo de la playa, en función del tamaño de sedimento predominante (Bramato *et al.*, 2012).

Las precipitaciones en la costa granadina a lo largo del año son escasas, del orden de 350-400 mm/año, distribuidas irregularmente a lo largo del año. Así mismo, la existencia de lluvias torrenciales estivales genera cierto aporte de sedimentos a la playa a través de cauces irregulares con fuertes pendientes que desembocan en la misma (ramblas).

En el estudio de la batimetría se puede destacar la presencia de cañones submarinos, destacando el Cañón de Jolúcar, próximo al Cabo Sacratif. Estos cañones parecen ser la principal causa de la refracción responsable de la formación de las cúspides que caracterizan a esta playa (Ortega *et al.*, 2010). Además se pueden distinguir tres zonas:

1. Franja comprendida entre la costa y una profundidad de 25 metros, se trata de una zona plana, donde la pendiente se incrementa de oeste a este, con unos valores aproximados de 1/30 a 1/8 respectivamente.
2. Plataforma continental hasta una profundidad de 75 m aproximadamente. La alineación se gira a medida que aumenta la profundidad, hasta situarse en prolongación con la playa de Torrenueva.
3. Talud continental que se extiende desde los 75 m hasta los 500 m de profundidad, considerándose profundidades indefinidas

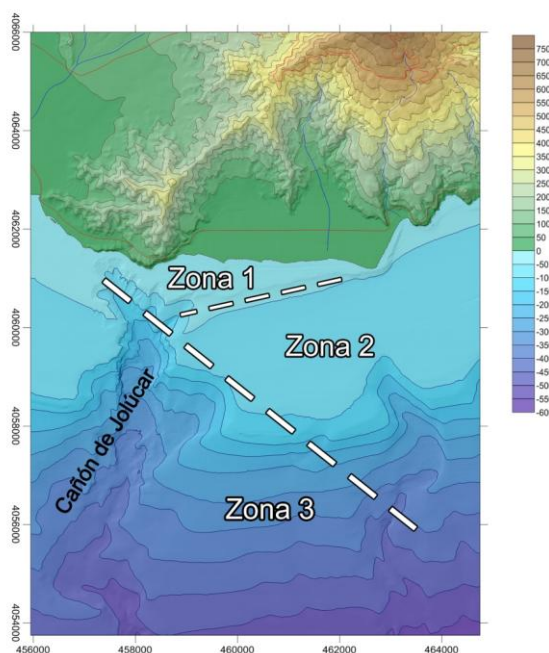


Figura 3. Batimetría de la zona de estudio.

Se ha de tener en cuenta que se trata de una zona bajo fuerte presión urbanística y agrícola, donde los invernaderos y las edificaciones residenciales lindan con la playa, y en disposición muy próxima a la línea de costa. Es por ello que las erosiones derivadas de eventos de gran contenido energético han provocado afecciones a las construcciones limítrofes, siendo necesario llevar a cabo actuaciones de emergencia (López, 2009).

En los últimos años se han realizado aportes de arena a la playa como medida regeneradora, sin embargo, durante el verano de 2014 se ha experimentado una pérdida de arena mayor que en ocasiones anteriores, lo que ha llevado a las autoridades a contemplar la posibilidad de construir espigones. Por otro lado, el sedimento empleado en la regeneración artificial (arena en la mayoría de casos) es rápidamente arrastrado por el oleaje, siendo una solución inadecuada en estas situaciones. Los técnicos afirman que la causa de ello podría ser las obras de ampliación del puerto de Motril o la construcción de sucesivos espigones en las cercanas playas de Torrenueva y Castell de Ferro, reduciendo el aporte de sedimento sobre la playa de Carchuna. Esa medida debería ser estudiada en detalle y a largo plazo, pues la construcción de espigones en zonas no indicadas podría suponer un efecto contrario al deseado.



**Figura 4. Presión urbanística (rojo) y uso agrícola del suelo (verde) sobre la playa de Carchuna (amarillo).**

### 3.2 CLIMA MARÍTIMO

Este apartado trata de caracterizar el oleaje de la zona de estudio, a fin de obtener suficiente información previa al análisis de la morfodinámica de la playa. Por la temática del trabajo, este apartado se dividirá en dos partes: una referida al régimen medio, en el cual se encuadran casi la totalidad de los estados de mar, y otra referida al régimen extremal, no menos importante por su capacidad y rapidez para alterar la morfología de la playa.

Los datos obtenidos emanan de los datos SIMAR, facilitados por el Ente Público Puertos del Estado, en concreto los del subconjunto WANA. Hay que señalar que estos datos no son medidas directas, sino que se obtienen como resultado de un modelado numérico sobre los campos de viento procedentes del modelo numérico HIRLAM, desarrollado por AEMET. Se trata de modelos espectrales de tercera generación que resuelven la ecuación de balance de energía sin establecer ninguna hipótesis a priori sobre la forma del espectro de oleaje.

Para este estudio se han empleado los datos del punto SIMAR 2042080, situado frente a la playa de Carchuna, de coordenadas 36.67° N, 3.50° W.



### 3.2.1. RÉGIMEN MEDIO

Para el régimen medio se han extraído un total de 60917 estados de mar en el periodo comprendido entre el 1 de enero de 1995 y el 9 de marzo de 2015. Los parámetros analizados son:

Altura de ola significativa espectral	m
Periodo de pico espectral	s
Dirección del periodo de pico	N = 0° ; E = 90°
Velocidad media del viento	m/s
Dirección media de procedencia del viento	N = 0° ; E = 90°

Tabla 1. Parámetros analizados en el estudio del clima marítimo de la zona de estudio.

A raíz de los datos obtenidos se han representado gráficamente las siguientes dispersiones:

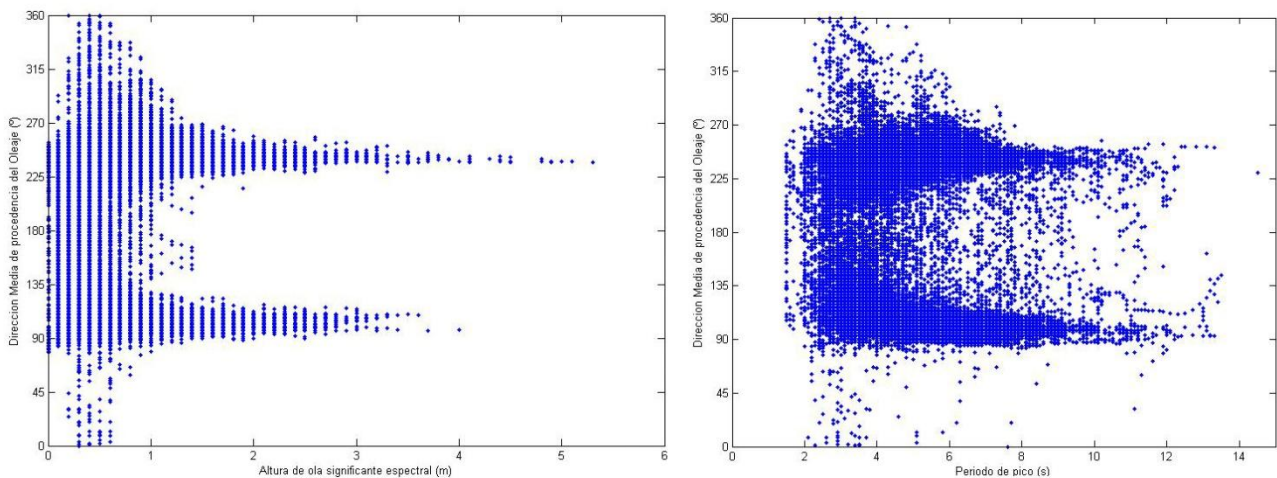


Figura 5. Dirección media de procedencia del oleaje (°) frente a altura de ola significativa espectral (m) y periodo de pico espectral (s).

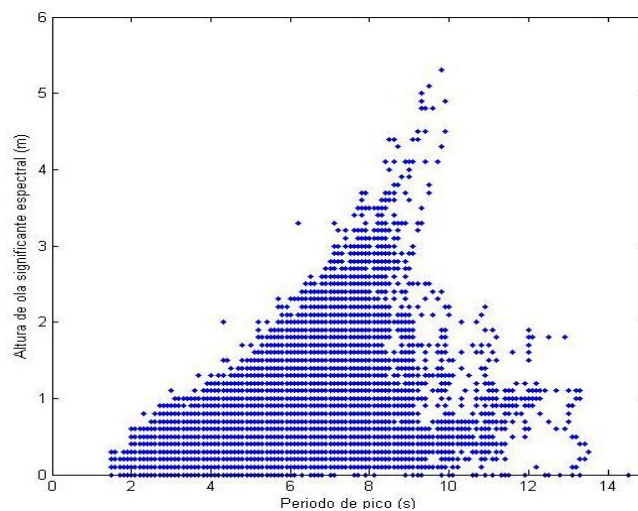


Figura 6. Altura de ola significativa espectral frente a periodo de pico espectral (s)

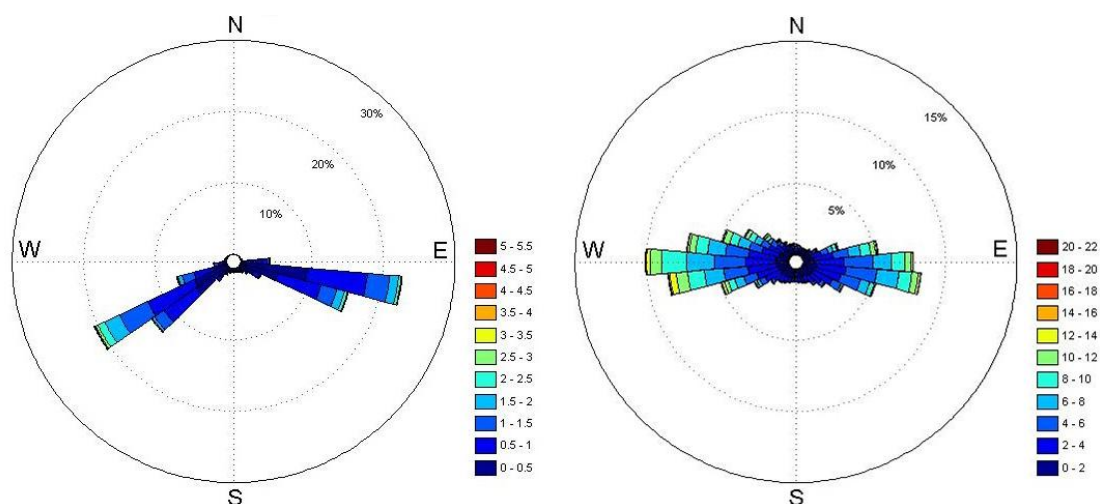


Figura 7. Rosa de oleaje y rosa de vientos, las leyendas que se muestran corresponden a altura de ola significativa espectral (m) y velocidad de viento (m/s) respectivamente.

De las cuales se pueden extraer varias conclusiones:

- Las direcciones norte y sur son prácticamente irrelevantes.
- En rango de valores de periodo de pico espectral oscila entre 1,5 y 14 segundos.
- En rango de valores de altura de ola significativa espectral oscila entre 0 y 5 metros.
- Según la dispersión de altura de ola frente a periodo de pico se observa que a mayores valores de altura de ola, el rango de valores de periodo de pico se reduce.
- La mayoría de estados de mar se concentran en dos direcciones predominantes de oleaje: la sudoeste, generada por las borrascas producidas en el Atlántico Norte, que generan vientos de componente oeste (como se observan en la rosa de viento); y la dirección este con cierta componente sur, provocada por las borrascas del Atlántico Sur, que producen vientos de componente este.
- En el caso del viento, presenta mayoritariamente una velocidad media-baja, comprendida en un rango de 0-10 m/s. Presenta mayor variabilidad direccional que el oleaje, se distribuye de forma aproximadamente simétrica respecto al eje norte-sur, siendo las direcciones este y oeste las predominantes.

### 3.2.2. RÉGIMEN EXTREMAL

Se obtiene filtrando los valores extremos (de altura de ola en este caso) empleados en el régimen medio, mediante la técnica de picos sobre umbral (POT, peaks over threshold). En ella, Se establece un valor umbral por debajo del cual no se seleccionan datos. Este estudio se centra en la evolución de la costa durante eventos de tormenta, es decir, de alto contenido energético. Artículos previos en esta playa (Ortega *et al*, 2003) consideraban un límite inferior de altura de ola de 3 metros, por lo que, siguiendo con este criterio, se ha tomado como valor umbral para POT ese mismo valor.

Además, esta técnica se basa en restringir valores que pueden pertenecer a un mismo evento de tormenta, por lo que, se impone otra condición: el tiempo transcurrido entre dos picos (o tormentas) ha de ser superior a 24 horas, a fin de que todos los valores extremos que se obtengan pertenezcan a eventos independientes. El valor representativo de cada temporal será la altura de ola máxima alcanzada.

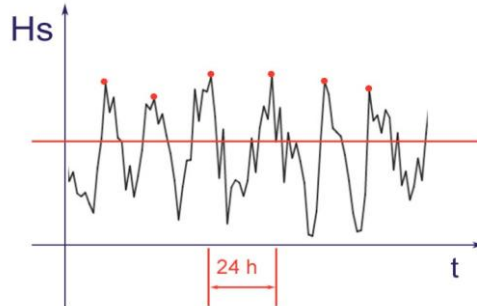


Figura 8. Picos sobre umbral.

Los datos obtenidos después de realizar el filtrado se representan en las siguientes dispersiones:

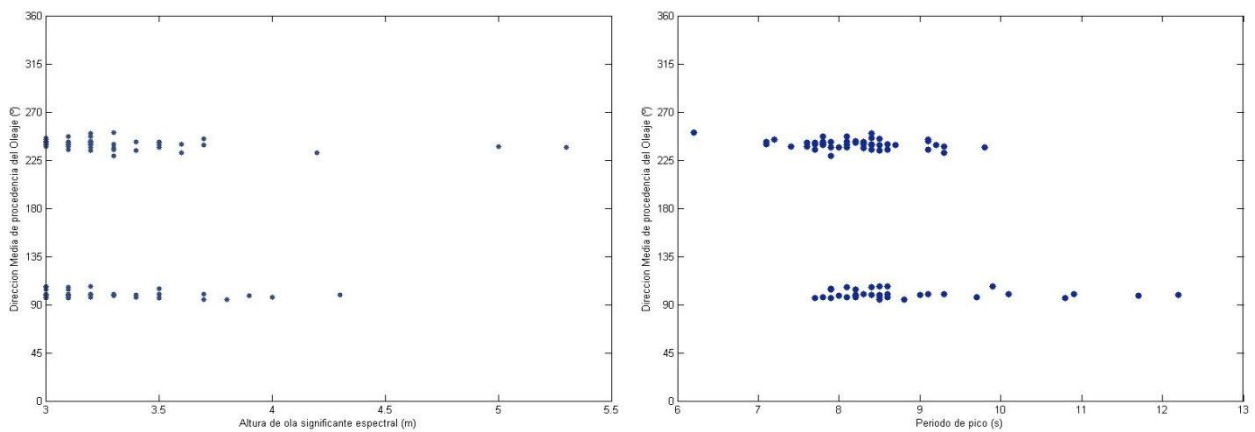


Figura 9. Dirección media de procedencia del oleaje (°) frente a altura de ola significativa espectral (m) y periodo de pico espectral (s).

