



MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE ESTADO  
DE MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL DE  
SOSTENIBILIDAD DE LA COSTA  
Y DEL MAR

SEVICIO PROVINCIAL DE  
COSTAS EN CASTELLÓN

# TRAMITACIÓN AMBIENTAL

DEL

**“PROYECTO CONSTRUCTIVO QUE PERMITA ESTABILIZAR EL  
FRENTA LITORAL EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE LA LLOSA  
Y ALMENARA (CASTELLÓN)”**

# DOCUMENTACION ADICIONAL

AL

DOCUMENTO AMBIENTAL

C/ Escultor Viciano, 2  
12002, CASTELLÓN  
TLF: 964284896  
FAX: 964285313

## **CONTENIDO**

**1.- ANTECEDENTES Y BREVE DESCRIPCIÓN DE DOCUMENTACIÓN APORTADA.**

**2.- ESTUDIOS DE DETALLE DE CLIMA MARÍTIMO Y DINÁMICA LITORAL DE LA UNIDAD FISIAGRÁFICA EN LA QUE SE ENMARCA LA ACTUACIÓN.**

**3.- CONSIDERACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y PRIORIZACIÓN DE ACTUACIONES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA COSTA.**

I

ANTECEDENTES Y BREVE DESCRIPCION  
DE DOCUMENTACIÓN APORTADA.

## ANTECEDENTES Y BREVE DESCRIPCIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN APORTADA

En octubre de 2016, La Subdirección General de Evaluación Ambiental de la Generalitat Valenciana remitió el informe ambiental relativo al proyecto que se tramita.

Como consecuencia de este informe en el que se hacen una serie de consideraciones sobre la documentación ambiental que les fue remitida en junio de 2016 para consulta, se han producido encuentros técnicos en los que se ha ido matizando, tanto la documentación ambiental aportada por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, relativa al proyecto, como las consideraciones expuestas en el informe de la Generalitat Valenciana.

Existe un consenso en que algunos de los aspectos relevantes que han servido para el diseño de la solución técnica contemplada en el proyecto, que estaban implícitos en la documentación ambiental inicialmente aportada, es conveniente que sean expuestos de forma explícita.

A tal fin se ha preparado esta documentación adicional que recoge los estudios de base que dan soporte a las decisiones de diseño tomadas en la valoración de alternativas, elección y justificación de la solución adoptada.

De forma muy abreviada, esta documentación adicional tiene los siguientes contenidos:

La **primera parte** recoge los estudios de detalle que son el resultado del análisis exhaustivo que se realizó en el año 2011 con el apoyo técnico del IHCantabria, respecto de los aspectos siguientes:

- Morfología del tramo y su evolución
- Dinámica marina o Clima marítimo: nivel del mar, viento y oleaje.
- Dinámica litoral: estudio de estabilidad y su evolución, transporte litoral de sedimentos y planteamiento del modelo morfodinámico de funcionamiento del sistema.
- Alternativas de actuación.

En forma de anejos, esta primera parte contiene también, siguiendo la metodología que propone el SMC (sistema de modelado costero), los siguientes modelos:

- Modelo de propagación del oleaje Swan.
- Modelo de propagación del oleaje Oluca RD y Oluca SP.
- Modelo de corrientes de rotura Copla MC y copla SP.

Esta primera parte se completa con la descripción de los regímenes medios y rosas de oleaje en puntos objetivo, las series fotográficas tomadas en campo y la estimación de aportes sólidos de origen fluvial que podrían ser necesarios para ser empleados en las alternativas de actuación.

En la **segunda parte** se recoge el informe técnico elaborado para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, por el CEDEX, en el año 2015.

Este informe actualiza en primer lugar toda la información disponible, y en particular sobre los efectos del cambio climático con los datos y recomendaciones del Quinto Informe de Evaluación del IPCC.

En segundo lugar, se fija un orden de prioridad y la ordenación temporal de las actuaciones, determinando las distintas fases de actuación.

La priorización de las actuaciones atiende a cuatro tipos de variables: sociales, medioambientales, económicas y seguridad frente a embates del mar en los episodios de temporal.

De la consideración de estas variables resulta una ordenación de las actuaciones en tres escalones: prioridad alta, media y baja.

A los efectos de la discusión técnica relativa a la afección de las actuaciones propuestas en Almenara y La Llosa en el proyecto constructivo que está ahora en fase de tramitación ambiental sobre los términos municipales situados al sur, y sobre la base de toda la documentación técnica anterior, la cuestión se plantea del modo que se resume en los apartados 7.2.4.5 y 7.2.4.6 del informe del CEDEX.

En estos apartados se determina que la actuación en el TM de Almenara es sin duda de prioridad alta, y por lo tanto debe acometerse con prontitud, ya que se dan las circunstancias exigidas, esto es, existe un núcleo urbano que no tiene la playa que se demanda, existe un grave deterioro de las condiciones de tramo de costa y se detecta un alto grado de inseguridad frente a temporales.

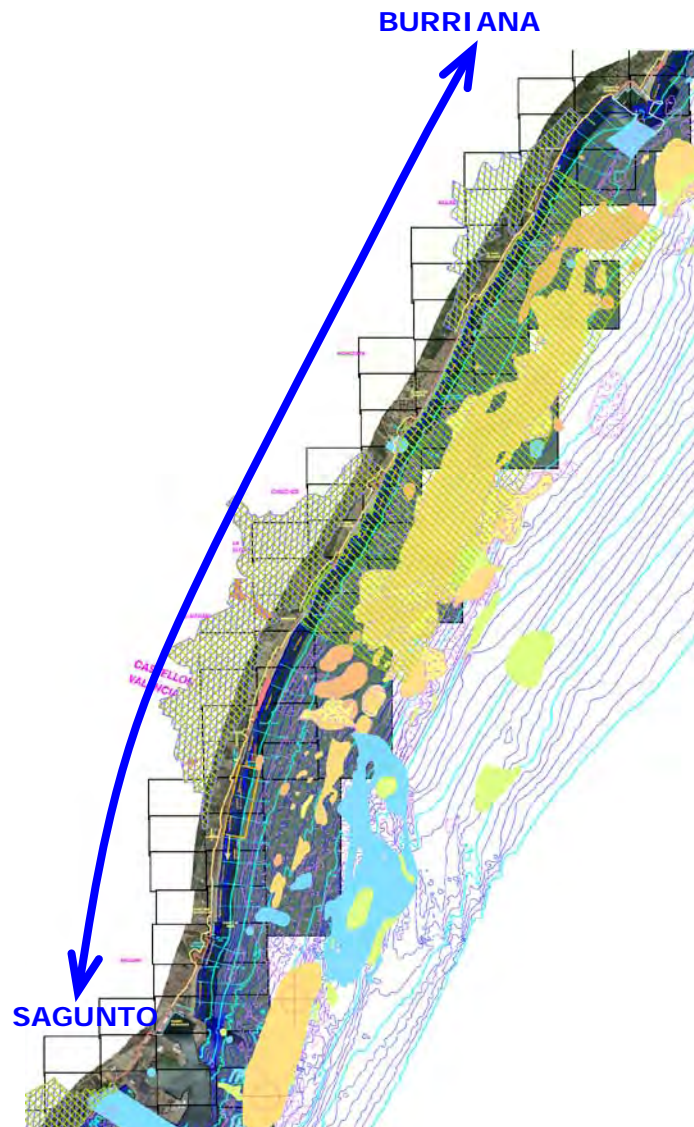
La relación que se establece entre las actuaciones en Almenara (zona II-2-1) y las actuaciones en el tramo Gola Queralt- Puerto de Canet (zona II-2-2) es la siguiente:

Primero se determina qué alternativa concreta de entre las propuestas se desarrolla en la zona II-2-1. Una vez tenida esta alternativa se evalúa el transporte de sedimentos que resulta y las necesidades de material a aportar. Finalmente se plantea en la zona II-2-2 “una actuación que es complementaria y se supedita a las que se realicen aguas arriba”. También esta última de prioridad alta, aunque “supeditada a lo antedicho”.

## II

ESTUDIOS DE DETALLE DE CLIMA MARITIMO  
Y DINÁMICA LITORAL DE LA UNIDAD FISIAGRÁFICA  
EN LA QUE SE ENMARCA LA ACTUACIÓN.

IH cantabria



**ASISTENCIA TÉCNICA  
PARA EL ESTUDIO INTEGRAL DE ALTERNATIVAS DE  
ACTUACIÓN EN EL TRAMO DE COSTA COMPRENDIDO ENTRE  
EL PUERTO DE BURRIANA Y EL PUERTO DE SAGUNTO**

**ANEJO 1. DOCUMENTO PRELIMINAR**

**DOCUMENTO FINAL**



## **Anejo 1 Capítulo 1 del Documento Preliminar**

### **INTRODUCCIÓN**





# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Motivación

El tramo de costa ubicado entre los Puertos de Burriana y de Sagunto sufre severos problemas de erosión que afectan tanto a zonas habitadas como a espacios naturales (véase figura 1.1). Para ilustrar este hecho en la figura 1.2 se muestra la erosión sufrida en la zona de Barri Mar (zona adyacente a la Gola de La Llosa), hasta el punto de que ha sido necesario la construcción de una escollera, escollera que ha sufrido ampliaciones con el paso del tiempo.

Las causas de dichos problemas son múltiples y entre ellas se encuentran las siguientes:

- En primer lugar, la reducción de los aportes sólidos fluviales al tramo de costa objeto de estudio como consecuencia de los diferentes embalses realizados en los principales ríos de la zona (el río Mijares y el Palencia). Se estima que los embalses Schar (1960) y Arenós (1980) en el río Mijares tuvieron como consecuencia una reducción en el aporte sólido fluvial medio anual de entre el 80-90% con respecto a la situación previa a la construcción de los mismos.
- La gran capacidad de transporte de Norte a Sur debida al oleaje reinante de la zona.
- La presencia del Puerto de Burriana (construido en 1933) que supone una barrera a la llegada del sedimento desde el Norte (playa de El Arenal ubicada al Norte de dicho Puerto).
- La configuración geométrica de la costa analizada, con grandes tramos rectilíneos, sin estructuras intermedias, cuya orientación y longitud impide en muchas zonas el poder adoptar una orientación sensiblemente parecida a la del flujo medio de energía.
- La elevada ocupación del frente litoral por urbanizaciones que da lugar a que más del 40% del tramo esté antropizado.
- Por último, también se debe tener en cuenta la disposición de diferentes elementos como diques exentos, espigones, escolleras, recrecimientos de golas existentes, etc, que han alterado localmente la dinámica litoral de la zona de estudio.

**DOCUMENTO FINAL**

Por otra parte, debido a las características existentes en el tramo de costa objeto de estudio (elevada tasa de transporte, ausencia de sedimentos, gran número de zonas habitadas en el frente costero) hacen de la misma una de las más vulnerables frente a los efectos del cambio climático.

En este contexto es como surge este trabajo al solicitar la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar la asistencia técnica al "Estudio Integral de Alternativas de Actuación en el tramo de costa entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto".

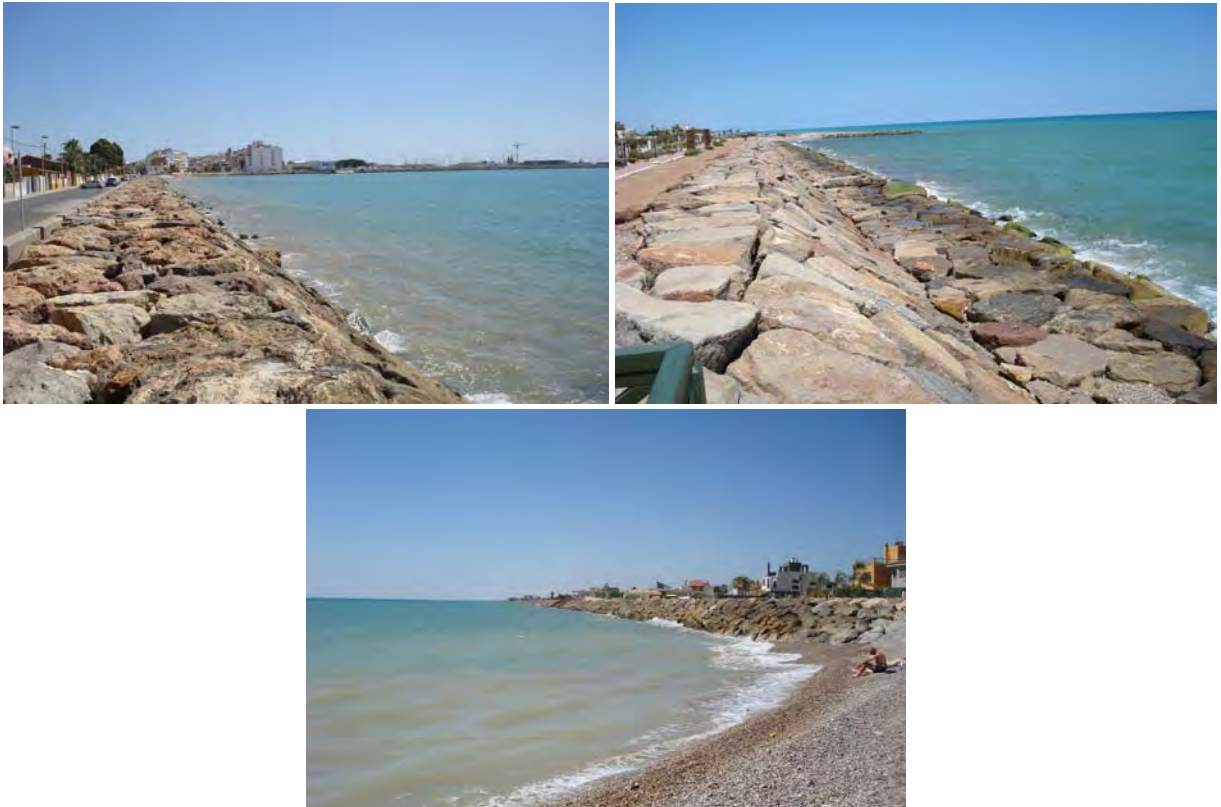


Figura 1.1. Problemática de la zona de estudio.

**DOCUMENTO FINAL**

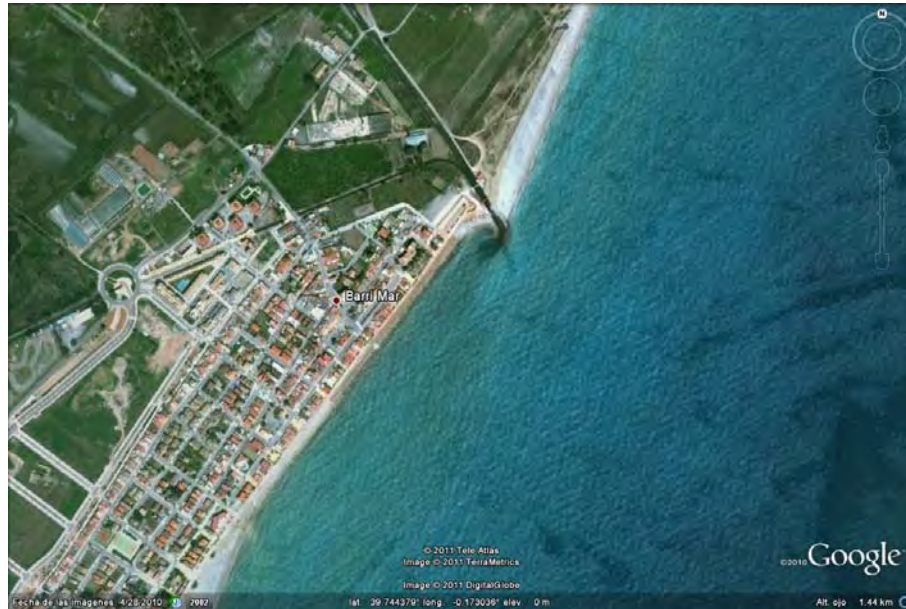


Figura 1.2. Erosión en tramo escollera de Barri Mar.

## 1.2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es el estudio integral de Alternativas de Actuación en el tramo de costa comprendido entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto.

Como objetivos específicos del mismo se establecen los siguientes:

- Recopilación y análisis de datos.
- Estudio morfodinámico del frente costero objeto de estudio en su estado actual.
- Evaluación de las condiciones actuales de estabilidad en el tramo de costa entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto.
- Propuesta de líneas de actuación para la gestión sostenible del tramo indicado.
- Estudio de pronóstico de variación de dinámica marina por efecto del cambio climático.
- Establecimiento de las bases para el diseño de la alternativa que se considere como la más adecuada.

### 1.3. Información utilizada

Para la realización del presente estudio se ha contado con la siguiente información:

- Batimetría de detalle de la zona de Castellón del año 2009 suministrada por la Dirección General de la Sostenibilidad de la Costa y del Mar.
- Batimetría de detalle de la zona de Valencia del año 2006 suministrada por la Dirección General de la Sostenibilidad de la Costa y del Mar.
- Batimetría general de la zona recogida en las cartas náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina.
- Batimetría global "General Bathymetric Chart of the Oceans" (GEBCO).
- Ortofotos actuales proporcionadas por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar.
- Ortofotos históricas proporcionadas por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar.
- Fotos verticales y fotos oblicuas de la zona suministradas por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar.
- Fotos históricas de Google Earth.
- Líneas de restitución históricas de la zona realizadas por el CEDEX.
- Líneas de restitución históricas de la zona de Castellón realizadas por la empresa Ingeniería Digital y Medio Ambiente S.L. en el año 2011.
- Datos de deslindes proporcionados por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar.
- Estudio ecocartográfico del litoral de las provincias de Valencia y Alicante (Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino) con fecha de Septiembre de 2006 realizado por HIDTMA.
- Estudio ecocartográfico del litoral de la provincia de Castellón con fecha de Noviembre de 2009 (Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino) realizado por HIDTMA.

**DOCUMENTO FINAL**

- Estudio topográfico de la costa de Valencia realizado por Mediterráneo Servicios Marinos en Noviembre de 2007 y Septiembre de 2008.
- Registro de nivel del mar del mareógrafo de Valencia proporcionado por el Organismo Público Puertos del Estado.
- Datos de viento de la base de datos Era-Interim / SeaWind de la Universidad de Cantabria
- Datos de oleaje del reanálisis GOW 2.1 del IH Cantabria.
- Datos de oleaje del reanálisis GOW 1.1 del IH Cantabria.
- Datos de marea meteorológica del reanálisis GOS 2.1 del IH Cantabria.

## 1.4. Organización del estudio

El presente documento preliminar se organiza del siguiente modo:

### **MEMORIA**

**Capítulo 1. Introducción**, donde se plantean los objetivos del trabajo y se detalla la información utilizada.

**Capítulo 2. Morfología de la zona de estudio**, en el que se describen los elementos morfológicos más relevantes de la zona de estudio, tanto en la situación actual como en épocas pasadas.

**Capítulo 3. Dinámica marina**, en el que se evalúan las características del nivel del mar, del viento y del oleaje en la zona de estudio.