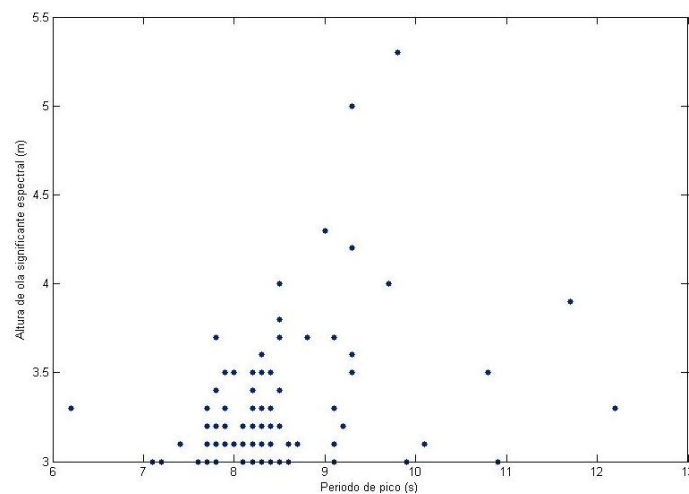


Figura 10. Altura de ola significativa espectral frente a periodo de pico espectral (s)

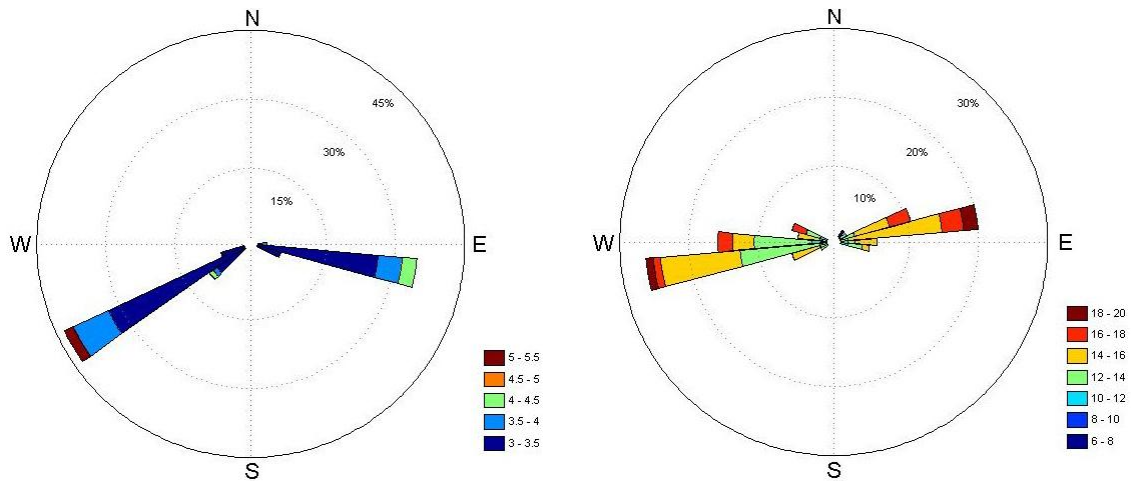


Figura 11. Rosa de oleaje y rosa de vientos, las leyendas que se muestran corresponden a altura de ola significativa espectral (m) y velocidad de viento (m/s) respectivamente.

A la vista de los resultados se puede concluir que:

-El periodo de los estados de mar, se ve reducido en rango; para los estados extremos sólo hay registros de periodos altos (7-12 segundos).

-Las direcciones que en régimen medio eran predominantes pasan a ser las únicas registradas (aproximadamente el rango comprendido entre 230°-250° y el comprendido entre 95°-115°), por lo que la evolución de la línea de costa se estudiará distinguiendo los casos de olas procedentes del sudoeste o del este. No hay registros de eventos de tormenta procedentes del norte o el sur.

-Los eventos en los que se han alcanzado los máximos valores de altura de ola proceden del sudoeste.

-En el viento predominan las velocidades altas (12-20 m/s), y un rango de direcciones mucha más reducido que el obtenido en el régimen medio, aunque en ambos predominan las componentes este y oeste.

---

## 4. METODOLOGÍA

Los datos analizados en este trabajo se han obtenido a partir de cuantificar mediante áreas la evolución de la línea de costa tras eventos de tormenta. Estas áreas son medidas sobre las imágenes rectificadas procedentes de la estación de monitorización costera de video imágenes situada en el Cabo Sacratif, limítrofe con la playa de estudio. Una vez obtenidas, serán analizadas junto con otros parámetros (Altura de ola significativa, período de pico espectral...).

### 4.1. SELECCIÓN DE EVENTOS DE TORMENTA

En su artículo sobre la formación de la morfología de esta zona de estudio, (Ortega *et al*, 2003) distinguía tres tipos de régimen circulatorio inducido por la rotura del oleaje en función de su nivel energético:

1. Niveles energéticos altos: son los denominados eventos de tormenta, de mayor capacidad modeladora de la costa con un menor tiempo de respuesta. Inducen una circulación que erosiona las puntas y deposita el material en las bahías. Tienden a suavizar la morfología actual de la playa.
2. Niveles energéticos intermedios: en general se producen previa y posteriormente a eventos de tormenta, influyendo en la recuperación y respuesta de la playa. Inducen un sistema circulatorio que ayuda a preservar la morfología actual, erosionando las zonas de entrantes y depositando en las cúspides.
3. Niveles energéticos bajos: Constituyen la mayor parte de los estados de mar que se presentan a lo largo del año meteorológico, su acción contribuye a suavizar la forma de la playa, pero muy someramente, ya que su bajo contenido energético no produce cambios apreciables a corto plazo.

Con el objetivo de estudiar el comportamiento de la playa bajo la acción de distintos niveles energéticos se analizarán tres eventos de tormenta y un período de calma, todos ellos con una duración de 31 días, por lo que se abarcan los tres niveles energéticos mencionados.

A lo largo de este estudio se trabajará con las variables que caracterizan al oleaje referidas a profundidades indefinidas.

Partiendo de los datos realizados en el régimen extremal (en el que sólo se consideran los eventos de tormenta) se van a estudiar los temporales mostrados en la tabla, junto con sus respectivas alturas de ola significantes registradas. Además para estudiar la evolución en el tiempo de la respuesta de la playa, se tomará un período asociado comprendido entre los 15 días previos al temporal y los 15 días posteriores.

Primera imagen	Tormenta	Última imagen	Hs (m)
30/03/2012	14/04/2012	29/04/2012	4,4
15/02/2014	02/03/2014	17/03/2014	4,1
16/01/2015	31/01/2015	15/02/2015	5

Tabla 2. Tormentas y periodos estudiados con la altura de ola máxima alcanzada en cada uno.

Para el estudio de un periodo de calma se ha seleccionado el comprendido entre el 15 de julio y 15 de agosto de 2014, en el que no se presenta ningún evento de contenido energético alto.

## 4.2. SELECCIÓN DE IMÁGENES

Se tomará una imagen por día. Por un lado, la imagen ha de ser lo suficientemente nítida como para poder distinguir la línea de costa. Por otro lado, hay que tratar de minimizar los efectos que la marea astronómica ejerce sobre el litoral, ya que puede distorsionar los resultados. Para ello se ha recurrido a analizar los niveles de marea astronómica a través de los datos de la red de mareógrafos REDMAR, que proporciona los niveles de marea astronómica y marea meteorológica por separado, con lo cual se evita realizar un análisis armónico del nivel del mar. Los datos proceden de la estación 3543, la más próxima a la zona de estudio, situada en el Puerto de Motril. Se seleccionan aquellas imágenes correspondientes a instantes que posean componentes astronómicas similares.

Cabe señalar que los cambios morfológicos producidos por efecto de los fenómenos mareales no son objeto de este estudio. No obstante, al tratarse del Mar Mediterráneo, no son relevantes.

Por último, es de gran utilidad modificar la gama tonal de las imágenes mediante el empleo de un programa de edición de imágenes, a fin de aumentar el contraste en las imágenes y con ello facilitar la identificación de la línea de costa.

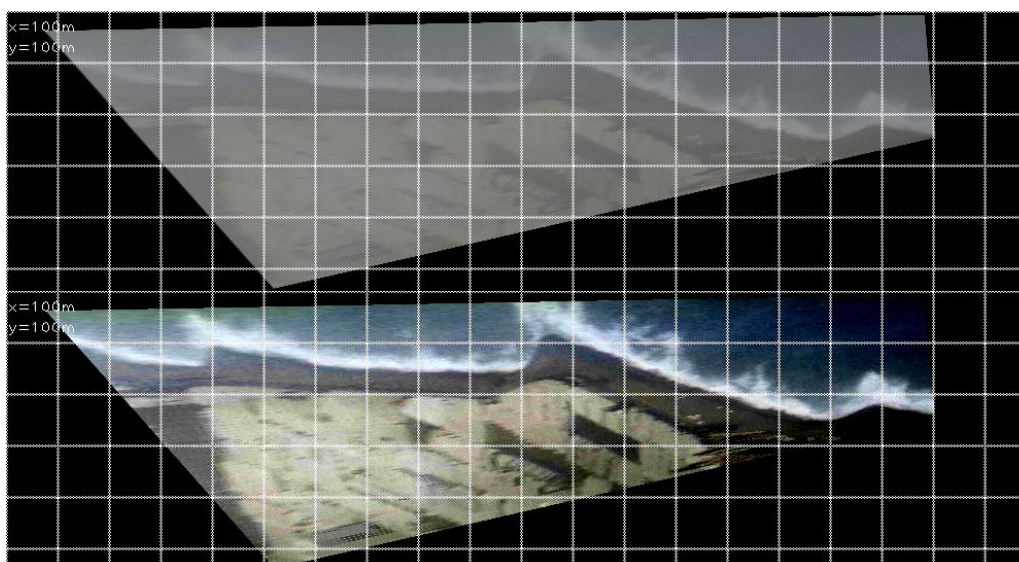


Figura 12. Imagen antes/después de ser modificada su gama tonal.

## 4.3. ESTACIÓN DE VIDEO MONITORIZACIÓN

Tradicionalmente, los datos de campo empleados en el estudio de la morfodinámica de playas se obtenían mediante la colocación de sensores a una cierta profundidad, y con ellos se extraían las correspondientes medidas. Esto presenta los inconvenientes de su elevado coste, limitación en la obtención de datos (al proceder estos únicamente de las zonas donde se emplace un sensor), la dificultad de llevarlo a cabo en condiciones meteorológicas adversas (en las cuales se producen las mayores variaciones morfodinámicas), y su limitada duración (unas semanas como mucho). Frente a esta serie de adversidades, los investigadores Lippmann y Holman de la Universidad de Oregón (USA) desarrollaron la técnica ARGUS, basada en la toma de imágenes de la costa mediante cámaras, desde un punto elevado que gozase de buena visibilidad, para disponer de un registro de los procesos costeros. De esta forma se pueden obtener datos de forma continua y económica, y bajo distintas condiciones climatológicas. Además lo obtenido queda registrado en bases de datos, por lo que se pueden disponer de los registros en cualquier momento.

Este sistema está implementado para la zona de estudio de este trabajo en una estación de monitorización situada en el Cabo Sacratif, en el extremo occidental de la playa, situado a una altura de 96 msnm, cubriendo el área de estudio con tres cámaras digitales orientadas hacia el este.

Los tipos de imágenes que se pueden obtener mediante las cámaras son:

1.- Imagen instantánea: Visión de la zona de estudio en un momento concreto. Son de poca utilidad ya que el estudio de efectos de olas individuales no es relevante.



**Figura 13.** Imagen instantánea de la estación de monitorización situada en el Cabo Sacratif.

2.- Imagen promediada: Se obtiene tras promediar las 1200 imágenes que obtiene las cámaras en los primeros diez minutos de cada hora de servicio.



**Figura 14.** Imagen promediada de la estación de monitorización situada en el Cabo Sacratif.

3.-Varianza de la imagen: Al igual que en la anterior, analiza las imágenes de los diez primeros minutos, pero detecta variaciones de intensidad de la luz, por lo que las zonas que cambian con el tiempo aparecen más brillantes en esta imagen.



Figura 15. Imagen de varianza de la estación de monitorización situada en el Cabo Sacratif.

Por otra parte, también es posible obtener las imágenes en planta por medio de la restitución de las imágenes, conociendo las coordenadas de las cámaras y de una serie de puntos que sean visibles por las mismas, por lo que usando principios de fotogrametría se puede establecer la relación entre las coordenadas de las imágenes y las reales. Todo esto se lleva a cabo de forma automática una vez calibradas las cámaras. Esto permite llevar a cabo medidas geométricas en planta, induciendo menor distorsión en los resultados que las imágenes en perspectiva, por lo que este tipo de imágenes son las más empleadas en este estudio, en concreto las imágenes medias rectificadas.

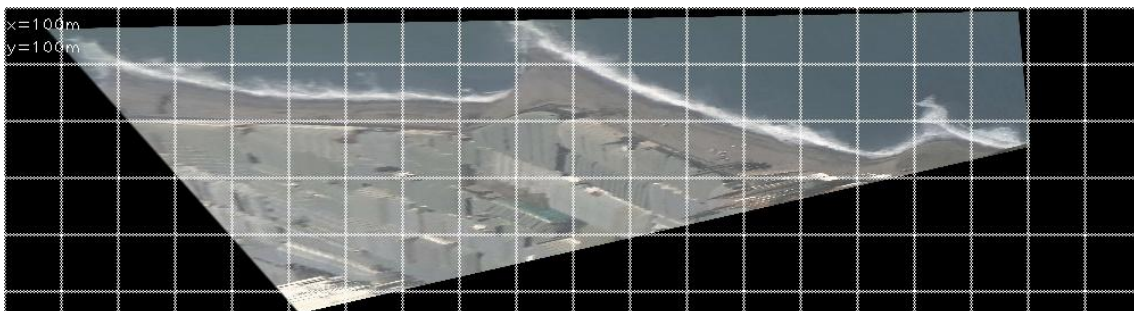


Figura 16. Imagen promediada rectificada.



## 4.4. OBTENCIÓN DE DATOS

Una vez obtenidas las imágenes, se procesan mediante un programa de diseño asistido por ordenador (CAD). El objetivo de esto es modelizar las líneas de costa con poligonales abiertas, para posteriormente cuantificar el avance y retroceso de la costa entre imágenes correspondientes a días distintos, todo ello midiendo el área entre una poligonal y otra.

Para evitar errores de calibración entre unos periodos y otros se trabaja con incrementos de niveles porcentuales en lugar de trabajar con áreas absolutas entre poligonales. Esto permite independizar las zonas en las que se divide el análisis, ya que se muestra la evolución de cada una tomando un nivel de referencia propio de la misma.

De entre todas las poligonales, se escogerán la más baja (la de menor avance del nivel del mar) y la más avanzada (la línea de costa que ha provocado un retroceso mayor en la playa, generalmente asociada al día en que se produce el temporal); al área encerrada por ambas se le asignará el valor de 100%, que será el valor de referencia para el resto de las poligonales. A la línea de costa más baja se le asignará un valor de 0%.

También pueden darse situaciones anómalas en las que algunas zonas de la playa estén por debajo de ese valor de referencia, por lo que su valor será expresado en número negativo.

Después se medirá el área comprendida entre esa línea de costa más baja y la asociada a cada uno de los días, asignándole su porcentaje correspondiente (en proporción al citado nivel de referencia). Este indicador muestra cuantitativamente cuánto le queda a la playa para volver a su estado inicial (que será lo más próximo posible a 0%).