**Capítulo 4. Dinámica litoral**, se analiza la estabilidad y evolución de las playas del tramo de costa situado entre el Puerto de Burriana y el de Sagunto, destacando especialmente el análisis del transporte litoral existente en la zona. Finalmente se plantea el modelo morfodinámico de funcionamiento del sistema.

**Capítulo 5. Alternativas de Actuación**, en el que se proponen las diferentes Alternativas de Actuación en la zona de estudio.

**DOCUMENTO FINAL**

**Capítulo 6. Efectos del Cambio Climático en la Costa**, en el que se analiza los impactos en la costa producidos por efecto del cambio climático para cada una de las Alternativas de actuación propuestas en el capítulo 5 del presente documento.

## **ANEJOS**

**Anejo I. Modelo de propagación del oleaje Swan**, en el que se describe el modelo de propagación del oleaje Swan.

**Anejo II. Modelos de propagación del oleaje Oluca RD y Oluca SP**, en el que se describe el modelo de propagación Oluca RD y Oluca SP.

**Anejo III. Modelo de corrientes de rotura Copla MC y Copla SP**, en el que se describe el modelo de corrientes de rotura Copla MC y Copla SP.

**Anejo IV. Regímenes medios y rosas de oleaje en puntos objetivo**, en el que se presentan los gráficos de regímenes medios y rosas de oleaje en los puntos objetivo establecidos.

**Anejo V. Fotografías tomadas en campo**, en el que se recopila las fotografías tomadas en campo en la visita realizada los días 26 y 27 de Julio de 2010.

**Anejo VI. Estimación de aportes sólidos de origen fluvial**, en el que se realiza una estimación, en el pasado y en la actualidad, del régimen de aportaciones sólidas a la costa de los principales cauces del tramo objeto de estudio.



## **Anejo 1 Capítulo 2 del Documento Preliminar**

### **MORFOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO**



## 2. MORFOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

En el presente capítulo se describe la morfología del tramo de costa objeto de análisis tanto en su situación actual como pasada.

### 2.1. Descripción general de la zona de estudio

El tramo de costa objeto de estudio, de unos 26 Km de longitud, se encuentra situado en las provincias de Castellón y Valencia, entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto.



Figura 2.1 Localización de la zona de estudio.



**DOCUMENTO FINAL**

La línea de costa de dicho tramo, con orientación S60°E, es bastante recta a lo largo de todo el tramo de estudio y carece de accidentes naturales. Sin embargo, muestra gran cantidad de obras de protección costera, entre las que se encuentran diversas tipologías de espigones, diques exentos, escolleras de protección,...

El tramo de costa de estudio sufre un intenso proceso erosivo debido al importante transporte litoral de Norte a Sur y a la ausencia de aportes de material sedimentario desde el Norte, principalmente como consecuencia de la presencia del Puerto de Burriana que obstaculiza la deriva litoral de sedimentos provenientes del río Mijares, situado al Norte de la zona de estudio.

Recorriendo la costa desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto, esto es de Norte a Sur, se distingue una primera zona muy erosionada hasta el núcleo poblacional del Grau de Nules que ha hecho necesaria la disposición de una escollera para protección de la carretera que bordea la costa.

Continuando hacia el Sur se encuentran una serie de municipios (El Grau de Nules, el Grau de Moncofar, el Estanyol y las Casas de Chilches), en los que se ha llevado a cabo la regeneración de playas y la construcción de numerosos espigones y diques exentos.

A partir de la Gola de Llosa se suceden una serie de playas en las que a penas se observan obras de protección costera (Casablanca, Corinto, Almardá y Canet de Berenguer) hasta el Puerto de Siles, a excepción del tramo escollorado justo en la zona adyacente a la Gola de La Llosa en su parte meridional.

Al sur de dicho puerto se observa nuevamente una fuerte erosión que alcanza la carretera costera (que también ha tenido que ser protegida mediante escollera). Erosión que se suaviza a partir de la aparición de la Playa del Puerto de Sagunto apoyada en el dique de dicho puerto.

### **2.1.1. Zonificación de la zona de estudio**

Si bien el estudio del tramo costero se ha llevado a cabo de un modo global, debido a sus dimensiones (aproximadamente 26 km de costa) y el gran número y variedad de actuaciones llevadas a cabo, es necesaria su fragmentación en varios tramos a efectos de realizar una descripción detallada del mismo.

Por ello se ha dividido la zona de estudio en los siguientes 7 tramos (véase figura 2.2), localizados de Norte a Sur:

1. Burriana: desde el contradique del Puerto de Burriana hasta la Gola de la Ratlla.

**DOCUMENTO FINAL**

2. El Grau de Nules: hasta la escollera de protección en mitad de la Playa de Pedra Rotja, incluyendo las Playas de Nules y Pedra Rotja.
3. El Grau de Moncofar: hasta la Playa de la Torre, incluyendo las Playas del Grau, El Masbo, Tamarit y la Torre.
4. Las Casas de Chilches: hasta la Gola de La Llosa, incluyendo las Playas del Estanyol, las Casas, el Cerezo y la Llosa.
5. Almenara: hasta la Gola del Estany de Quartell, incluyendo la Playa de Casablanca, la Gola de Queralt y la parte norte de la Playa de Corinto.
6. Almardá: hasta el Puerto de Siles, incluyendo la parte sur de la Playa de Corinto, la Playa de la Almardá y la Playa de Canet de Berenguer.
7. Sagunto: desde el contradique del Puerto de Siles hasta el dique norte del Puerto de Sagunto, incluyendo el delta del río Palancia y la Playa del Puerto de Sagunto.



Figura 2.2 Localización de los 7 tramos en los que se ha dividido la zona de estudio.

En las figuras 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 y 2.11 se muestra la localización de cada uno de los anteriores tramos así como los elementos significativos presentes en ellos.

DOCUMENTO FINAL



Figura 2.3 Localización del tramo 1: Burriana.



Figura 2.4 Localización del tramo 2: El Grau de Nules.

DOCUMENTO FINAL



Figura 2.5 Localización del tramo 3: El Grau de Moncofar.



Figura 2.6 Localización del tramo 4: Las Casas de Chilches (Norte).



Figura 2.7 Localización del tramo 4: Las Casas de Chilches (Sur).





Figura 2.8 Localización del tramo 5: Almenara (Norte).



Figura 2.9 Localización del tramo 5: Almenara (Sur).

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.10 Localización del tramo 6: Almardá.

DOCUMENTO FINAL



Figura 2.11 Localización del tramo 7: Sagunto.

## 2.1.2. Descripción zonal

En el presente apartado se describen todos los elementos relevantes existentes en los 7 tramos en los que se ha dividido la zona de estudio, ordenados de Norte a Sur.

### 2.1.2.1. Burriana

El primer tramo de costa considerado tiene una longitud aproximada de 2700 m. Desde el Puerto de Burriana hasta el tómbolo del Serradal la orientación media de la línea de costa es a proximadamente S48°E y su pendiente media es 1:150, al sur de dicho tómbolo su dirección media corresponde a S64°E y su pendiente media aproximada es 1:150.

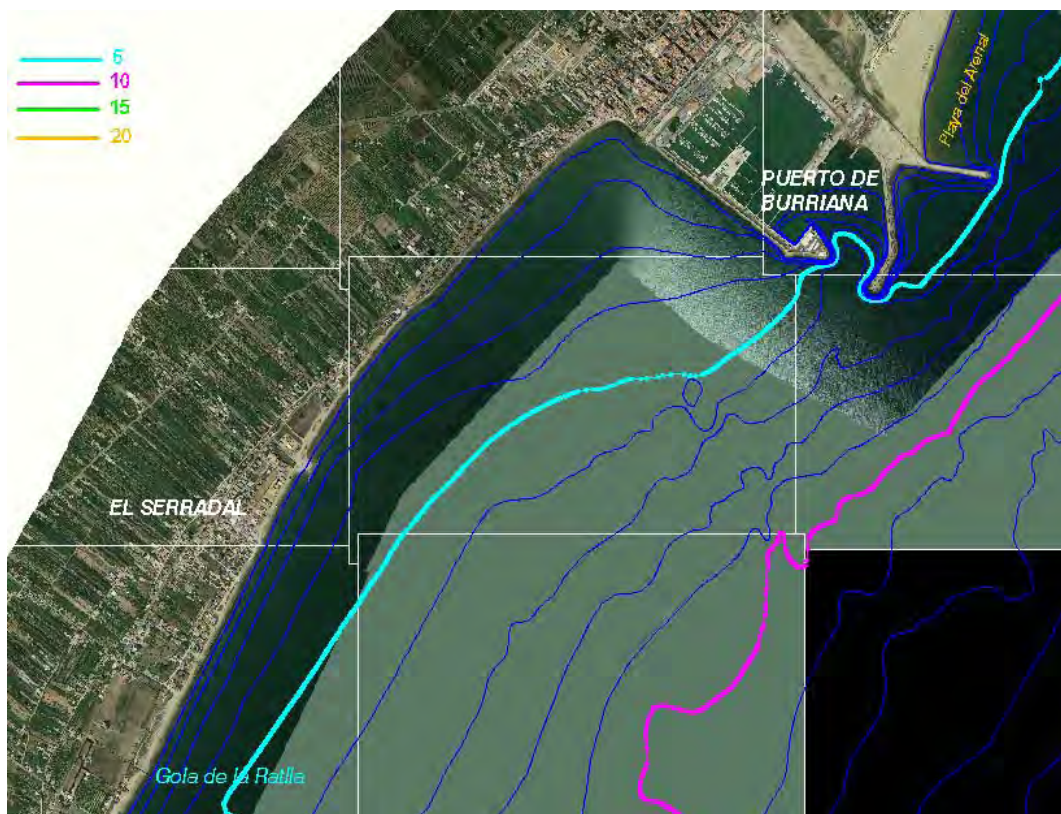


Figura 2.12 Batimetría en el tramo 1: Burriana.

En la mayor parte del tramo costero situado entre el contradique del Puerto de Burriana hasta el límite norte de la Playa de Nules ha sido necesaria la disposición de una escollera de protección. De hecho, en unos 800 m, desde 200 m al sur del Puerto de

**DOCUMENTO FINAL**

Burriana, la línea de costa ha llegado a alcanzar la carretera (camino de la Serratella), que ha tenido que ser protegida mediante una escollera (véase figura 2.13).



Figura 2.13 Escollera junto al camino de la Serratella.

Dicha escollera sólo se ve interrumpida por un tómbolo apoyado en un dique exento de reciente construcción a la altura del Serradal. Dado el crecimiento de esta población en los últimos años, la construcción de este dique sugiere la intención de aplicar al Serraldal el mismo esquema de gestión costera que ya se ha llevado a cabo en municipios vecinos como el Grau de Nules, Moncofar, el Estanyol o las Casas de Chilches.

#### **2.1.2.2. El Grau de Nules**

El segundo tramo comprende las Playas de Nules y Pedra Rotja, consistentes en una serie de playas de ancho variable (entre 20 y 60 m de playa seca) en las que se han ubicado numerosos espigones tanto emergidos como sumergidos. Su longitud es de unos 3750 m, su orientación es S61°E y su pendiente media es de 1:112.

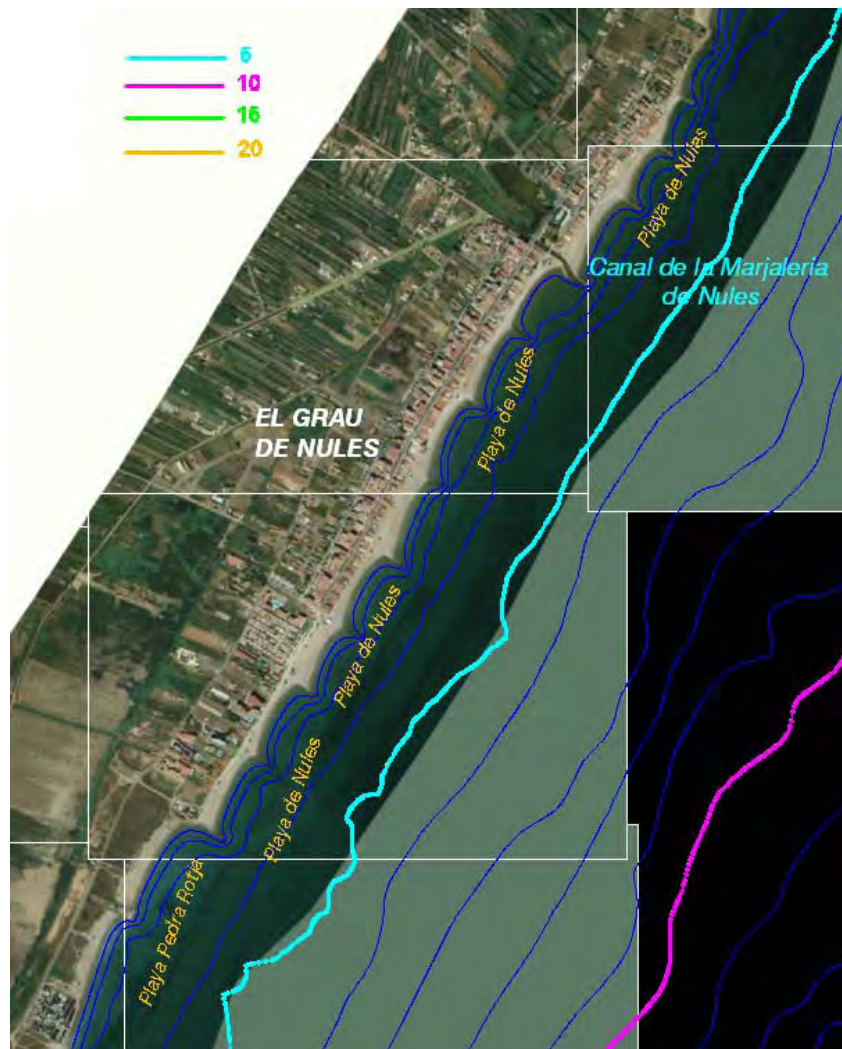


Figura 2.14 Batimetría en el tramo 2: Grau de Nules.

Al sur de la Gola de La Ratlla, en el límite norte del tramo, discurren 800 m de escollera de protección continuación del tramo 1.

Próximos a la Playa de Nules, existen dos pequeños espigones de unos 30 m de longitud (véase figura 2.15).



Figura 2.15 Espigones al norte del tramo 2.

A unos 600 m del límite Norte de la Playa de Nules se encuentra la desembocadura del Canal de la Marjalería de Nules, encauzada mediante dos espigones.

Desde el límite norte de este segundo tramo, hasta el primer espigón de la Playa de Nules, continúa la escollera costera de protección dispuesta a lo largo de casi todo el primer tramo, como se muestra en la figura 2.16.



Figura 2.16 Escollera en el límite de la playa de Nules.

Al Norte de la desembocadura del Canal de la Marjalería de Nules, en la Playa de Nules se han dispuesto tres espigones emergidos de unos 60 m de longitud, mientras que al



**DOCUMENTO FINAL**

sur de la mencionada desembocadura se han ubicado 8 espigones entre semisumergidos y sumergidos con longitudes variables entre 40 y 60 m.

En la Playa de Pedra Rotja, se han dispuesto tres escolleras de protección, en sus extremos y en el centro de la misma, a efectos de proteger varias viviendas y el camping "Costa de Levante" que se encuentra ya dentro del tramo 3.



Figura 2.17 Escolleras en la playa de Pedra Rotja.

### 2.1.2.3. El Grau de Moncofar

Al igual que el tramo anterior, éste consiste principalmente en una sucesión de playas en las que se han dispuesto una serie de espigones. Tiene una longitud de 3300m, orientación media S65°E y pendiente media es 1:103 al norte de la desembocadura del río Belcaire y orientación media S70°E y pendiente 1:120 al sur de dicha desembocadura.

Desde la escollera de protección en mitad de la Playa de Pedra Rotja (límite norte de este tramo) se extienden 350 m de la playa de Pedra Rotja hasta la escollera de protección del camping "Costa de Levante", a continuación de la cual hay 550 m de la Playa del Grau en los que no se aprecian obras de protección del litoral.



Figura 2.18 Escollera en el camping "Costa de Levante".

A partir de este punto se ha dispuesto a intervalos relativamente regulares un total de 12 espigones de longitudes muy diversas (de 30 a 85 m), entre las Playas del Grau, El Masbó y Tamarit, hasta la desembocadura del río Belcaire.

En la Playa de La Torre existen dos escolleras de protección costera como se muestra en la figura 2.19. La primera de ellas de tan sólo 50 m de longitud, para protección de una caseta en la desembocadura de un pequeño arroyo, se sitúa a unos 300 m al sur de la desembocadura del río Belcaire. La segunda de 250 m de longitud se sitúa entre las Playas de La Torre y del Estanyol (límite sur del tramo), para protección de un pequeño poblado costero situado junto al Estanyol.



Figura 2.19 Escolleras en la Playa de La Torre.

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.20 Batimetría en el tramo 3: Grau de Moncofar.

DOCUMENTO FINAL

#### 2.1.2.4. Las Casas de Chilches

Este tramo, situado entre la Playa del Estanyol y la Gola de la Llosa, comprende la Playa del Estanyol, de las Casas, del Cerezo y de La Llosa. Tiene una longitud media de 4500 m, orientación media S64°E y pendiente media 1:129.

En la Playa del Estanyol se observa un tómbolo apoyado en un dique exento de 185 m de longitud, al sur del cual existe un pequeño espigón de apenas 20 m de longitud.

Frente al núcleo de población de las Casas de Chilches, en la parte norte de la Playa del Cerezo y sur de la Playa de las Casas, se observan dos tómbolos apoyados en sendos diques exentos de 150 m de longitud cada uno de ellos.

Entre dichos tómbolos se ha dispuesto una pequeña escollera de protección costera de forma semicircular a modo de estribo para la construcción de un mirador pilotado que no supone interrupción de la deriva litoral de sedimentos, que se muestra en la figura 2.21.



Figura 2.21 Escollera y mirador pilotado en Chilches.

En la parte Sur de la Playa del Cerezo se han construido 3 espigones. Los dos situados más al Norte, de iguales características, tienen una longitud de 65 m y el tercero, situado frente al camping "Mediterráneo", tiene un menor tamaño, con tan sólo 30 m de longitud.

Al Sur de este tercer espigón la línea de costa se retranquea sensiblemente, quedando prácticamente pegada a la zona de cultivos que trasdosa la playa.

En la parte más meridional del tramo, la Playa de La Llosa se trata de una playa de planta recta con ancho de playa seca variable que alcanza su máximo en su apoyo sur

**DOCUMENTO FINAL**

(100 m), sobre el espigón de encauzamiento de la Gola del mismo nombre, y carece de otras estructuras artificiales.

En la figura 2.22 se muestra la batimetría de este tramo de costa.