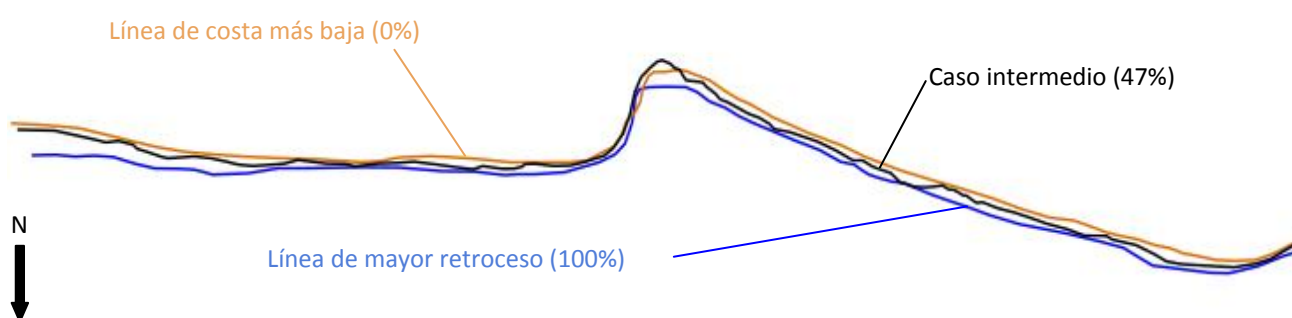


Figura 17. Polilíneas obtenidas mediante software de diseño asistido por ordenador.

Hecho esto se determinan las relaciones existentes entre los valores obtenidos en las imágenes y los parámetros que caracterizan al estado de mar (Altura de ola, periodo...), como ya se ha mencionado, referidos a profundidades indefinidas.

Además se ha optado por zonificar el tramo de playa de estudio en tres sectores, a fin de incrementar el grado de precisión de este estudio, y determinar si existe transferencia de sedimento de unas zonas a otras. Por otra parte, estas alineaciones presentan orientaciones distintas, por lo que resultaría interesante analizar la interacción del oleaje con las mismas, y establecer si la dirección de incidencia es un factor determinante en el comportamiento de la playa.

Se ha optado por no incluir en el estudio el tramo comprendido entre las zonas 1 y 2, pues una vez realizado el replanteo de las imágenes se observa una carencia de nitidez suficiente que podría desvirtuar los resultados del análisis.

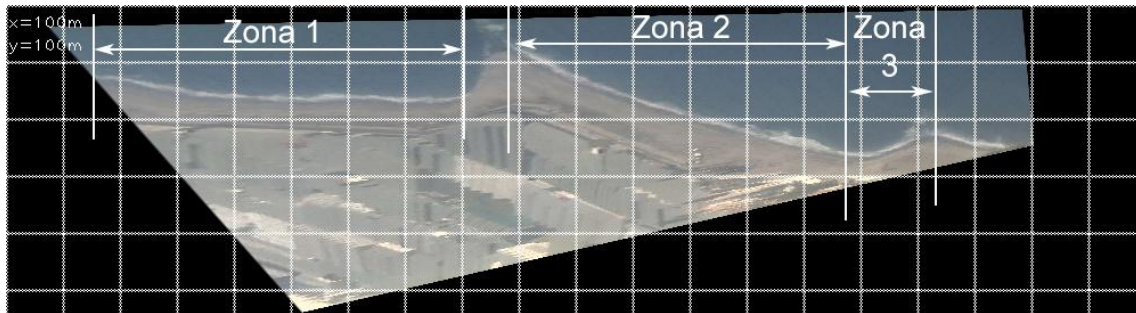


Figura 18. Zonas en las que se ha dividido el tramo de costa para su estudio.

---

## 5. RESULTADOS

### 5.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Tras la obtención de áreas, los resultados se muestran en las tablas adjuntas. Aparece resaltado el día de la tormenta (generalmente coincidirá con el valor de 100%), y la referencia que se toma como 0%, y sobre la cual se miden las áreas del resto de los días.

Los valores representados en las tablas son:

1. Fecha.
2. Altura de ola significativa espectral media entre imágenes consecutivas.
3. Altura de ola significativa espectral máxima entre imágenes consecutivas.
4. Periodo de pico espectral medio entre imágenes consecutivas.
5. Periodo de pico espectral máximo entre imágenes consecutivas.
6. Dirección media de procedencia del oleaje entre imágenes consecutivas.
7. Área encerrada por la línea de costa de referencia (nivel más bajo de la línea de costa) y la correspondiente a esa fecha en la zona 1.
8. Porcentaje asociado al área anterior. Como ya se ha descrito, es una representación porcentual respecto al nivel de máximo retroceso de costa alcanzado en ese periodo (100%).
9. Área encerrada por la línea de costa de referencia y la correspondiente a esa fecha en la zona 2.
10. Porcentaje asociado al área anterior.
11. Área encerrada por la línea de costa de referencia y la correspondiente a esa fecha en la zona 3.
12. Porcentaje asociado al área anterior.

Tabla 3. Evolución de la playa en los días previos y posteriores a la tormenta del 31 de enero de 2015

Fecha	Hs media	Hs máxima	Tp medio	Tp máximo	Dirección	Área zona 1	% zona 1	Área zona 2	% zona 2	Área zona 3	% zona 3
16/01/2015	1,19	1,1	5,59	6	OSO	853	39,0	1146	49,5	118	24,2
17/01/2015	0,70	0,9	4,17	5,8	OSO	323	14,8	629	27,2	44	9,0
18/01/2015	0,54	0,6	4,54	5	OSO - S	1108	50,7	868	37,5	182	37,3
19/01/2015	0,52	0,6	4,57	5,5	S - SO	1470	67,2	1509	65,2	322	66,0
20/01/2015	0,54	0,8	4,68	6,3	OSO	602	27,5	798	34,5	84	17,2
21/01/2015	0,72	1,2	4,97	8	OSO	523	23,9	968	41,8	64	13,1
22/01/2015	1,40	2,2	6,13	7,2	OSO	934	42,7	1151	49,7	70	14,3
23/01/2015	0,76	1,4	5,47	7,2	O-OSO	148	6,8	266	11,5	-4	-0,8
24/01/2015	0,41	0,6	3,79	5,4	ESE	0	0,0	0	0,0	0	0,0
25/01/2015	0,18	0,3	2,92	3,6	SSE-SSO	291	13,3	479	20,7	78	16,0
26/01/2015	0,30	0,4	2,81	3,6	SE-ESE	363	16,6	778	33,6	131	26,8
27/01/2015	0,33	0,5	3,32	5,9	SE-SO	212	9,7	476	20,6	156	32,0
28/01/2015	0,37	0,6	4,67	6,4	OSO	356	16,3	657	28,4	62	12,7
29/01/2015	0,85	1,8	5,87	6,4	OSO	794	36,3	970	41,9	128	26,2
30/01/2015	2,61	3,2	7,54	8,4	OSO	1540	70,4	2142	92,6	355	72,7
31/01/2015	3,85	5	8,82	9,4	OSO	2186	100,0	2314	100,0	488	100,0
01/02/2015	1,35	2,6	6,43	8	OSO-O	571	26,1	536	23,2	90	18,4
02/02/2015	0,93	1,7	4,45	5,3	ONO-OSO	788	36,0	1325	57,3	165	33,8
03/02/2015	2,25	2,7	6,87	7,5	OSO	1528	69,9	1687	72,9	269	55,1
04/02/2015	2,23	2,8	7,48	8,4	OSO-O	878	40,2	1439	62,2	215	44,1
05/02/2015	1,00	1,6	5,25	7,6	ONO	423	19,4	642	27,7	90	18,4
06/02/2015	0,85	1,2	4,40	5,7	OSO	91	4,2	204	8,8	63	12,9
07/02/2015	0,55	0,9	4,63	5	OSO-ESE	556	25,4	480	20,7	149	30,5
08/02/2015	0,78	1,2	4,50	6,5	ESE	152	7,0	278	12,0	81	16,6
09/02/2015	1,08	1,4	5,39	6,5	ESE	1114	51,0	545	23,6	161	33,0
10/02/2015	2,20	3	6,80	8,4	ESE	615	28,1	664	28,7	197	40,4
11/02/2015	1,84	2,5	6,86	7,4	ESE	476	21,8	260	11,2	61	12,5
12/02/2015	0,84	1,1	5,56	5,8	ESE	608	27,8	624	27,0	85	17,4
13/02/2015	0,34	0,5	4,39	5,8	ESE-OSO	394	18,0	269	11,6	60	12,3
14/02/2015	0,85	1,6	4,47	5,3	OSO	770	35,2	1120	48,4	138	28,3
15/02/2015	2,02	2,7	7,01	7,7	OSO	1398	64,0	1985	85,8	244	50,0

Tabla 4. Evolución de la playa en los días previos y posteriores a la tormenta del 14 de abril de 2012

Fecha	Hs media	Hs máxima	Tp medio	Tp máximo	Dirección	Área zona 1	% zona 1	Área zona 2	% zona 2	Área zona 3	% zona 3
30/03/2012	0,59	0,7	4,69	5,7	ESE	2958	68,3	1339	36,5	-680	-84,6
31/03/2012	0,31	0,5	4,48	5,2	ESE	2511	58,0	875	23,8	-804	-100,0
01/04/2012	0,22	0,4	4,00	4,8	ESE-OSO	3017	69,7	1200	32,7	-741	-92,2
02/04/2012	0,67	1	4,08	5,2	OSO	4295	99,2	2627	71,5	-480	-59,7
03/04/2012	1,10	1,5	5,28	5,9	OSO	4181	96,6	2467	67,2	-240	-29,9
04/04/2012	1,37	2	5,76	6,3	OSO	4329	100,0	2983	81,2	-290	-36,1
05/04/2012	1,29	2	5,72	6,3	OSO	3909	90,3	2497	68,0	-35	-4,4
06/04/2012	1,13	1,5	5,44	6,1	OSO	3588	82,9	2286	62,2	-265	-33,0
07/04/2012	1,03	1,5	5,24	5,8	OSO	1558	36,0	601	16,4	-430	-53,5
08/04/2012	0,57	1	4,05	4,3	OSO	1348	31,1	458	12,5	-460	-57,2
09/04/2012	0,12	0,2	2,85	3,5	SSE	983	22,7	-451	-12,3	-491	-61,1
10/04/2012	0,67	2,5	3,88	3,8	SSE-OSO	2331	53,8	1724	46,9	-448	-55,7
11/04/2012	1,84	2,8	6,40	7,2	OSO	1815	41,9	598	16,3	-254	-31,6
12/04/2012	1,15	1,3	5,58	6	OSO	2456	56,7	1509	41,1	-148	-18,4
13/04/2012	1,69	2,3	6,85	7,1	OSO	2760	63,8	1851	50,4	158	19,7
14/04/2012	2,21	2,4	7,63	8,4	OSO	3840	88,7	3273	89,1	293	36,4
15/04/2012	2,31	4,4	7,68	8,9	OSO	3146	72,7	1594	43,4	272	33,8
16/04/2012	0,70	1,1	4,94	7,4	ONO	1305	30,1	1429	38,9	119	14,8
17/04/2012	0,44	0,8	4,49	6,3	OSO	1471	34,0	1297	35,3	-12	-1,5
18/04/2012	1,72	2	6,36	6,8	OSO	2676	61,8	2848	77,5	368	45,8
19/04/2012	2,04	3	6,67	7,1	OSO	3637	84,0	3673	100,0	324	40,3
20/04/2012	2,13	3,1	6,74	7,7	OSO	3167	73,2	3008	81,9	309	38,4
21/04/2012	0,88	1,8	5,41	5,8	OSO	1580	36,5	1096	29,8	16	2,0
22/04/2012	0,63	1	4,57	4,9	OSO	0	0,0	0	0,0	0	0,0
23/04/2012	0,98	1,2	5,58	6,3	OSO	1355	31,3	986	26,8	98	12,2
24/04/2012	1,59	1,9	6,31	6,9	OSO	875	20,2	799	21,8	257	32,0
25/04/2012	1,18	2,1	5,94	6,3	OSO	742	17,1	522	14,2	132	16,4
26/04/2012	0,84	1,3	5,55	6,4	OSO	385	8,9	294	8,0	134	16,7
27/04/2012	0,86	1,2	5,20	5,9	OSO	1174	27,1	1216	33,1	217	27,0
28/04/2012	1,00	2,7	5,24	7	OSO	2037	47,1	2772	75,5	250	31,1
29/04/2012	1,34	2,9	6,06	7,2	OSO	681	15,7	870	23,7	178	22,1

Tabla 5. Evolución de la playa en los días previos y posteriores a la tormenta del 2 de enero de 2014

Fecha	Hs media	Hs máxima	Tp medio	Tp máximo	Dirección	Área zona 1	% zona 1	Área zona 2	% zona 2	Área zona 3	% zona 3
15/02/2014	0,41	0,5	3,21	3,6	OSO	348	23,9	446	34,4	253	73,3
16/02/2014	0,50	0,6	3,64	4,8	OSO	527	36,2	666	51,4	264	76,5
17/02/2014	0,50	0,9	3,69	4,8	OSO-ESE	999	68,7	704	54,3	257	74,5
18/02/2014	0,86	1,1	5,35	6,7	ESE-SO	763	52,5	641	49,5	289	83,8
19/02/2014	0,76	1,2	5,66	6,6	OSO	181	12,4	-70	-5,4	162	47,0
20/02/2014	0,92	1,9	5,84	6,5	OSO	15	1,0	174	13,4	140	40,6
21/02/2014	1,50	2,1	6,26	6,4	OSO	1001	68,8	1128	87,0	190	55,1
22/02/2014	1,11	1,7	5,65	6,3	ONO	69	4,7	87	6,7	212	61,4
23/02/2014	0,72	1,3	3,91	5,1	ESE	494	34,0	570	44,0	227	65,8
24/02/2014	0,84	1,3	5,11	5,5	ESE	463	31,8	420	32,4	345	100,0
25/02/2014	0,97	1,4	5,35	5,9	OSO	687	47,2	866	66,8	221	64,1
26/02/2014	0,92	1	5,22	5,4	OSO	977	67,2	794	61,3	253	73,3
27/02/2014	0,60	1	4,65	5,4	OSO-ESE	369	25,4	441	34,0	193	55,9
28/02/2014	0,60	1,6	4,51	5,6	OSO	368	25,3	337	26,0	221	64,1
01/03/2014	1,79	2	6,91	7,7	OSO	378	26,0	534	41,2	186	53,9
02/03/2014	2,94	4,1	8,33	9	OSO	1257	86,5	1296	100,0	271	78,6
03/03/2014	2,31	2,7	7,53	7,7	OSO	677	46,6	1025	79,1	256	74,2
04/03/2014	1,47	2	7,07	7,6	OSO	508	34,9	326	25,2	124	35,9
05/03/2014	1,30	1,4	6,50	6,8	OSO	557	38,3	994	76,7	165	47,8
06/03/2014	0,54	1	5,29	6,6	OSO	730	50,2	621	47,9	220	63,8
07/03/2014	0,86	1,6	4,38	5,9	ESE	979	67,3	471	36,3	290	84,1
08/03/2014	1,41	1,6	5,82	6,1	ESE	944	64,9	743	57,3	213	61,7
09/03/2014	1,63	2,1	6,59	7,6	ESE	1207	83,0	826	63,7	287	83,2
10/03/2014	2,23	2,5	7,29	7,6	ESE	1454	100,0	953	73,5	205	59,4
11/03/2014	1,63	2,3	6,35	7	ESE	741	51,0	555	42,8	151	43,8
12/03/2014	1,70	2	6,75	7,3	ESE	1396	96,0	1116	86,1	228	66,1
13/03/2014	1,66	2,3	8,19	8,9	ESE	853	58,7	750	57,9	166	48,1
14/03/2014	0,70	0,9	7,56	7,8	ESE-E	741	51,0	1094	84,4	124	35,9
15/03/2014	0,55	0,8	8,24	8,9	E-SO	242	16,6	587	45,3	88	25,5
16/03/2014	0,43	0,6	7,83	8,3	SO	0	0,0	0	0,0	0	0,0
17/03/2014	0,35	0,6	5,00	7,4	SSE	611	42,0	395	30,5	-115	-33,3