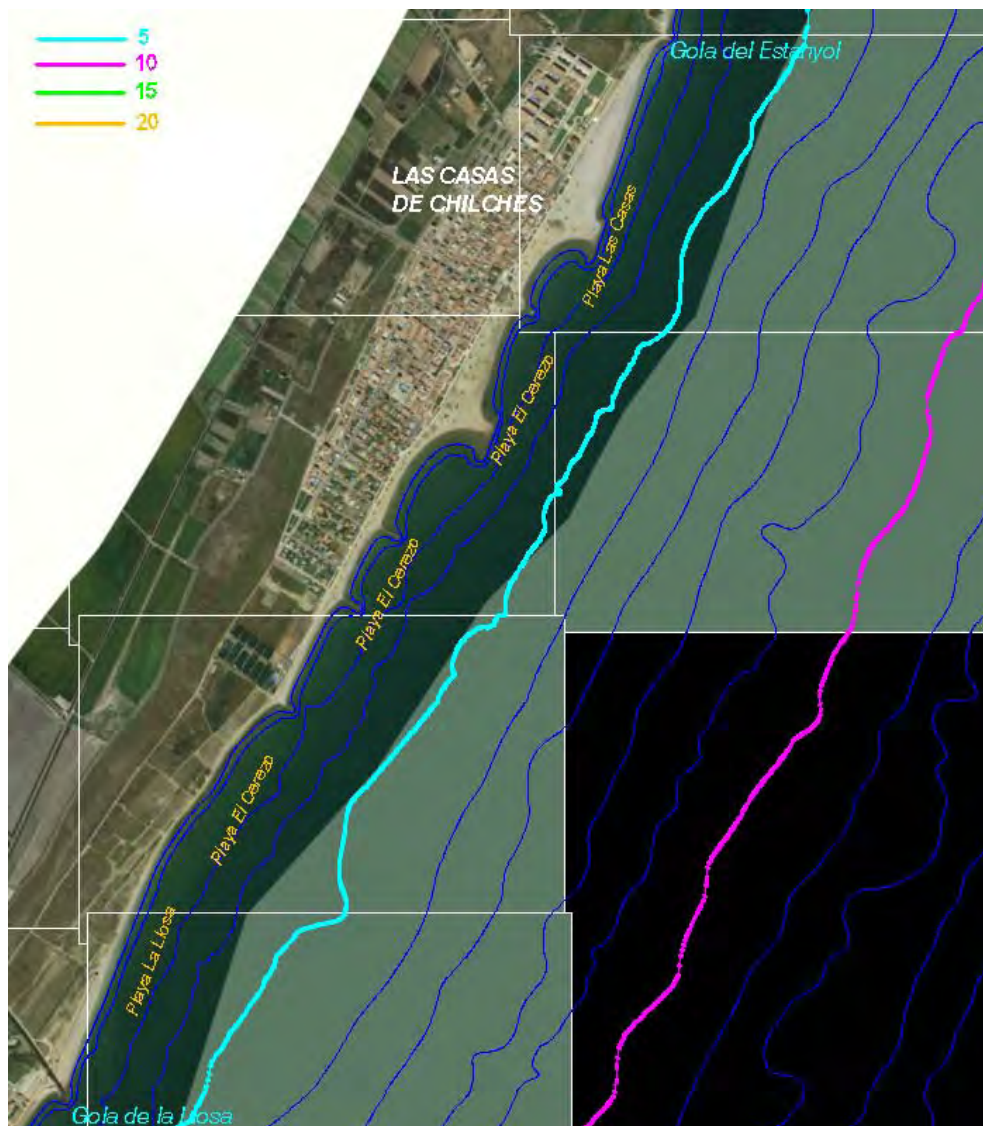


Figura 2.22 Batimetría en el tramo 4: Las Casas de Chilches.

### 2.1.2.5. Almenara

El tramo costero situado ente la Gola de la Llosa y la Gola del Estany de Quartell se divide a su vez en dos tramos separados por la Gola de Queralt.

El tramo norte, consiste en su mayor parte en una playa, la Playa de Casablanca, de planta ligeramente curva. Tiene una longitud media de 3000 m, orientación S68°E y pendiente 1:95.

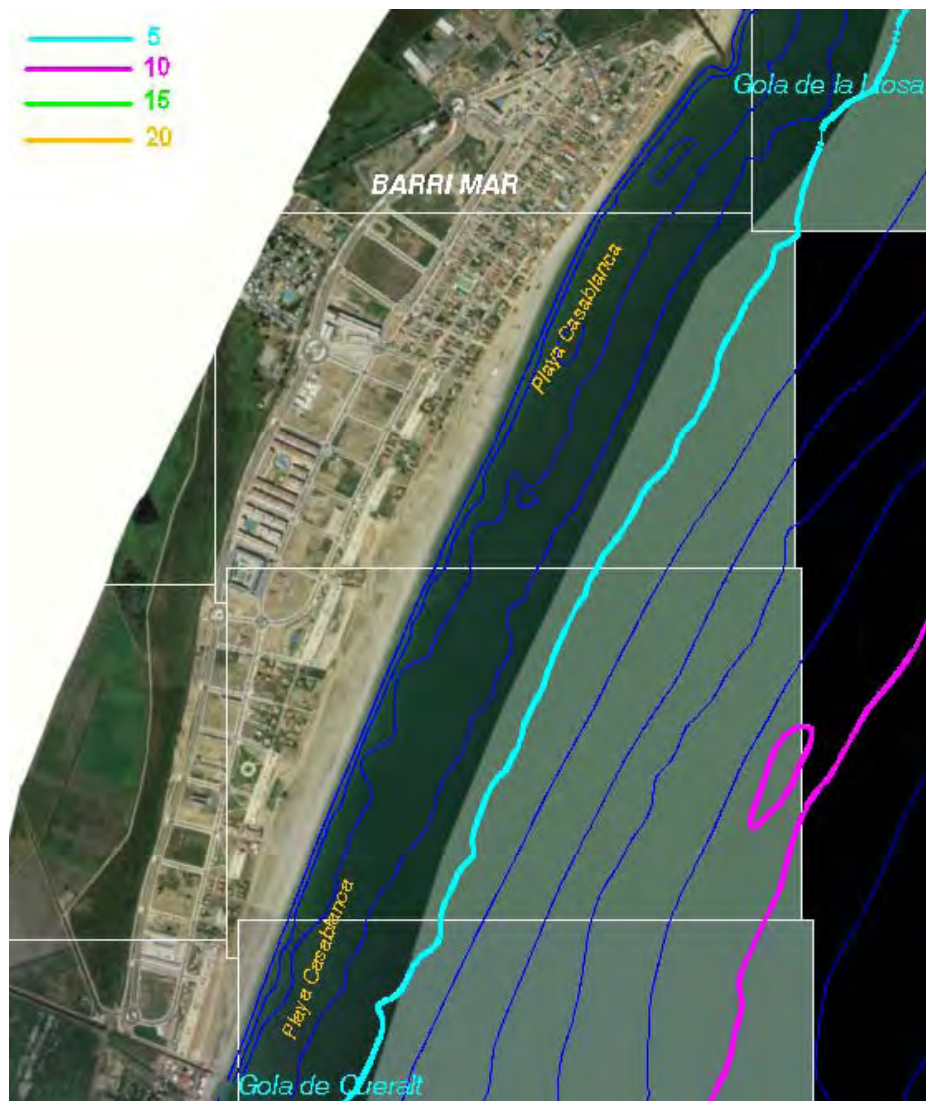


Figura 2.23 Batimetría en el tramo 5: Almenara (Norte).

**DOCUMENTO FINAL**

En la figura 2.24 se muestra la única obra de protección costera existente en este tramo, que es una escollera inmediatamente al Sur de la Gola de la Llosa para protección de la población de Barri Mar de unos 400 m de longitud.



Figura 2.24 Escollera en Barri Mar.

El tramo situado entre la Gola de Queralt y la Gola del Estany de Quartell, de longitud media 1200 m, orientación S76°E y pendiente 1:104, se reproduce el esquema del tramo anterior en el que apenas existen obras de protección costera salvo en sus extremos.



Figura 2.25 Batimetría en el tramo 5: Almenara (Sur).

**DOCUMENTO FINAL**

La única obra de protección costera existente es una escollera de unos 75 m de longitud inmediatamente al Sur de la Gola de Queralt para protección de un conjunto de viviendas en Corinto, como se muestra en la figura 2.26.



Figura 2.26 Escollera en Corinto.

#### **2.1.2.6. Almardá**

El sexto tramo consiste en una playa de unos 4100 m, sin ninguna obra de protección del litoral, salvo en sus extremos. Su orientación es S81°E y su pendiente aproximada es 1:92.

Aunque la playa no muestra ninguna discontinuidad cambia de nombre a medida que se avanza hacia el sur. En primer lugar se conoce como Playa de Corinto, luego Playa de Almardá y después Playa de Canet de Berenguer.

La Playa de Almardá se encuentra limitada al Norte por el espigón de encauzamiento de la Gola del Estany de Quartell y al Sur por el dique del Puerto de Siles.



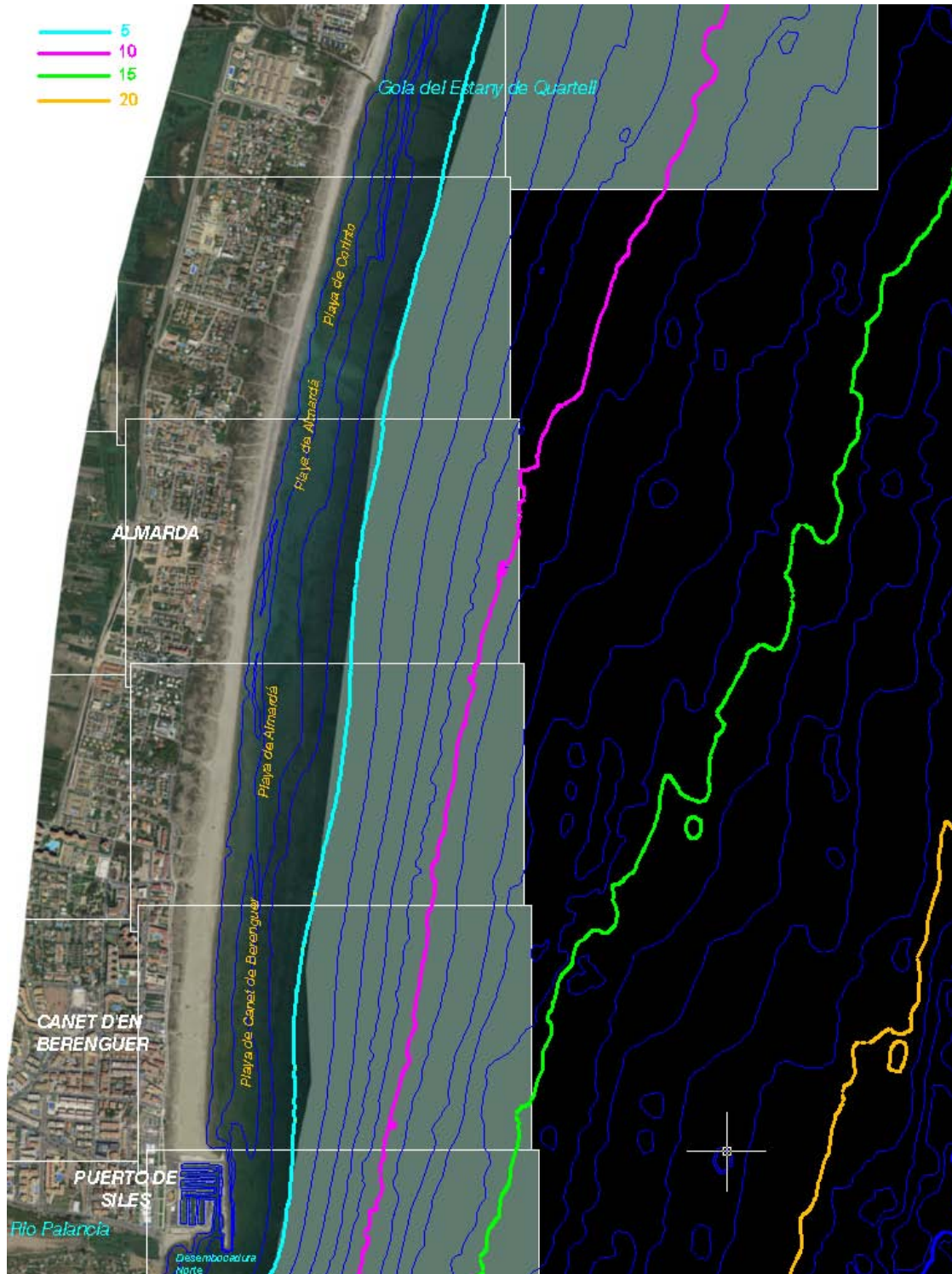


Figura 2.27 Batimetría en el tramo 6: Almería.

### 2.1.2.7. Sagunto

El tramo más meridional de la zona de estudio comprende las Playas del delta de Palancia y del Puerto de Sagunto con una longitud aproximada de 2500 m.

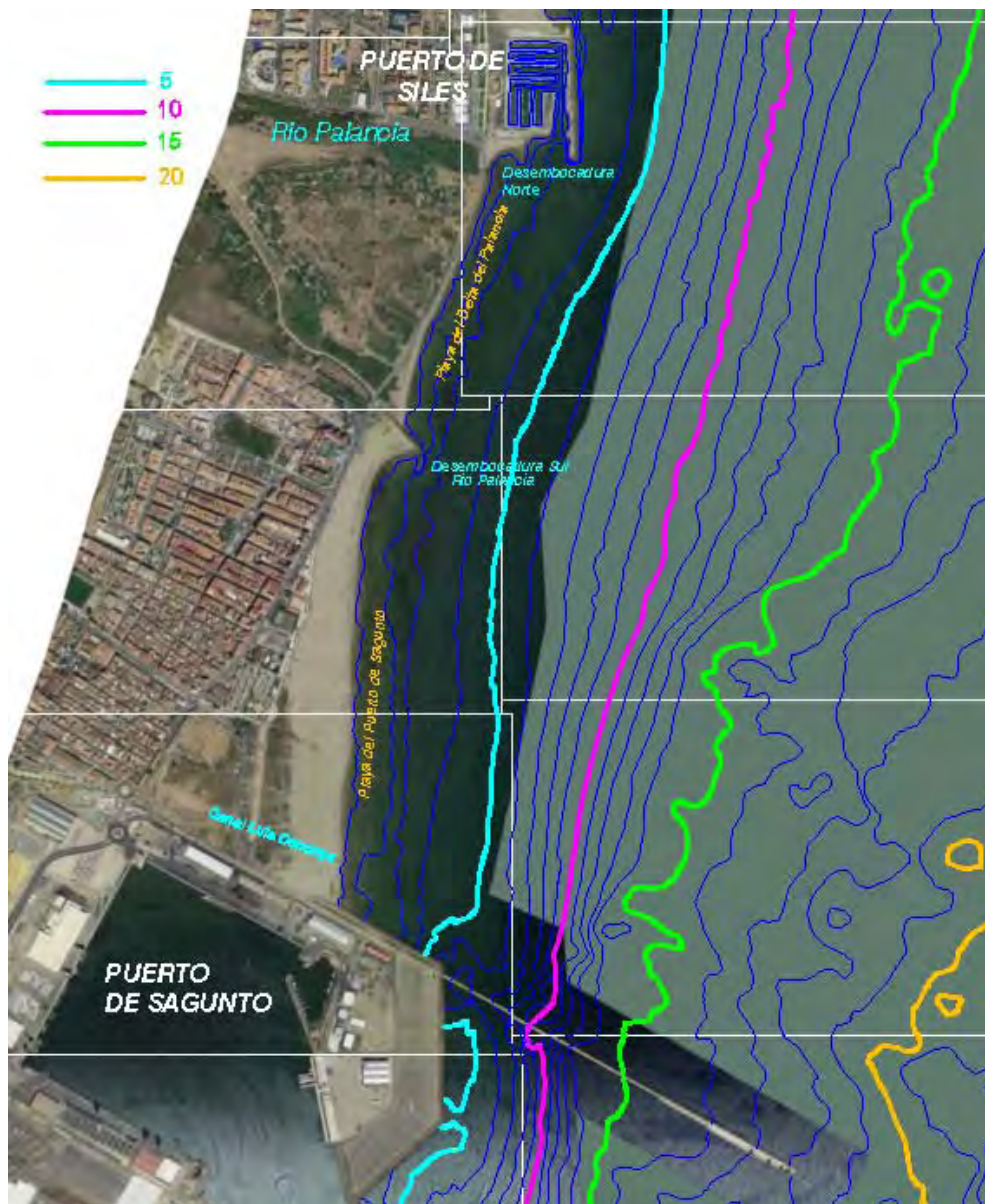


Figura 2.28 Batimetría en el tramo 7: Sagunto.

Al norte de la desembocadura sur del río Palancia la orientación media de la costa es S85°E mientras que al norte es S76°E. Del mismo modo al sur la pendiente media de la playa es 1:84 mientras que al norte es 1:77.

**DOCUMENTO FINAL**

Al abrigo del contradique del Puerto de Siles se ubica una pequeña playa que llega hasta la desembocadura Norte del río Palancia. A partir de este punto y durante unos 200 m hacia el sur la línea de costa se encuentra pegada a la carretera de tal modo que ésta ha tenido que ser protegida mediante una escollera, que a medida que se avanza hacia el sur se mezcla con los bolos de la parte meridional de la Playa del delta.



Figura 2.29 Arranque de la escollera junto a la desembocadura Norte del delta del Palancia.

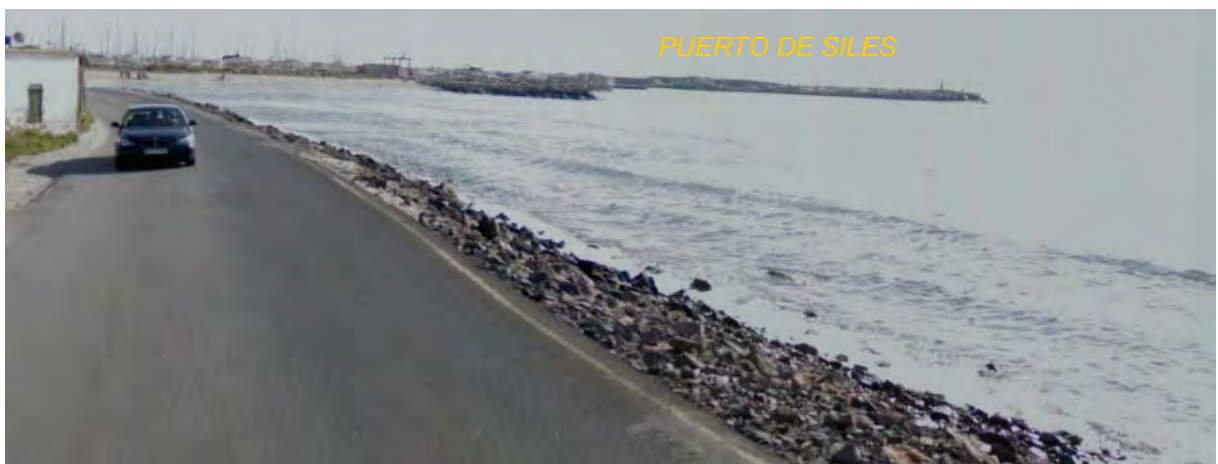


Figura 2.30 Escollera y bolos junto a la carretera en el delta del Palancia.