Tabla 6. Evolución de la playa en un periodo de calma: verano de 2014

Fecha	Hs media	Hs máxima	Tp medio	Tp máximo	Dirección	Área zona 1	% zona 1	Área zona 2	% zona 2	Área zona 3	% zona 3
15/02/2014	0,41	0,5	3,21	3,6	OSO	348	23,9	446	34,4	253	73,3
16/02/2014	0,50	0,6	3,64	4,8	OSO	527	36,2	666	51,4	264	76,5
17/02/2014	0,50	0,9	3,69	4,8	OSO-ESE	999	68,7	704	54,3	257	74,5
18/02/2014	0,86	1,1	5,35	6,7	ESE-SO	763	52,5	641	49,5	289	83,8
19/02/2014	0,76	1,2	5,66	6,6	OSO	181	12,4	-70	-5,4	162	47,0
20/02/2014	0,92	1,9	5,84	6,5	OSO	15	1,0	174	13,4	140	40,6
21/02/2014	1,50	2,1	6,26	6,4	OSO	1001	68,8	1128	87,0	190	55,1
22/02/2014	1,11	1,7	5,65	6,3	ONO	69	4,7	87	6,7	212	61,4
23/02/2014	0,72	1,3	3,91	5,1	ESE	494	34,0	570	44,0	227	65,8
24/02/2014	0,84	1,3	5,11	5,5	ESE	463	31,8	420	32,4	345	100,0
25/02/2014	0,97	1,4	5,35	5,9	OSO	687	47,2	866	66,8	221	64,1
26/02/2014	0,92	1	5,22	5,4	OSO	977	67,2	794	61,3	253	73,3
27/02/2014	0,60	1	4,65	5,4	OSO-ESE	369	25,4	441	34,0	193	55,9
28/02/2014	0,60	1,6	4,51	5,6	OSO	368	25,3	337	26,0	221	64,1
01/03/2014	1,79	2	6,91	7,7	OSO	378	26,0	534	41,2	186	53,9
02/03/2014	2,94	4,1	8,33	9	OSO	1257	86,5	1296	100,0	271	78,6
03/03/2014	2,31	2,7	7,53	7,7	OSO	677	46,6	1025	79,1	256	74,2
04/03/2014	1,47	2	7,07	7,6	OSO	508	34,9	326	25,2	124	35,9
05/03/2014	1,30	1,4	6,50	6,8	OSO	557	38,3	994	76,7	165	47,8
06/03/2014	0,54	1	5,29	6,6	OSO	730	50,2	621	47,9	220	63,8
07/03/2014	0,86	1,6	4,38	5,9	ESE	979	67,3	471	36,3	290	84,1
08/03/2014	1,41	1,6	5,82	6,1	ESE	944	64,9	743	57,3	213	61,7
09/03/2014	1,63	2,1	6,59	7,6	ESE	1207	83,0	826	63,7	287	83,2
10/03/2014	2,23	2,5	7,29	7,6	ESE	1454	100,0	953	73,5	205	59,4
11/03/2014	1,63	2,3	6,35	7	ESE	741	51,0	555	42,8	151	43,8
12/03/2014	1,70	2	6,75	7,3	ESE	1396	96,0	1116	86,1	228	66,1
13/03/2014	1,66	2,3	8,19	8,9	ESE	853	58,7	750	57,9	166	48,1
14/03/2014	0,70	0,9	7,56	7,8	ESE-E	741	51,0	1094	84,4	124	35,9
15/03/2014	0,55	0,8	8,24	8,9	E-SO	242	16,6	587	45,3	88	25,5
16/03/2014	0,43	0,6	7,83	8,3	SO	0	0,0	0	0,0	0	0,0
17/03/2014	0,35	0,6	5,00	7,4	SSE	611	42,0	395	30,5	-115	-33,3

## 5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Dada la complejidad que presentan los datos obtenidos, se ha optado por dividir el análisis en tres partes, distinguiendo:

1. Variables características del oleaje.
2. Variables geométricas.
3. Relación entre ambas.

A partir de lo analizado se pretende extraer conclusiones que ayuden a comprender el comportamiento de playas con sedimento mixto.

### 5.2.1. VARIABLES CARACTERÍSTICAS DEL OLAJE

Como ya se mencionó en el estudio del régimen extremal, los datos referentes a eventos de tormenta están dominados por dos direcciones principalmente: estesudeste (ESE) y oestesudoeste (OSO). Se pondrá especial atención en ambas, y se buscarán datos particularizados a las mismas ya que, como se reflejará en los resultados, tienen un papel fundamental en este estudio.

Poniendo en común los valores medios de todos eventos de tormenta estudiados se obtienen las siguientes dispersiones:

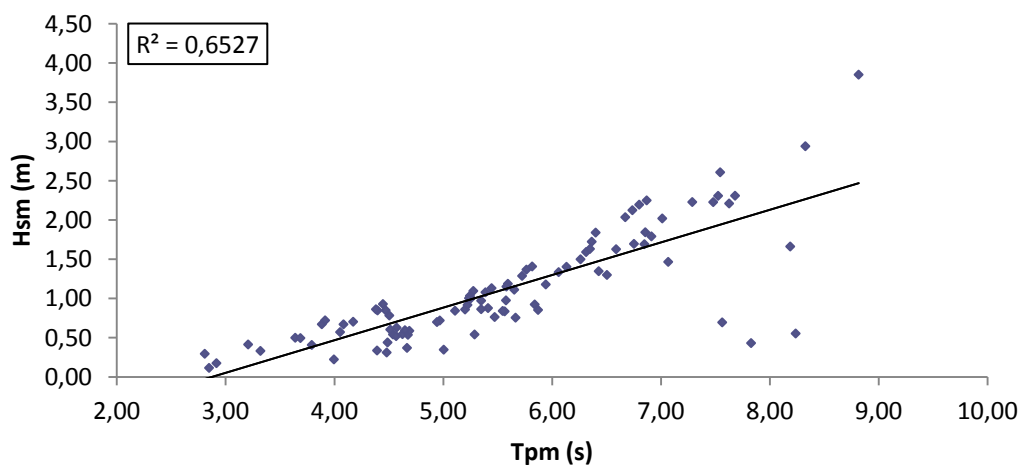


Figura 19. Dispersión de los valores medios de altura de ola significativa espectral (Hsm) frente al periodo de pico espectral (Tpm).

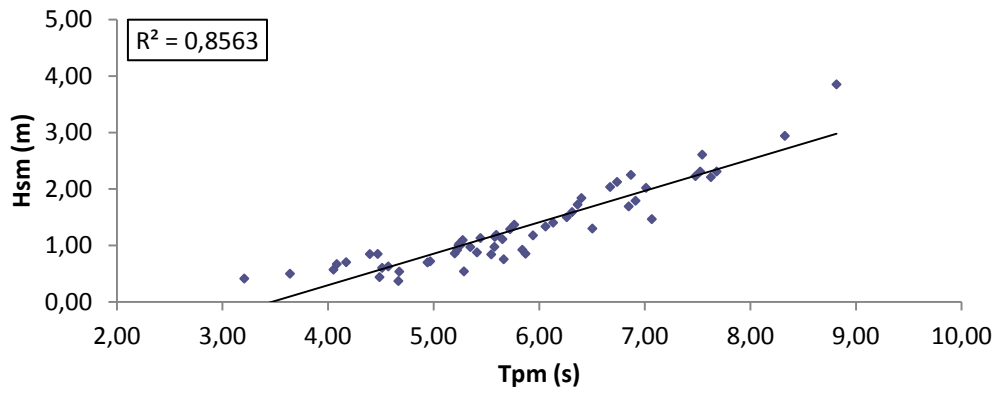


Figura 20. Dispersión de los valores medios de altura de ola significativa espectral (Hsm) frente al periodo de pico espectral (Tpm) de oleajes de procedencia oestesudoeste (OSO).

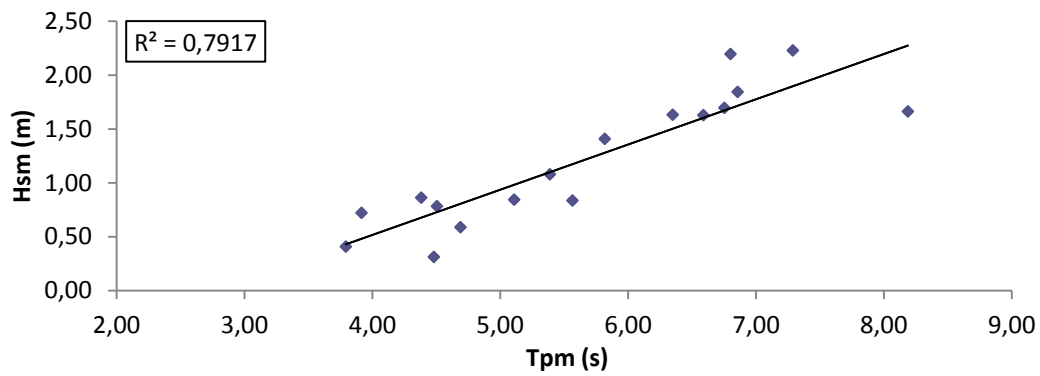


Figura 21. Dispersión de los valores medios de altura de ola significativa espectral (Hsm) frente al periodo de pico espectral (Tpm) de oleajes de procedencia estesudeste (ESE).

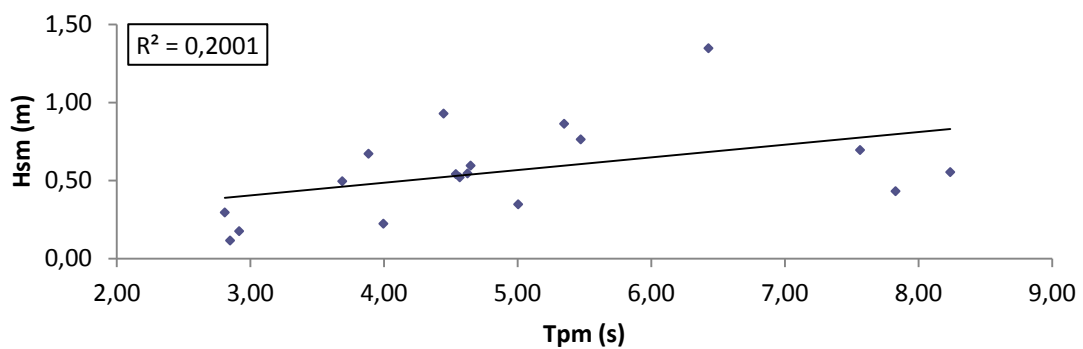


Figura 22. Dispersión de los valores medios de altura de ola significativa espectral (Hsm) frente al periodo de pico espectral (Tpm) considerando exclusivamente aquellas situaciones en las que se experimente cambio de en la dirección de procedencia del oleaje.

Se puede observar que estos últimos son los datos anómalos que se presentan en la primera gráfica, pues el coeficiente de correlación de las gráficas aumenta considerablemente cuando se particulariza a cada dirección. Se podría afirmar que es en las jornadas en las que se produce un cambio de dirección del flujo donde no se mantiene la proporcionalidad entre periodo de pico espectral medio y altura de ola significativa media espectral.

Se presentan a continuación las dispersiones tomando los datos máximos producidos en el periodo comprendido entre cada imagen y la sucesiva.

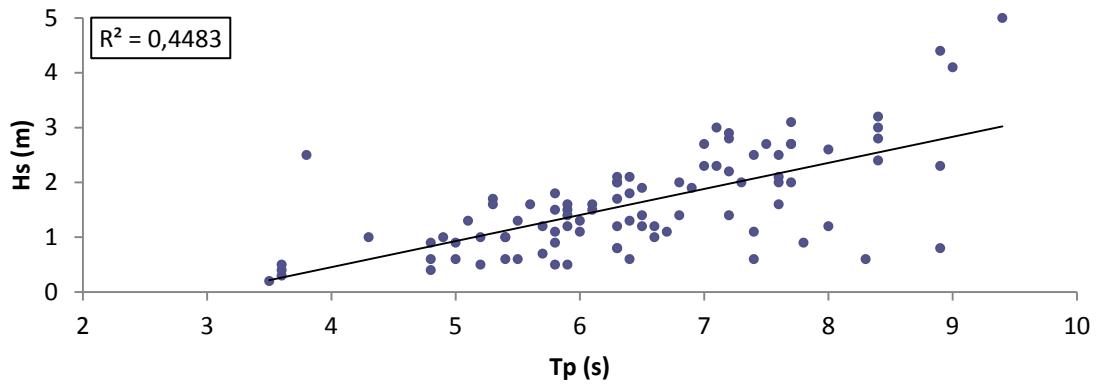


Figura 23. Dispersión de los valores máximos de altura de ola significativa espectral ( $H_s$ ) frente al periodo de pico espectral ( $T_p$ ).

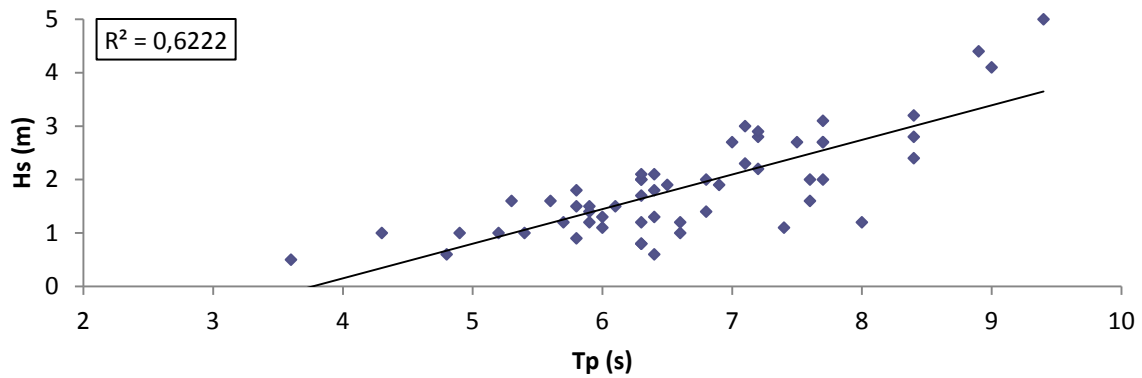


Figura 24. Dispersión de los valores máximos de altura de ola significativa espectral ( $H_s$ ) frente al periodo de pico espectral ( $T_p$ ) de oleajes de procedencia oeste.



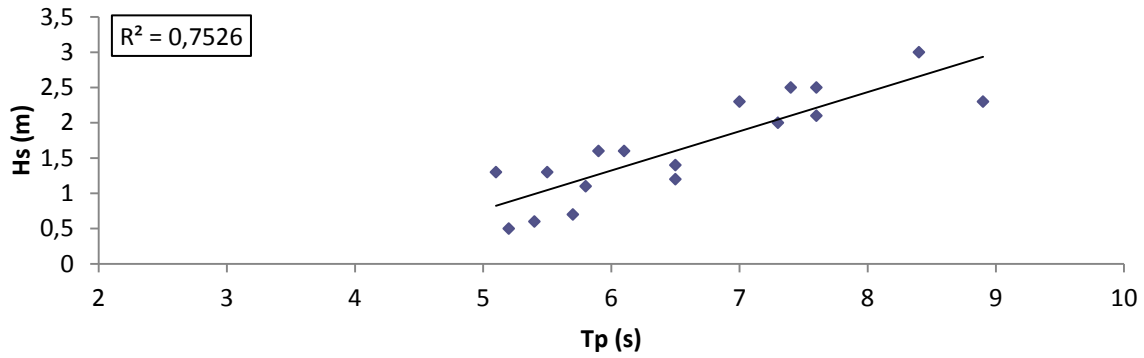


Figura 25. Dispersión de los valores máximos de altura de ola significativa espectral (Hs) frente al periodo de pico espectral (Tp) de oleajes de procedencia este.

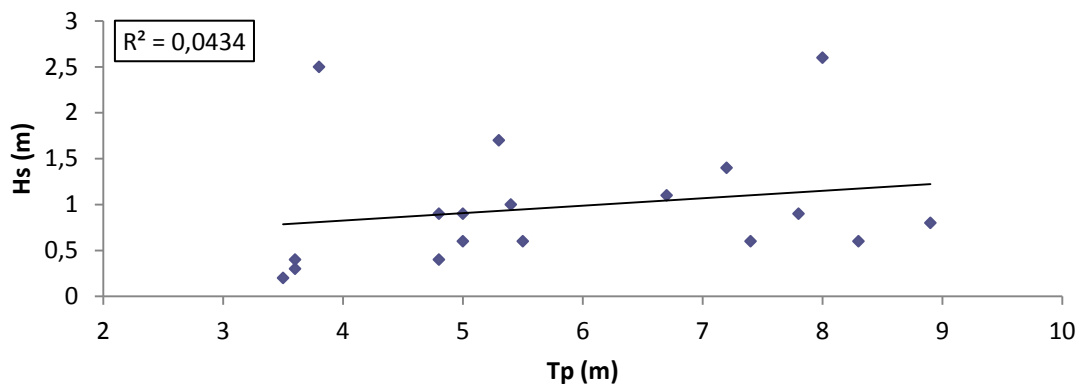


Figura 26. Dispersión de los valores máximos de altura de ola significativa espectral (Hs) frente al periodo de pico espectral (Tp) considerando exclusivamente aquellas situaciones en las que se experimente cambio de en la dirección de procedencia del oleaje.

Por lo que se puede concluir que:

En ambos casos, las direcciones predominantes son las mismas (ESE y OSO). Se observa que los cambios de dirección son los de mayor dispersión, mientras que en que en los casos en los que hay una dirección única existe una fuerte correlación positiva entre el periodo de pico y la altura de ola, existiendo mayor dispersión en los datos extremos que en los medios.

### 5.2.2. VARIABLES GEOMÉTRICAS

Se representará ahora la evolución de las áreas medidas con el tiempo. Se recuerda que estas áreas se relacionan directamente con la línea de costa, es decir, si se produce un ascenso del valor del área, indica que la línea de costa sube, reduciéndose la playa; si por el contrario esta es descendente, la playa aumenta, lo que se conoce comúnmente como “ganar terreno al mar”.

Como se mencionó en la metodología, se ha zonificado el tramo de playa, por lo que aquí aparecen representadas las tres zonas en líneas distintas.

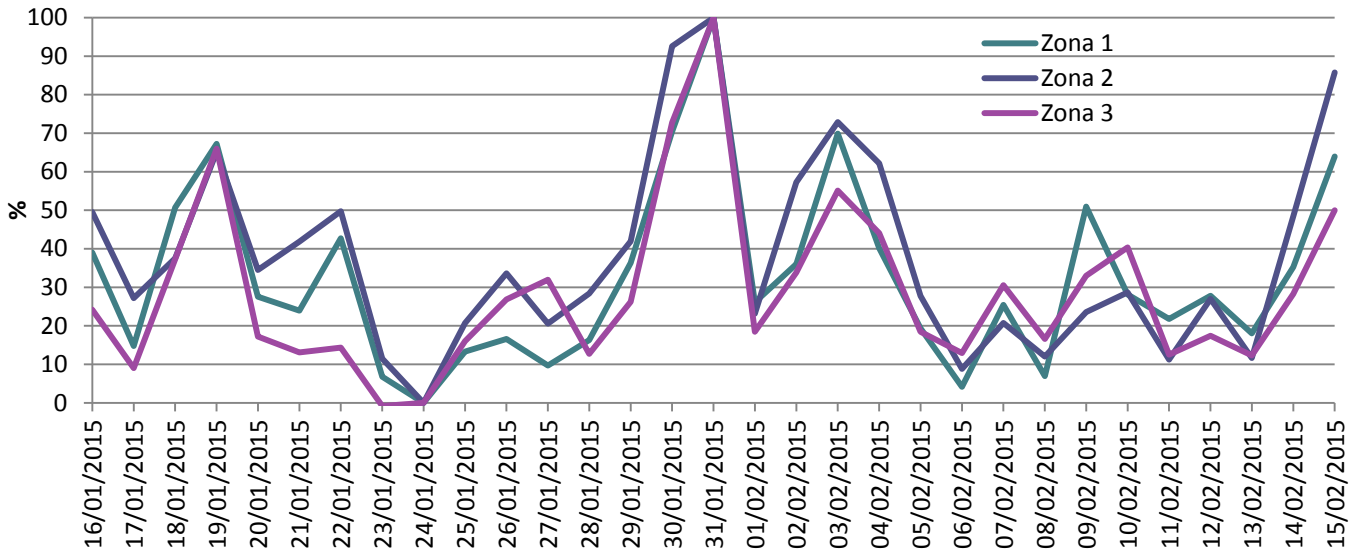


Figura 27. Evolución de la línea de costa referente a la tormenta producida el 31 de enero de 2015.



Figura 28. Evolución de la línea de costa referente a la tormenta producida el 14 de abril de 2012.

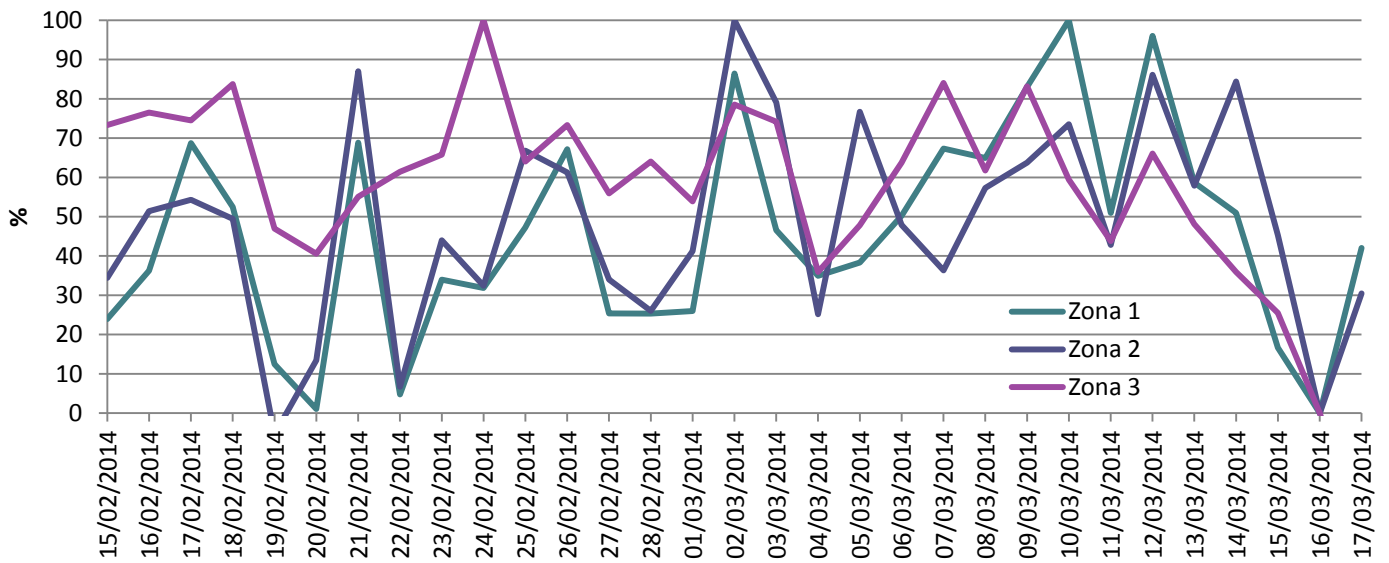


Figura 29. Evolución de la línea de costa referente a la tormenta producida el 2 de marzo de 2014.

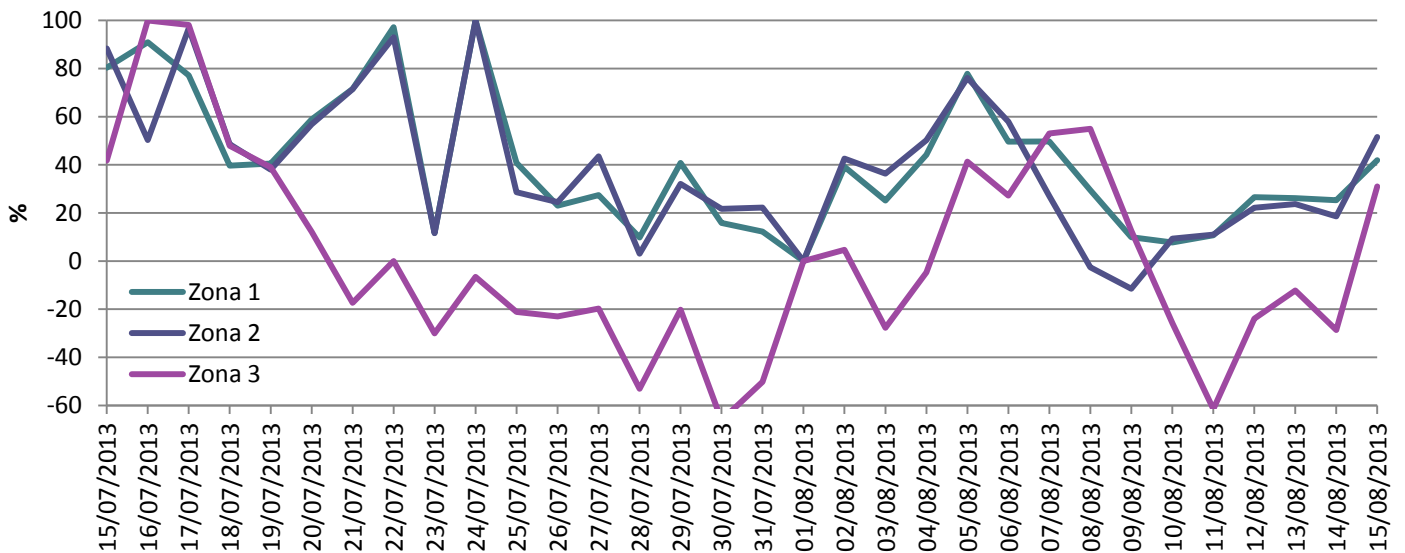


Figura 30. Evolución de la línea de costa referente al periodo de calma producido en el verano de 2013.

A priori se podría pensar, bajo el contexto de este estudio, que la evolución de la línea de costa pudiera responder proporcionalmente a la altura de ola incidente. Sin embargo, se puede apreciar visualmente que, a excepción de la tormenta de enero de 2015, en el resto de gráficas los mayores avances de la línea de costa no tienen por qué producirse en el momento de la tormenta. Por otro lado, se trata de un comportamiento cíclico, con alternancia de fases de subida y bajada de la línea de costa, que no está ligada a la marea astronómica, en primer lugar, porque se seleccionaron niveles similares de la misma en el momento de seleccionar las imágenes; y en segundo, porque los periodos que se aquí aparecen no coinciden con los mareales.

Para caracterizar este fenómeno fijo se opta por medir el tiempo que transcurre en días (pues es el periodo entre imagen e imagen, por lo que no se dispone de mayor resolución) entre máximos consecutivos. El resultado se muestra en el siguiente histograma. Nuevamente se estudia separando por zonas.

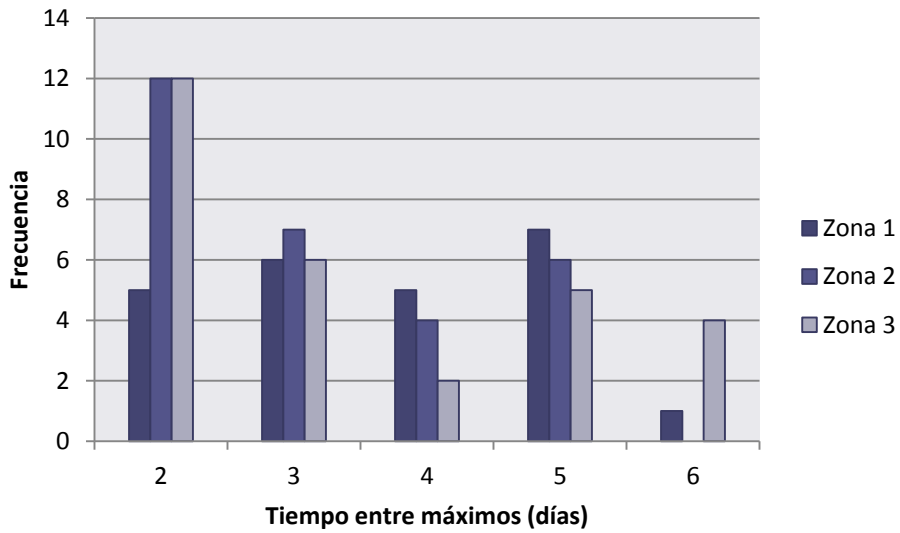


Figura 31. Histograma que representa el tiempo transcurrido entre máximos locales y su frecuencia de ocurrencia.

Del histograma se puede extraer que, con la resolución de este estudio, el orden de magnitud de los ciclos es de 2 a 6 días.

### 5.2.3. RELACIÓN ENTRE VARIABLES

Esta parte es la más relevante del trabajo, y la que mejor describe la morfodinámica de la playa, por lo que se opta por realizar un estudio pormenorizado de cada periodo, para finalmente extraer los elementos comunes a todos los periodos de estudio y descartar lo que se considere que no guarda relación entre ellos.

Se han representado en gráficos las variables climatológicas (Hsm, Tpm, Hsmáx y Tpmáx), donde se observa que evolucionan prácticamente de forma paralela, por lo que en los gráficos siguientes se prescindirá de los valores máximos, a fin de simplificar el análisis, aunque se recurrirá a los mismos en casos puntuales.