En contraste, la Playa del delta, apoyada en su extremo sur en el espigón de encauzamiento de la desembocadura sur del río Palancia, alcanza un ancho de playa seca de casi 100 m.

Entre la desembocadura sur del Palancia y el Puerto de Sagunto se desarrolla la Playa del Puerto de Sagunto, la cual presenta un ancho de playa que aumenta hacia el Sur desde 70 m hasta 250 m en el apoyo sobre el dique del Puerto de Sagunto.

## 2.2. Granulometría

La granulometría en la zona de estudio se ha obtenido a partir de la información de varias campañas llevadas a cabo en la zona de interés:

- Estudio ecocartográfico del litoral de las provincias de Valencia y Alicante (Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino) realizado por HIDTMA. Septiembre de 2006. Dicho estudio incluye un D50 de playa seca.
- Estudio ecocartográfico del litoral de la provincia de Castellón (Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino) realizado por HIDTMA. Noviembre de 2009. Dicho estudio incluye un D50 de playa seca.
- Estudio topobatimétrico de la costa de Valencia realizado por Mediterráneo Servicios Marinos. Noviembre de 2007 y Septiembre de 2008.

### **2.2.1. Gola de la Llosa-Puerto de Sagunto. Septiembre 2006**

Del estudio ecocartográfico del litoral de las provincias de Valencia y Alicante (Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino) se han extraído 20 perfiles situados entre la Gola de La Llosa y el Puerto de Sagunto en los que se han obtenidos diversas muestras desde la playa seca (cota +2) hasta 6 m de profundidad.

Los resultados obtenidos del D50 muestran que en el entorno de la línea de costa los tamaños de grano varían desde 0.18 mm hasta 2.07 mm, mientras que tanto en la playa seca como a cierta profundidad los sedimentos encontrados tienen siempre entre 0.14 mm y 0.70 mm. Cabe destacar que los tamaños de sedimento mayores, principalmente en el entorno de la línea de costa se encuentran al Norte del Puerto de Siles.

En las figuras 2.31, 2.32 y 2.33 se muestra la localización de las muestras de sedimento consideradas.

**DOCUMENTO FINAL**

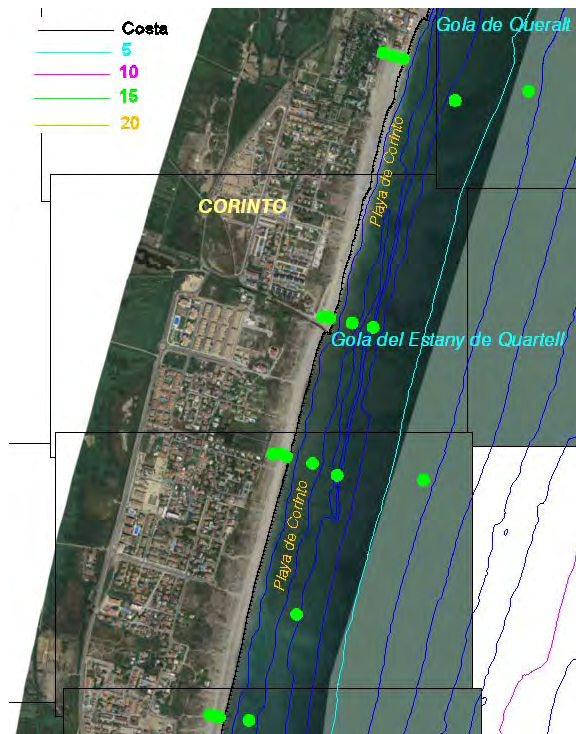


Figura 2.31 Localización de muestras en la Playa de Corinto.

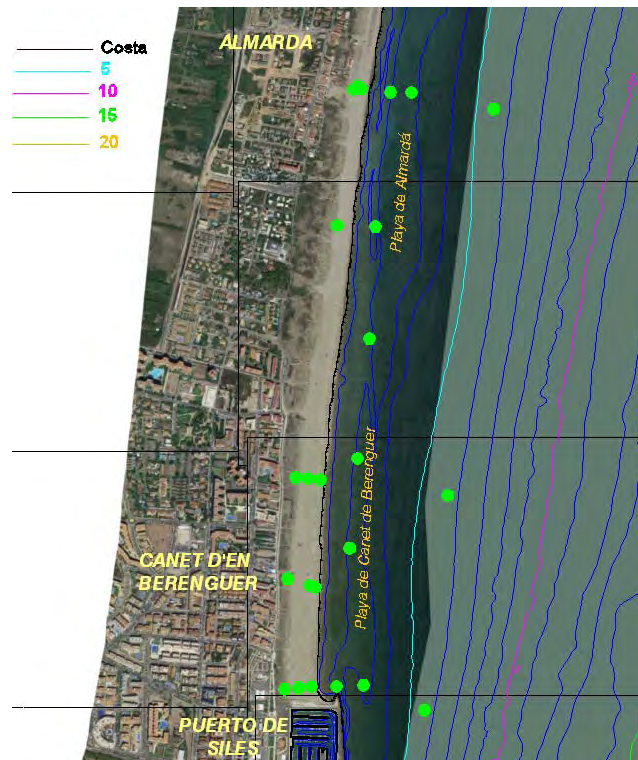


Figura 2.32 Localización de muestras en las Playas de Almadá y Canet de Berenguer.

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.33 Localización de muestras en las Playas del delta y del Puerto de Sagunto.

Adicionalmente, el estudio eocartográfico del litoral de las provincias de Valencia y Alicante incluye la caracterización de cada una de las playas de la provincia de Valencia estableciendo un D50 para la playa seca:

Playa	D50 (mm)
Corinto	0.26
Almardá	0.28
Canet de Berenguer	0.20
Playa del delta del Palancia	0.28
Playa del Puerto de Sagunto	0.19

Tabla 2.1 D50 en las playas.

### 2.2.2. Puerto de Burriana-Gola de la Llosa. Noviembre de 2009

Del estudio ecocartográfico del litoral de la provincia de Castellón, entre el Puerto de Burriana y la desembocadura del Canal de la Marjaleria, sólo se dispone de 4 muestras situadas entre los 6 y 7 m de profundidad con D50 entre 0.2 mm y 0.4 mm, que se muestran en la figura 2.34.

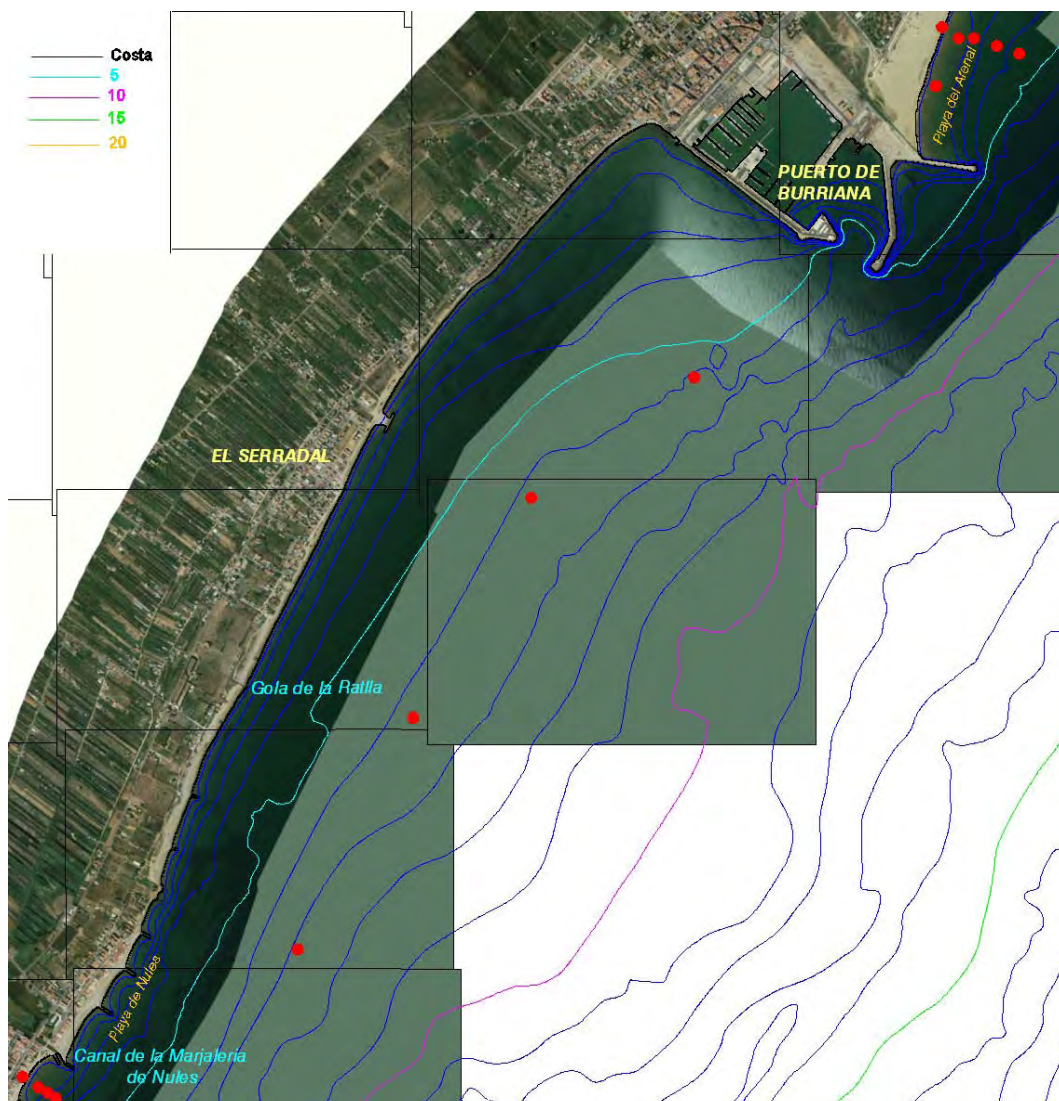


Figura 2.34 Localización de muestras entre el Puerto de Burriana y el Canal de la Marjaleria.