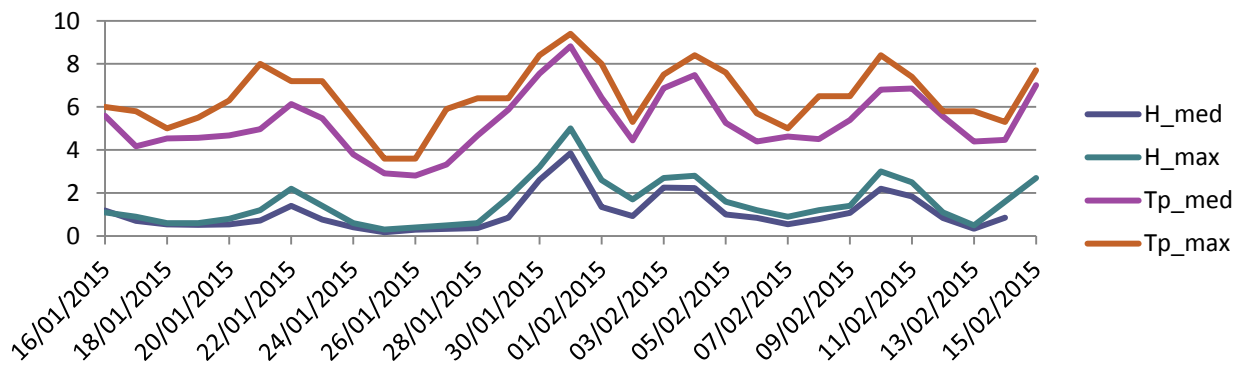


Figura 32. Evolución temporal de las variables climatológicas durante la tormenta de enero de 2015

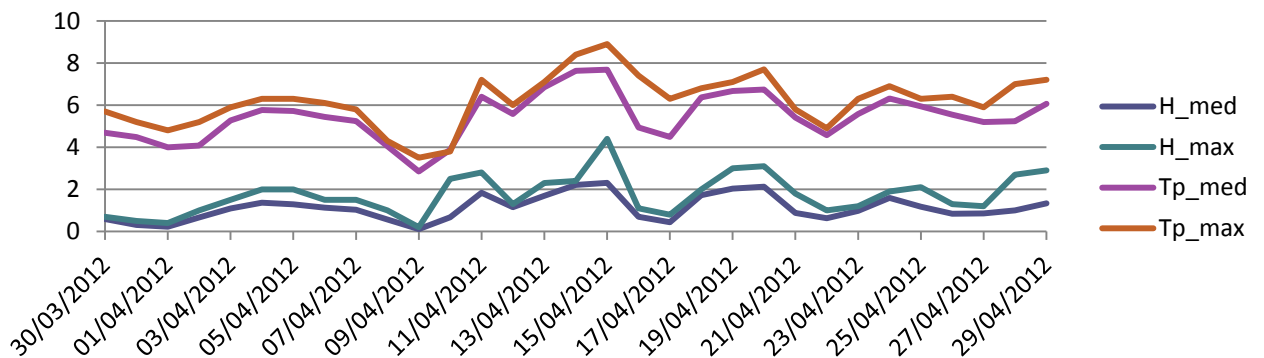


Figura 33. Evolución temporal de las variables climatológicas durante la tormenta de abril de 2012.

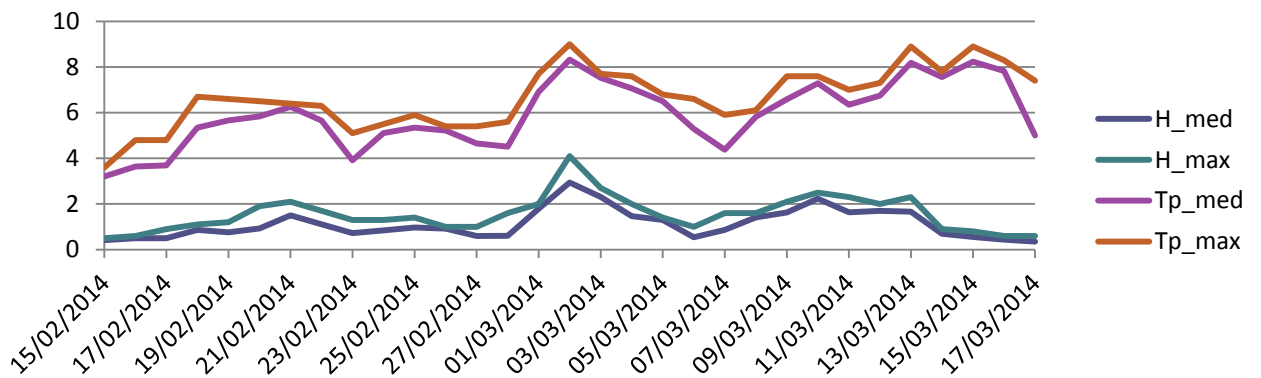


Figura 14. Evolución temporal de las variables climatológicas durante la tormenta de marzo de 2014.

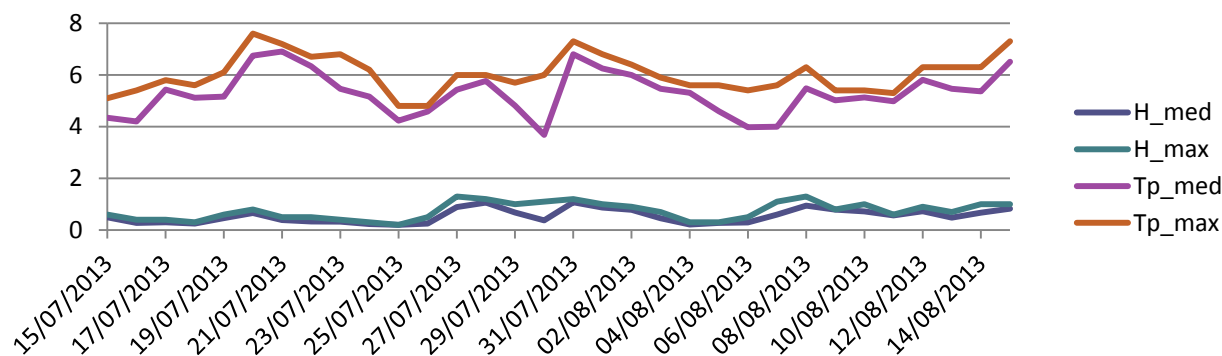


Figura 35. Evolución temporal de las variables climatológicas durante el periodo de calma del verano de 2013.

En la siguiente parte aparecerá la evolución de cada una de las zonas, las variables climáticas periodo de pico espectral medio, altura de ola significativa espectral media y dirección del oleaje frente al tiempo.

La dirección de procedencia del oleaje se ha ampliado su resolución a una hora, aparece representada de forma que los valores en el eje y no son los que le corresponden, aunque simplemente por la forma se puede conocer las componentes direccionales del oleaje, que a efectos de este estudio es más que suficiente (que en su mayoría son OSO y ESE).

Del mismo modo el periodo de pico espectral medio y la altura de ola significativa espectral media aparecen multiplicados por un factor de escala (x 10) para representarlas conjuntamente con la evolución de áreas.

Se trabaja con la designación de niveles energéticos empleada por (Ortega *et al.*, 2010):

- Niveles energéticos altos (Hsm>3.5 m ; Tp ∈[7-9]s)
- Niveles energéticos medios (Hsm ∈ [1-2] m ; Tp ∈[6-8]s)
- Niveles energéticos bajos (Hsm <1 m ; Tp ∈[4-6]s)

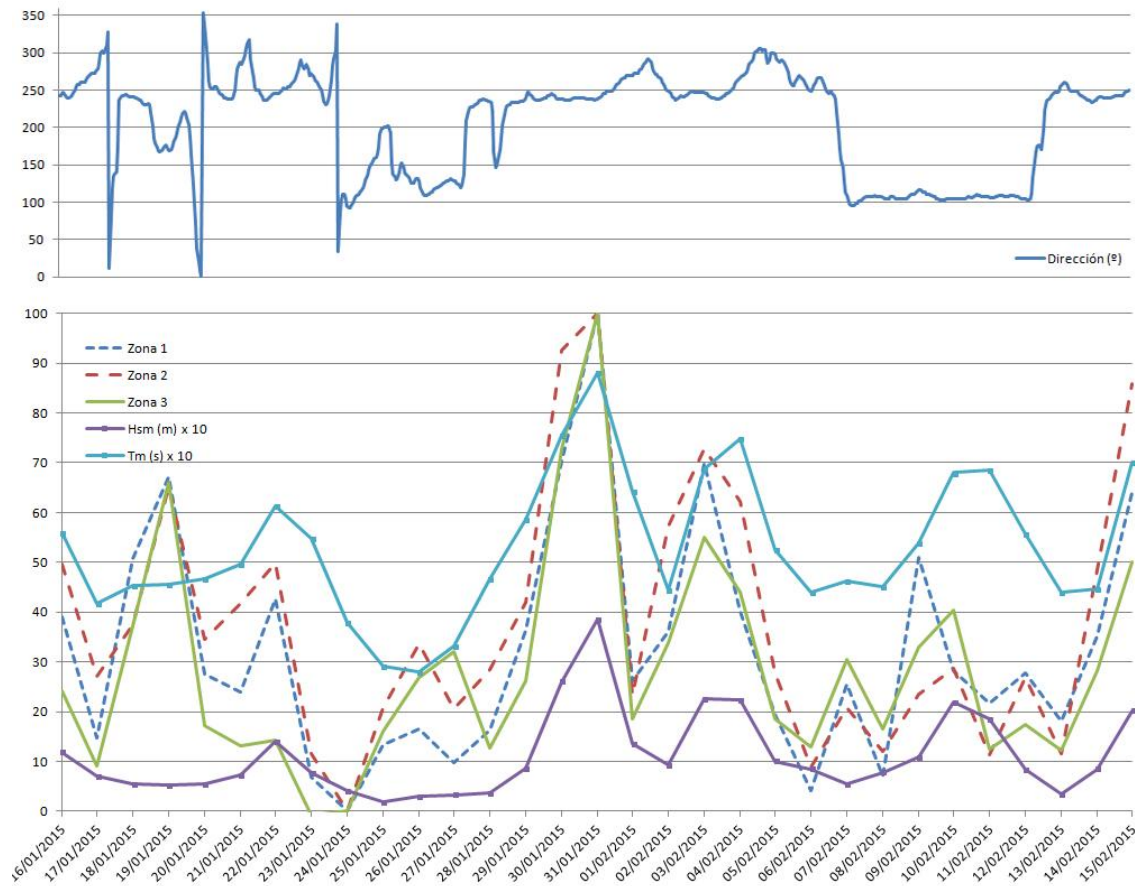
Para simplificar la descripción, se utilizarán las abreviaturas propias de la rosa de los vientos:

<b>N - Norte</b>	<b>NE - Nordeste</b>	<b>NNE - Nornordeste</b>	<b>SSO - Sudsudoeste</b>
<b>S - Sur</b>	<b>SO - Sudoeste</b>	<b>ENE - Estenordeste</b>	<b>OSO - Oestesudoeste</b>
<b>E - Este</b>	<b>SE - Sudeste</b>	<b>ESE - Estesudeste</b>	<b>ONO - Oesnoroeste</b>
<b>O - Oeste</b>	<b>NO - Noroeste</b>	<b>SSE - Sudsudeste</b>	<b>NNO - Nornoroeste</b>

Tabla 7. Designación de la dirección de procedencia del oleaje.

### 5.2.3.1. TORMENTA DEL 31 DE ENERO 2015

De las tres tormentas analizadas, esta es la que mayores alturas de ola presenta (tanto valor medio como valor máximo, superando al resto), y por tanto, mayor contenido energético. Esta condición hace que, a diferencia de las otras, el valor máximo de área coincida con el momento de la tormenta, y además de forma simultánea en las tres zonas.



**Figura 36. Evolución temporal de la línea de costa en las distintas zonas, de la línea de costa y del periodo. En la parte superior se representa la evolución de la dirección de procedencia del oleaje con resolución horaria.**

Descripción de la evolución:

1. La playa viene recuperándose de un estado anterior que no está dentro del periodo de estudio. De forma repentina, las tres zonas experimentan un gran retroceso de su línea de costa (50%). Se experimenta una variación de la dirección de procedencia del oleaje siguiendo una secuencia OSO-ONO-NE-OSO. Se pasa de un nivel energético medio a un nivel energético bajo.
2. Cambio de dirección (OSO-S-SO). Manteniendo el mismo nivel de energía, la playa vuelve a recuperarse (50%).

3. Cambio de dirección SO-NE-ONO-OSO. La playa responde con una transferencia de sedimento<sup>1</sup> en la cual la zona 2 pierde sedimento (15%) en favor de la 3, que experimenta una ligera recuperación.
4. Dirección ONO. Se vuelve a condiciones energéticas medias, dando lugar a la interrupción de la recuperación en las zonas 1 y 3, que vuelven a ser erosionadas hasta que la altura de ola alcanza un máximo local. Desde ese punto, este parámetro disminuye, y con él se reinicia la recuperación.
5. Cambio de dirección siguiendo la secuencia OSO-ONO-ENE-ESE. Condiciones energéticas bajas, erosión nuevamente hasta un máximo local, a partir del cual existe otra situación de migración de sedimento de la zona 3 a la 2.
6. Cambio de dirección de ESE a OSO. Manteniéndose las condiciones energéticas se invierte la migración de sedimento de la zona 2 a la 3.
7. Dirección OSO. Mínimo previo a la tormenta. Cambio de tendencia de la zona 3 que pasa a ser erosionada. A medida que aumenta la altura de ola, va retrocediendo la línea de costa en las tres zonas, siendo la zona 2 la que responde con mayor rapidez.
8. Dirección OSO. Condiciones energéticas altas. Punto máximo, evento de tormenta, en todas las zonas se alcanza el 100 % respecto a sus referencias. Tras la tormenta va aumentando la dirección de oleaje de OSO a ONO; disminuye la altura de ola, y se pasa a condiciones energéticas medias, recuperación similar en las tres zonas, alcanzando en sólo un día las condiciones previas a la tormenta.
9. Cambio de dirección ONO a OSO; sigue disminuyendo la altura de ola hasta llegar al umbral con las condiciones energéticas bajas. Erosión en las tres zonas.
10. Dirección OSO. Condiciones energéticas medias. Aumenta la altura de ola, y se siguen erosionando las tres zonas, siendo la zona 1 la que más rápido crece. A partir de aquí la dirección empieza a cambiar (OSO-ONO). Vuelve a recuperar, siendo la zona 1 la más rápida en responder. En esta recuperación, la altura de ola prácticamente se mantiene constante.
11. Cambio de dirección de ONO a OSO. Se pasa a niveles energéticos bajos, por lo que se suaviza la recuperación en la zona 3, mientras que en el resto se mantiene como en el estado anterior.
12. Cambio de dirección OSO a ESE. A pesar de niveles energéticos bajos se induce otro incremento de áreas moderado, que afecta más a las zonas 1 y 3 que a la 2. La altura de ola sigue disminuyendo, mientras que el periodo experimenta una ligera subida. Alcanzada la dirección ESE, vuelve la recuperación en las tres zonas.
13. Dirección ESE. Se sitúa en el umbral energía media-baja, aumenta el periodo, y vuelve la erosión. La zona 1 aumenta considerablemente, bastante más en comparación con las otras zonas. Con el cambio a nivel energético medio y el aumento de altura de ola, la zona 1 comienza su recuperación mientras la zona 2 y zona 3 siguen erosionándose, aunque en menor medida.
14. Dirección ESE. Sigue recuperándose la zona 1, aunque suavizada por la reducción de la altura de ola. La zona 3, y la zona 2 en menor medida se recuperan.
15. Dirección ESE. Se pasa a nivel energético bajo, pero comienzan a erosionarse todos los tramos; la zona 2 en mayor medida.
16. Cambio de dirección de ESE a OSO, que junto con la reducción del periodo y la altura de ola generan otra recuperación.
17. Dirección OSO, aumentan las tres zonas (zona 2 más). Termina el registro con niveles medios.

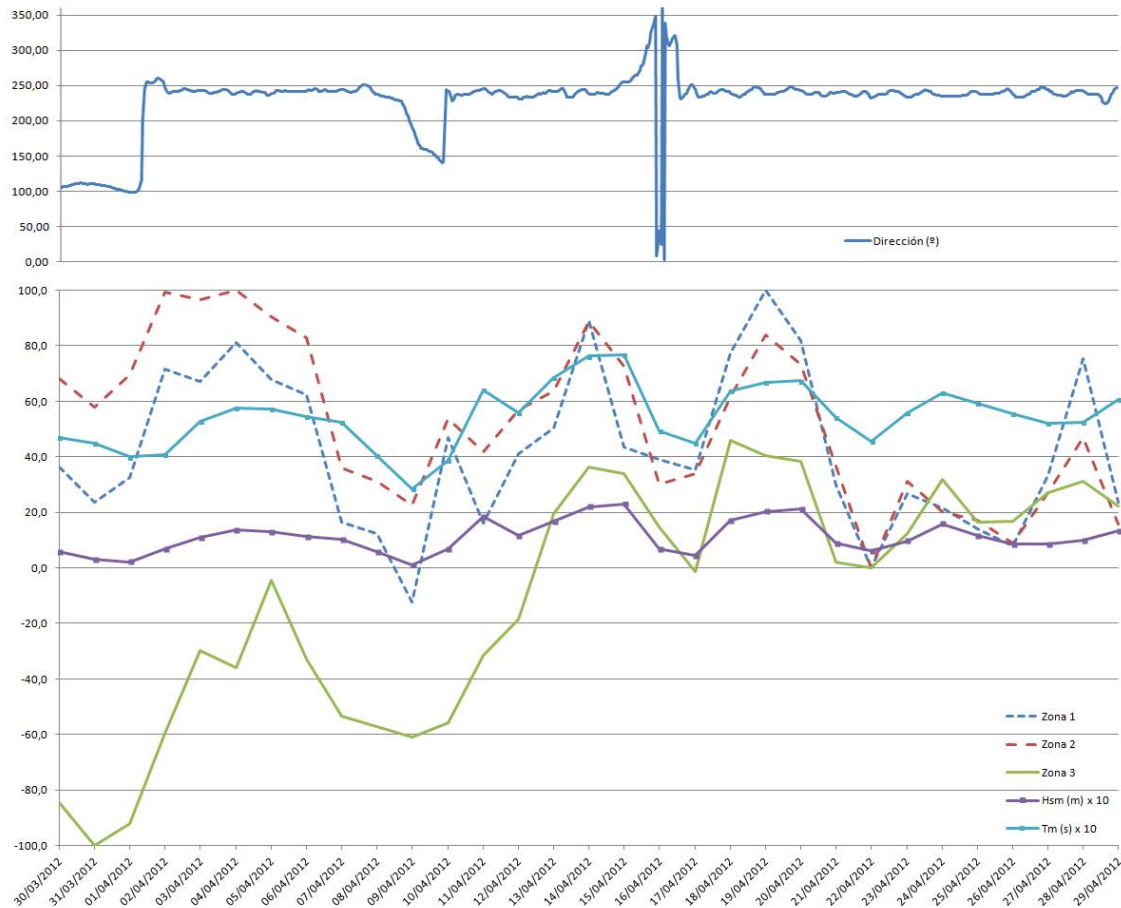
---

<sup>1</sup> A lo largo del estudio se ha interpretado que estas “transferencias de sedimento” de una zona a otra son situaciones en las que la zona 2 tiene un comportamiento contrario a la zona 3 y viceversa.



### 5.2.3.2. TORMENTA DEL 14 DE ABRIL DE 2012

Este periodo este dominado por la dirección oeste-sudoeste, con situaciones cortas y espontáneas de cambios de dirección de duración inferior a un día, pero que, como se verá altera la tendencia de evolución de la línea de costa.



**Figura 37. Evolución temporal de la línea de costa en las distintas zonas, de la línea de costa y del periodo. En la parte superior se representa la evolución de la dirección de procedencia del oleaje con resolución horaria.**

Descripción:

1. Parte de la dirección ESE. Nivel energético bajo. Comienza con erosión en las 3 zonas, que se acentúa cuando se experimenta un cambio de dirección de ESE a OSO, se alcanza el máximo nivel en la zona 2.
2. Dirección OSO. Entrada en condiciones energéticas medias, que hace que en las zonas 1 y 2 se mantenga el nivel mientras que la 3 continúe erosionándose (Posible transferencia).
3. Dirección OSO. Comienza a reducirse la altura de ola y con ella las áreas de la zona 1 y 2, la zona 3 sigue erosionándose (posible transferencia) y al día siguiente también inicia su recuperación.
4. Dirección OSO. Al entrar en zonas de bajo contenido energético se suaviza la recuperación en las tres zonas.
5. Dirección OSO. Se alcanza un mínimo en la altura de ola y se altera la dirección (OSO-SE), coincidiendo con un cambio de tendencia en las 3 zonas, a partir de aquí nuevamente se erosionan a medida que crece la altura de ola (más acentuada en la zona 1).

6. Esta erosión es frenada en las zonas 1 y 2 por dos motivos: un cambio de dirección (SE-OSO) y la entrada nuevamente en condiciones energéticas medias. La zona 3 sí continúa erosionándose, de forma que podría estar cediéndole sedimento a la zona 2.
7. Dirección OSO. Se erosionan las tres zonas, a la vez que aumenta la altura de ola.
8. Dirección OSO. Se alcanza se alcanza un máximo coincidiendo con situación de tormenta, cabe señalar que no se alcanza el valor máximo del registro en ninguna de las zonas. A partir de aquí la playa comienza a recuperarse con la disminución de la altura de ola y el periodo. Posteriormente va cambiando la dirección hacia una componente norte, que no cambia la tendencia pero sí la intensidad: se suaviza en la zona 1 y se incrementa la recuperación en las zonas 2 y 3.
9. Dirección N. Se entra en zona de energía baja (posible transferencia entre zonas 2 y 3). Se alcanza un mínimo tanto en áreas como en altura de ola y la dirección cambia de N a ONO. A partir de ahí se entra de nuevo en energía media.
10. A partir de ahí la dirección del oleaje se mantiene aproximadamente constante (OSO). Las fluctuaciones que se producen están ligadas con las que experimenta la altura de ola. Las primeras se dan de forma más intensa en las zonas 2 y 1, posteriormente es la zona 1 la que sufre mayor intensidad en los incrementos

### 5.2.3.3. TORMENTA DEL 2 DE MARZO DE 2014

Este periodo se caracteriza por fuertes inestabilidades en la dirección del oleaje, lo que se traduce en grandes variaciones de las áreas estudiadas. De esta forma y dado que el contenido energético no es tan fuerte como el que se produce en la tormenta anterior, los máximos de referencia no acontecen en el día de la tormenta.

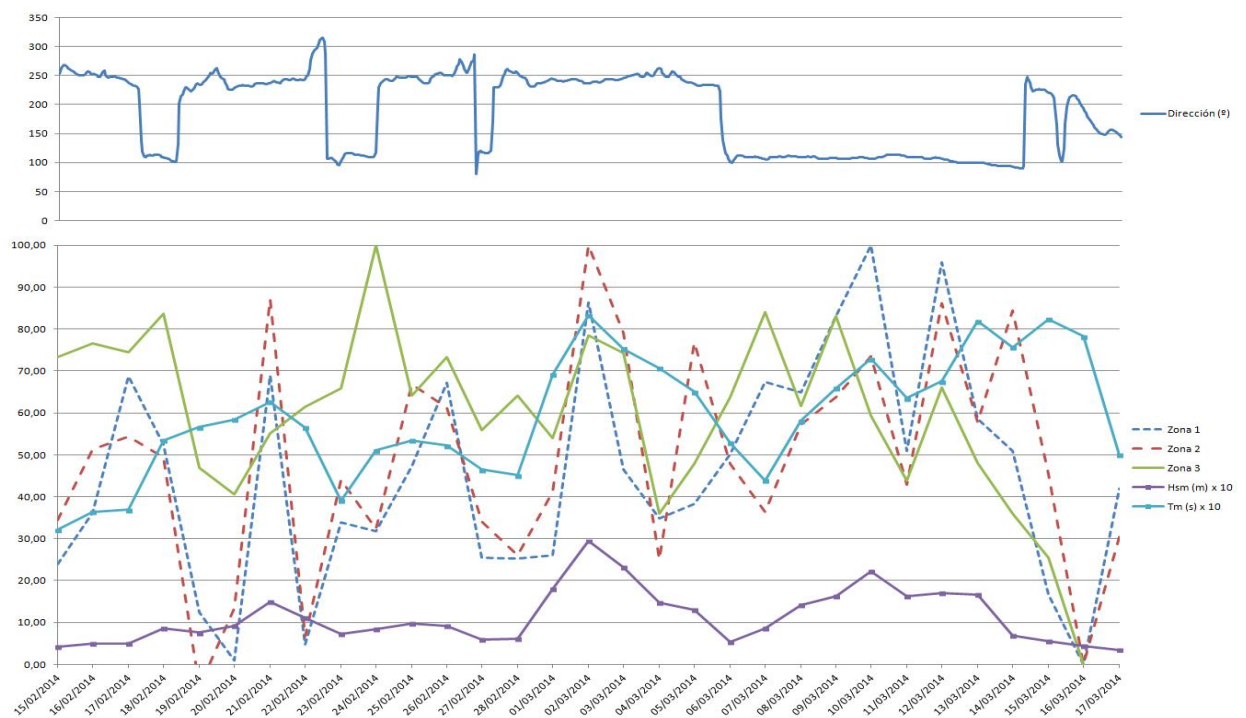


Figura 38. Evolución temporal de la línea de costa en las distintas zonas, de la línea de costa y del periodo. En la parte superior se representa la evolución de la dirección de procedencia del oleaje con resolución horaria.

#### Descripción:

1. Se parte de un estado inicial en el que la zona 3 ya se encuentra bastante erosionada; mientras que las zonas 1 y 2 menos; todas ellas están bajo un proceso de erosión. Se produce un cambio de dirección (OSO – ESE), manteniendo niveles energéticos bajos, lo que provoca que la erosión se frene en la zona 3, se suavice en la zona 2 y se incremente bruscamente en la zona 1.
2. Dirección ESE. Nivel energético bajo. Se recupera la zona 1, y en menor proporción la zona 2, que recibe sedimento de la zona 3, todavía en erosión.
3. Cambio de dirección de ESE a OSO y varía paulatinamente hasta ONO. Nivel energético bajo, rápida recuperación de las zonas 2 y 3.
4. Cambio de dirección de ONO a OSO, que suaviza la recuperación de las zonas 1 y 3; esta última podría estar recibiendo partículas de la zona 2, que comienza a erosionarse.
5. Dirección OSO. Se pasa a condiciones energéticas medias, provocando un aumento considerable del área en las zonas 1 y 2; y de la zona 3 en menor proporción.
6. Cambio de dirección OSO – ONO – ESE. Fuerte recuperación en las zonas 1 y 2 (alcanzan casi el nivel de referencia 0%), sigue erosionándose poco la zona 3 (60 %). La altura de ola y el periodo se van reduciendo.
7. Dirección ESE. Se pasa a condiciones energéticas bajas. Sigue aumentando la erosión en la zona 3, mientras que en las zonas 1 y 2 se reinicia un fuerte proceso erosivo (de 5% a 40%).
8. Cambio de ESE a OSO. Condiciones energéticas bajas. Fuerte erosión en la zona 3, que alcanza su máximo valor en el periodo de estudio (de 60% a 100%), corta recuperación en las zonas 1 y 2. Tras alcanzar este máximo, La zona 3 se recupera y vuelve a su estado previo al cambio de dirección (60%). mientras que las zonas 1, y la 2 en mayor medida, se erosionan. Se deduce que a lo largo de este proceso puede existir transferencia de partículas de la zona 2 a la zona 3, en un sentido y en otro.
9. Cambio OSO-ONO-ESE. Ligera reducción de la altura de ola y periodo. Recuperación en las tres zonas.
10. Cambio de ESE a OSO. Se mantiene constante la altura de ola. La zona 1 apenas experimenta movimiento, la zona 2 una ligera recuperación y la zona 3 una ligera erosión (posible transferencia). Se entra en condiciones energéticas medias y se invierte el proceso: la zona 1 apenas experimenta movimiento, la zona 2 una ligera erosión y la zona 3 ligera erosión.
11. Dirección OSO. Momento de la tormenta, se alcanzan condiciones energéticas altas, aumento considerable de erosión en las zonas 1 (85%) y 2 (se alcanza el máximo, 100%), y menos pronunciado en la zona 3 (80%), que venía de una erosión previa mayor, acontecida unos días atrás.
12. Dirección OSO. Tras la tormenta se vuelve a nivel energético medio; se reduce la altura de ola, y con ella la empieza la recuperación de las tres zonas, siendo la zona 1 la de mayor rapidez en la recuperación.
13. Dirección OSO. Pasado un día desde la tormenta, cambia de tendencia la recuperación: la zona 1 suaviza su recuperación mientras que las zonas 2 y 3 la aceleran.
14. Dirección OSO. Manteniendo la altura de ola y el periodo, las zonas 1 y 3 son erosionadas someramente, mientras que la zona 2 lo hace de forma significativa.
15. Cambio de dirección de OSO a ESE. Esta tendencia anterior es alterada coincidiendo con la entrada en condiciones energéticas bajas: la zona 2 pasa a fase de recuperación mientras que las zonas 1 y 3 continúan erosionándose (transferencia de sedimento).
16. Dirección ESE. Cambio a condiciones energéticas medias, recuperación en zona 3, erosión en la 2 (transferencia de sedimento) y poco movimiento en la 1.
17. Dirección ESE. Establecidas las condiciones energéticas medias, la zona 3 pasa a erosionarse, junto con la 1 (que alcanza su máximo, 100%) y la 2. Al día siguiente la zona 3 inicia una rápida recuperación, mientras que el resto de zona aumentan su erosión.

18. Dirección ESE. Se reduce la altura de ola y con ella las áreas de todas las zonas, de forma más pronunciada en la zona 1.
19. Dirección ESE. Manteniéndose constante la altura de ola, la zona 1 vuelve casi a su máximo (95%), seguido de otro crecimiento brusco en la zona 2, y menor en la zona 3.
20. Dirección ESE. Manteniéndose constante la altura de ola, tras alcanzar un máximo local, las tres zonas se recuperan.
21. Dirección ESE. Entrada en condiciones energéticas bajas, cambio de tendencia en la zona 2, que se vuelve a erosionar, transmitiéndole el sedimento a la zona 3.
22. Cambio de ESE a OSO. Recuperación de forma brusca en todas las zonas, acentuándose en la zona 2.

#### 5.2.3.4. PERIODO DE CALMA: VERANO DE 2013

Este periodo está dominado por niveles energéticos bajos, en los que puntualmente aparecen condiciones de energía medias. La altura de ola experimenta, por lo general, variaciones insignificantes. El periodo se mantiene en la franja de niveles energéticos bajos. Por otro lado, este tiempo de estudio está dominado por oleaje de componente este, pero aparecen periodos de días en los que cambia a oeste.

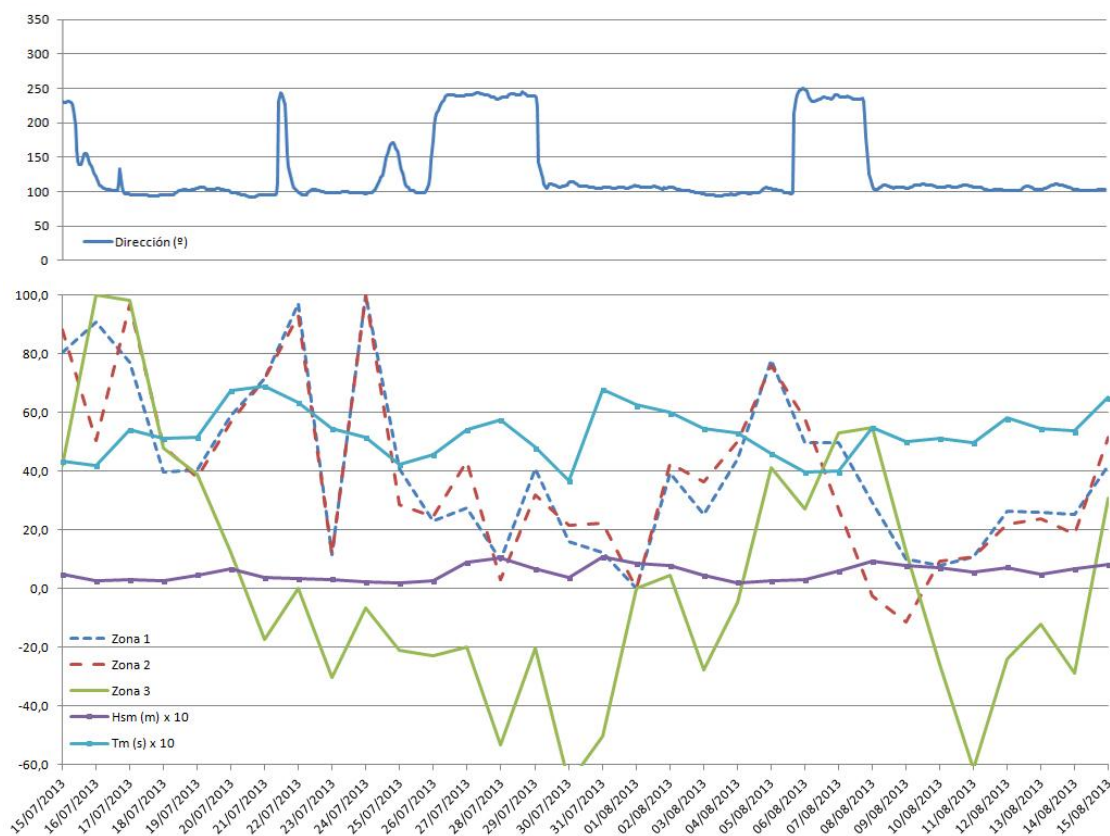


Figura 39. Evolución temporal de la línea de costa en las distintas zonas, de la línea de costa y del periodo. En la parte superior se representa la evolución de la dirección de procedencia del oleaje con resolución horaria.

Descripción:

1. Comienza produciéndose un cambio de dirección de OSO a S. Niveles energéticos medios. Se reduce ligeramente la altura de ola. Erosión en las zona 1 y 3, con mayor intensidad en esta última, y recuperación en zona 2, por lo que puede existir migración de sedimento de la zona 3 a la 2.
2. Cambio de dirección de S a ESE. Se mantiene el nivel de oleaje. Se empiezan a recuperar las zonas 1 y 3, mientras que la zona 2 pasa a erosionarse.
3. Dirección ESE, manteniendo el nivel de oleaje, se recuperan las tres zonas, después aumenta ligeramente la energía del oleaje, con lo que zonas 1 y 2 vuelven a erosionarse, mientras que la zona 3 se sigue recuperando.
4. Cambio de dirección ESE-OSO-ESE, que provoca que la zona 3 se erosione ligeramente, sin alterar la tendencia del resto de zonas.
5. Dirección ESE. Se aprecia una gran variación en un ciclo de recuperación-erosión en las zonas 1 y 2; del mismo modo ocurre en la zona 3 pero con menor intensidad.
6. Cambio de ESE a S. Fuerte recuperación en las zonas 1 y 2, y en menor medida en la zona 3. Se invierte el cambio de dirección de S a ESE, con lo que se suaviza la situación anterior.
7. Cambio de ESE a OSO. Aumento de la altura de ola y cambio de tendencia a erosión, siendo la zona 2 la más afectada.
8. Dirección OSO. Entrada en zona energética media, recuperación en las tres zonas. Disminuye nuevamente la altura de ola y con ella aumenta la erosión.
9. Cambio de dirección de OSO a ESE, disminuye la altura de ola volviendo a nivel energético bajo, recuperación de la playa, siendo más intensa en la zona 3.
10. Dirección ESE. Aumenta la altura de ola hasta alcanzar energía media, lo cual suaviza la recuperación en las zonas 1 y 2, y produce una nueva erosión en la zona 3.
11. Dirección ESE. Se mantiene la altura de ola, se acelera la erosión en la zona 3 y se recuperan las zonas 1 y 2 hasta el estado mínimo de referencia (posible transferencia de flujo entre zonas 2 y 3).
12. Dirección ESE. Vuelta a régimen medio de oleaje, con lo que se frena la erosión en zona 3 y comienza la erosión en 2 y 1.
13. Dirección ESE. Reducción de altura de ola, entrando en nivel energético bajo, recuperación en las tres zonas. Posteriormente, sin apreciar incremento en la altura de ola o periodo, la playa se erosiona de forma apreciable.
14. El cambio de dirección de ESE a OSO frena la erosión y da lugar a una recuperación general en la playa.
15. Dirección OSO. La recuperación en la zona 1 se frena mientras que en la zona 2 aumenta; la zona 3 se vuelve a erosionar hasta alcanzar un máximo, siguiendo el crecimiento de la altura de ola. Cuando esta decrece, también empieza a recuperarse.
16. Cambio de dirección de OSO a ESE cambia la tendencia en las zonas 1 y 2 hacia poco movimiento y erosión respectivamente, sin embargo la zona 3 no parece ser alterada de forma instantánea con este cambio.
17. De aquí en adelante se mantiene la dirección ESE, y las respectivas zonas se mueven acompañando a la altura de ola, en poca magnitud, a excepción de la zona 3 que lo hace con incrementos significativos.

---

## 6. CONCLUSIONES

Para llevar a cabo una correcta gestión del litoral, es necesario conocer con detalle la evolución natural que sufre la costa.

El comportamiento de las playas de arena ha sido objeto de numerosos artículos y, a día de hoy, salvo singularidades, prácticamente es bien conocido. Por el contrario no ocurre esto en playas heterogéneas, predominantes en la costa mediterránea del litoral andaluz, donde al presentar gran variabilidad en el tamaño de sus sedimentos hace de su comportamiento un fenómeno difícil de modelizar. El caso concreto de estudio, la playa de Carchuna, presenta una dificultad añadida: la presencia de formas cuspidales de separación no periódica del orden de centenares de metros, sobre las cuales hay poco escrito.

En este informe se ha tratado de cuantificar la dinámica de la zona emergida tras eventos de tormenta, tomando un margen de tiempo anterior y posterior a la tormenta (de 15 días). Además se ha estudiado un periodo en el que no se presentan eventos de contenido energético alto. Por otra parte, teniendo en cuenta su singular morfología, en el estudio se ha hecho una división en tres partes, cada una de ellas coincidiendo con alineaciones situadas entre cabo y bahía.

Después de llevar a cabo esta cuantificación del avance y retroceso de la línea de costa se ha llegado a varias conclusiones:

- Los cambios en la dirección de procedencia del oleaje tienen un papel fundamental en la evolución de la zona emergida, cambiando la tendencia de erosión a deposición y viceversa. En los resultados se reflejó que es en estas situaciones donde la altura de ola pierde la proporcionalidad con el periodo, dando lugar a datos con poca altura de ola y periodo considerable, y al revés.  
En niveles energéticos medios y bajos estos cambios tienen el mismo peso que la altura de ola, hasta tal punto que existen situaciones en las que este parámetro se mantiene constante, y todas las zonas pasan de ser erosionadas a recibir sedimento (o viceversa), con la única variación de la dirección del oleaje. Esto podría deberse a la circulación de sedimento entre las zonas estudiadas y las no estudiadas (el cabo situado entre las zonas 1 y 2 y la zona adyacente no ha sido incluida en el estudio por la falta de nitidez en las imágenes).  
Así, el oleaje en una cierta dirección se encuentra transfiriendo sedimento de una zona a otra; de forma repentina cambia su dirección y se produce una inversión en el proceso.
- Para niveles energéticos altos prevalece la altura de ola sobre los cambios de dirección que pudiera experimentar el oleaje. Además, siempre que se alcanza este nivel, todas las zonas se erosionan; y cuando se vuelve a niveles inferiores, todas las zonas se recuperan. Esto no ocurre en niveles medios y bajos, donde se dan con frecuencia situaciones en las que una zona está en fase de recuperación mientras que otra está en fase de erosión.
- Observando los gráficos obtenidos, en todos los eventos de tormenta no se requiere más de un día para volver al estado previo a la tormenta, confirmando lo expuesto por (Bramato *et al.*, 2012). Su explicación está relacionada con el cambio de perfil transversal de la playa (no se ha llevado a cabo en este informe): el oleaje inducido por la tormenta extrae las partículas de menor tamaño, mientras que no es capaz de movilizar las de mayor tamaño más de unos metros, por lo que se depositan formando un banco frente a la línea de costa que protege a la playa de mayor erosión; cuando se reduce el nivel energético, el oleaje vuelve a situar las partículas de arena en su estado previo.

- En los periodos de calma, se observa cómo repentinamente cambia la evolución (pasa de erosionarse a generarse deposición, o al revés) de las diferentes zonas a pesar de que no existe un cambio en la dirección de procedencia del oleaje o en la altura de ola. Según (Ortega *et al.*, 2003), a niveles energéticos bajos existe una alternancia en la dirección de la corriente longitudinal; la acreción provocada por el oleaje en un sentido hace que se adelante la rotura del oleaje, lo que provoca que esta corriente cambie hacia el sentido contrario. Al igual que lo argumentado en el apartado anterior, podría tratarse de transferencia de sedimento entre las zonas recogidas y no recogidas en el estudio.
  
- Particularizando a cada una de las zonas estudiadas:
  - Geométricamente, la **zona 3** presenta una alineación con orientación noreste-sudoeste (NE-SO) aproximadamente, con lo que parece lógico que experimente mayores cambios ante un oleaje que incida de la forma más perpendicular posible, en este caso lo que más se asimila es el oleaje procedente del este-sudeste (ESE). Todo esto parece confirmarse con los datos extraídos, pues esta zona presenta fluctuaciones en su comportamiento de mayor amplitud cuando actúa oleaje del ESE que cuando procede del oeste-sudoeste (OSO) (Se comparan estas dos direcciones porque son las predominantes en todos los periodos). Todo esto en igualdad de condiciones energéticas y sin cambios de dirección recientes; es decir, que para provocar la misma erosión, un evento procedente del OSO tendría que incidir con mayor altura de ola que el procedente del ESE. La frecuencia de dichas fluctuaciones sería interesante estudiar si varía de una dirección a otra, pero ello requeriría analizar más tormentas, hasta tener periodos de ESE y OSO lo suficientemente largos y con variedad de condiciones energéticas como para establecer conclusiones. Se observa en todas las gráficas que esta zona presenta una evolución más desvinculada de las otras dos. Esto puede deberse en parte a la orientación geométrica de la alineación, como ya se ha comentado. Pero por otra parte, cabe destacar su escasa longitud frente a las otras dos (del orden de 5 veces menor), que en situaciones de transferencia de sedimento de unas zonas a otras es más susceptible de cambio, ya que necesita recibir menor cantidad de aportes de sus lados contiguos para actuar sobre toda su longitud que el resto de tramos.
  - La **zona 2** presenta una orientación este-sudeste-oeste-noroeste (ESE-ONO) aproximadamente. Como en el caso anterior, teóricamente estaría más afectada a mayor perpendicularidad en la incidencia del oleaje, esto sería, oeste-sudoeste (OSO). Nuevamente los datos confirman que así es; el tramo se comporta de forma distinta: cuando incide oleaje procedente del ESE se registran amplitudes de cambio de área más bajas que el resto de zonas; sin embargo, cuando incide procedente del OSO se aprecian en las gráficas máximos y pendientes mayores que el resto de las zonas. Observando las situaciones en las que la zona 2 y la zona 3 tienen una tendencia distinta (una se erosiona mientras que la otra entra en recuperación, y viceversa), se ha establecido la hipótesis de que podría tratarse de migración de partículas de una zona a otra. Analizando una por una estas situaciones se ha llegado a la conclusión de que cuando existe cambio en la dirección del oleaje (ya sea OSO-ESE o ESE-OSO) se recupera la zona 2 en favor de absorber parte del sedimento que se erosiona en la 3; sin embargo, se produce el efecto contrario cuando se presenta una situación de oleaje procedente de ESE (sin situación previa de cambio en la dirección de procedencia), es decir, se erosiona la zona 2, creando una deposición en la zona 3.

- La **zona 1** está formada por una alineación de marcada orientación este-oeste (E-O). Presenta un comportamiento intermedio entre las zonas 2 y 3. Sin embargo, se asimila más a la zona 2, puesto que en la mayoría de los casos su evolución transcurre paralelamente a ella. Ello se debe a varios motivos: la orientación de las alineaciones se asemeja más, las longitudes son similares, y tienen un cabo en común, que en ciertas situaciones se erosiona derivando sedimento hacia ambas alineaciones (y viceversa).
  
- Para concluir, se podría destacar las principales diferencias con las playas de arena. Tomando como referencia el estudio realizado por (López, 2009) sobre la playa de Trafalgar, situada en la costa atlántica, se puede extraer que:
  - Las formas cuspidales presentes en Trafalgar deja paso a un perfil de playa plana en eventos de alto contenido energético. En el caso de Carchuna, a pesar del suavizado de las puntas y depósito en las bahías no se consigue alcanzar dicho perfil.
  
  - En Trafalgar, al tratarse de la costa atlántica, la marea ejerce un papel protagonista en la posición de la línea de costa, provocando mayores cambios que los producidos por el oleaje. Esto no ocurre de igual forma en la playa de Carchuna, ya que al tratarse del mar mediterráneo los efectos de la marea son mucho más reducidos, dejándole mayor influencia al oleaje.
  
  - En el caso de Trafalgar, los efectos de erosión y recuperación debidos a eventos de tormenta no provocan cambios significativos a corto plazo, y además, estos se producen lentamente. Por el contrario en Carchuna, sí pueden implicar grandes cambios, pero su recuperación se produce en cuestión de horas. Como ya se ha comentado, las partículas de mayor tamaño al ser arrastradas a poca distancia de la línea de costa forman un banco, ejerciendo cierta protección sobre la misma. Este es un factor importante que debería tenerse en cuenta en la gestión de playas, donde la mayoría de regeneración artificial se ha hecho con arena; en lugar de emplear sedimento heterogéneo, propio de la playa, desechando la capacidad protectora que este aporta.



---

## 7. BIBLIOGRAFÍA

AARNINKHOF, S.G.J. AND HOLMAN, R.A., 1999. Argus video-based monitoring of the nearshore zone: A tool for both nearshore science and coastal zone management. *Backscatter* 10, 2, 8-11.

ALDAYA, F. (1969). Los mantos. Alpujárrides al sur de Sierra Nevada. *Acta Geol. Hisp.* 4, 126-130.

ALDAYA, F. (1970). La sucesión de etapas tectónicas en el dominio Alpujárride. *Cuad. Geol.* 1, 159-181.

ALDAYA, F. (1981). Hoja 20-44, Albuñol Escala 1:50000. *Mapa Geológico de España. Instituto Geológico y Minero.*

BRAMATO, S., ORTEGA SÁNCHEZ, M.A., MANS, C., LOSADA, M.A. (2012). Natural recovery of a Mixed sand and gravel beach after a sequence of a short duration storm and moderate sea states. *Coastal Education And Research Foundation*, 28(1): 89-101.

HOLMAN, R.A., STANLEY, J., 2007. The history and capabilities of Argus. *Coastal Engineering* 54, 477-491.  
Inman, D.L., Guza, R.T., 1982.

LÓPEZ RUIZ, A., ORTEGA SÁNCHEZ, M. (2009). Análisis de la regeneración natural de playas mediante técnicas de vídeo imágenes: Playas de Carchuna (Granada) y Trafalgar (Cádiz).

ORTEGA SÁNCHEZ, M., BAQUERIZO, A., LOSADA, M.A (2010). Morfodinámica de la playa de Carchuna (Granada): Análisis teórico y mediante técnica de video imágenes. *Ambientalia vol.1* (2009-2010) 118-128.

ORTEGA SÁNCHEZ, M., LOSADA, M.A., BAQUERIZO, A. (2003). On the development of large-scale cusped features on a semi-reflective beach: Carchuna beach, Southern Spain. *Marine Geology (Mar Geol)* 198, 209-223.