Sin embargo, entre el Canal de la Marjaleria y la Gola de la Llosa se dispone de 22 perfiles en los que se han obtenidos diversas muestras desde la línea de costa (cota 0)

DOCUMENTO FINAL

hasta 4 m de profundidad. Los resultados obtenidos del D50 muestran que en el entorno de la línea de costa los tamaños de grano varían desde 0.2 mm hasta 4.62 mm, mientras que a cierta profundidad los sedimentos encontrados tienen siempre entre 0.09 mm y 0.46 mm.

En las figuras 2.35, 2.36, 2.37, 2.38, 2.39 y 2.40 se muestra la localización de dichas muestras.

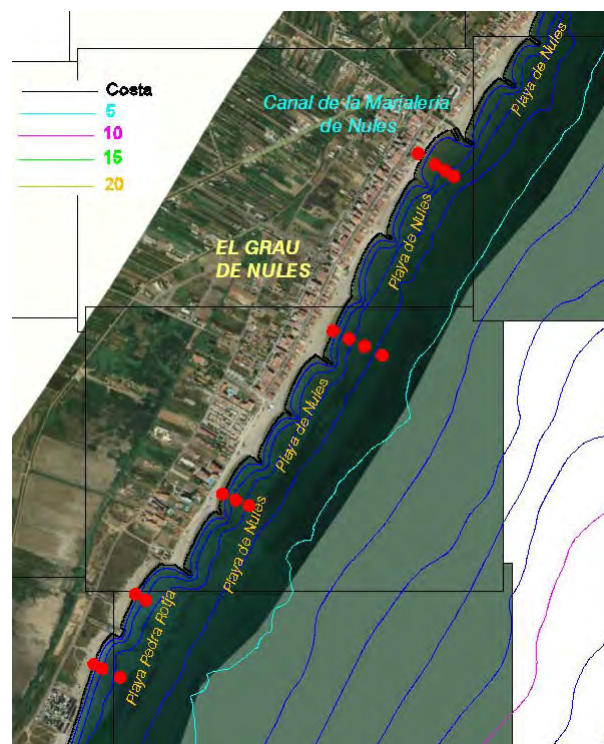


Figura 2.35 Localización de muestras en las Playas de Nules y Pedra Rotja.



**DOCUMENTO FINAL**

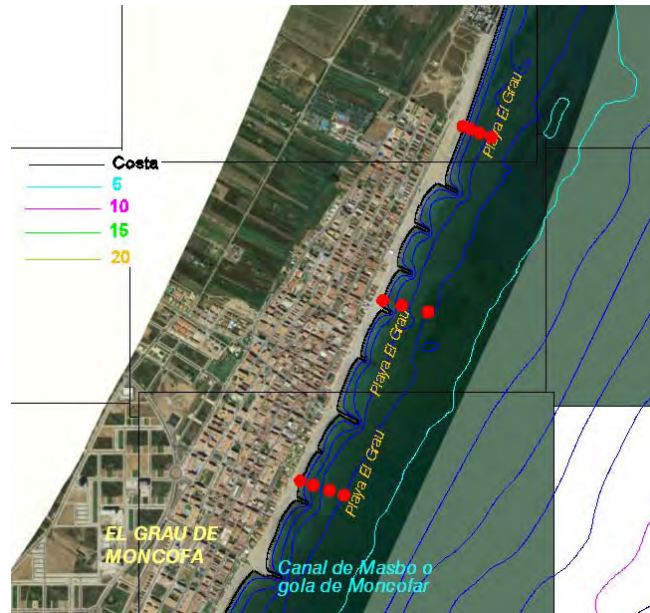


Figura 2.36 Localización de muestras en la Playa del Grau de Moncofar.

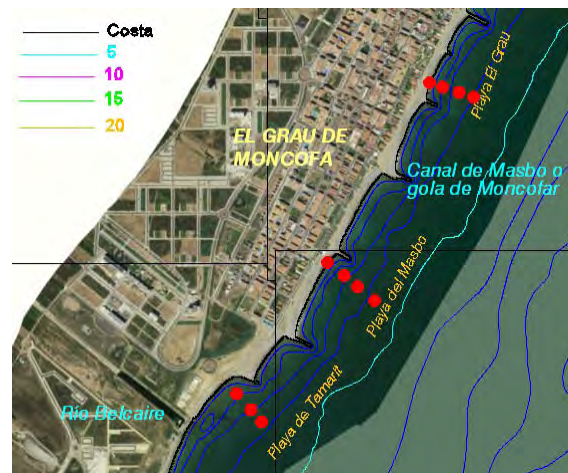


Figura 2.37 Localización de muestras en las Playas del Masbó y Tamarit.

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.38 Localización de muestras en las Playas de La Torre, el Estanyol y las Casas de Chilches.

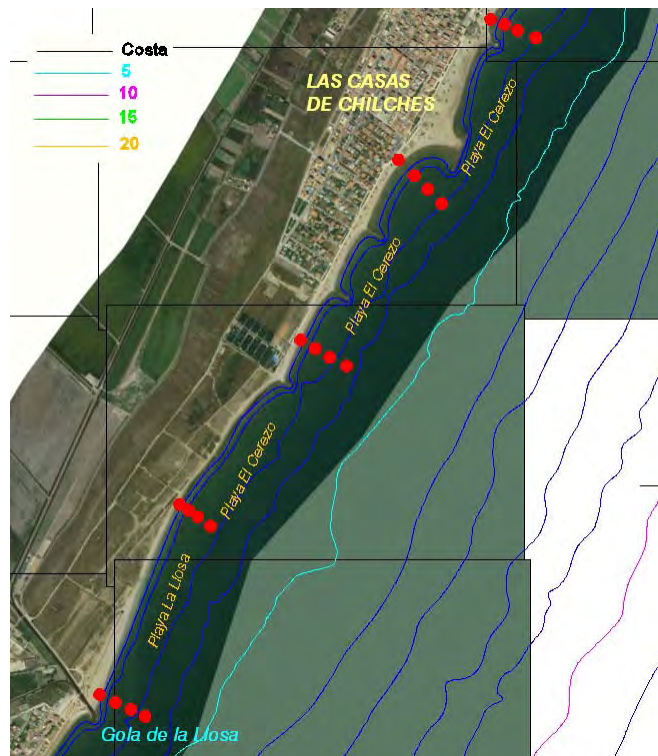


Figura 2.39 Localización de muestras en las Playas del Cerezo y La Llosa.

**DOCUMENTO FINAL**

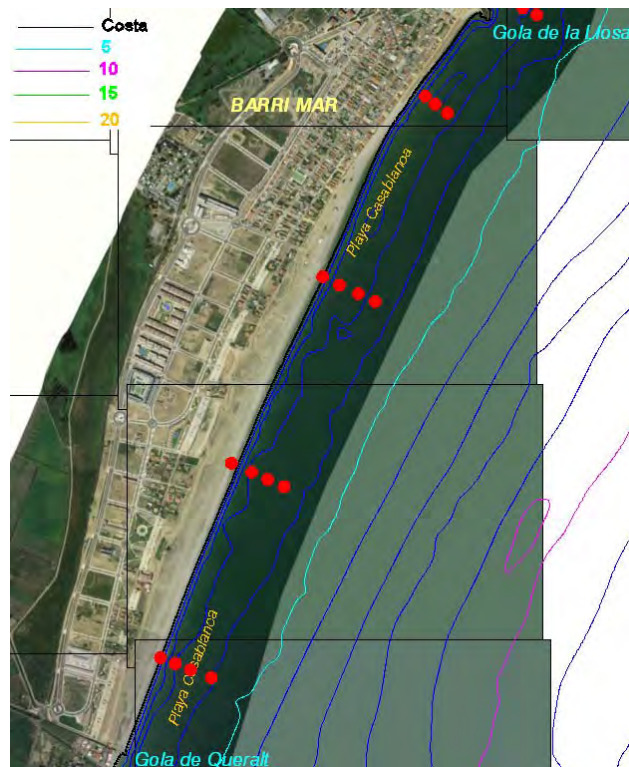


Figura 2.40 Localización de muestras en la Playa de Casablanca.

Adicionalmente, en el marco del estudio cartográfico de Castellón, se incluye la caracterización de las playas de la provincia en la que se asigna un D50 a cada playa:

Playa	D50 (mm)
Nules	2.39
Pedra Rotja	3.66
El Grau	2.51
Masbo	0.64
Tamarit	-
La Torre	-
El Estanyol	1.03
Las Casas	0.44
El Cerezo	0.79
La Llosa	1.61
Casablanca	0.82

Tabla 2.2 D50 en las playas.

### 2.2.3. Gola de Queralt-Puerto de Siles. Noviembre 2007 – Septiembre 2008

El estudio topobatimétrico de la costa de Valencia incluye dos campañas, Noviembre de 2007 y Septiembre de 2008, en las que se ha obtenido el D50 en varios puntos a lo largo de 3 perfiles situados en la Playa de Canet de Berenguer, Almardá y Corinto, cuya localización se muestra en la figura 2.41.

En todos los casos se encontró sedimento fino salvo en el entorno de la línea de costa en el perfil 3 para las 2 campañas y en el perfil 2 en la campaña de Noviembre de 2007 en los que se encontraron gravas (véanse tablas 2.3, 2.4 y 2.5).



Figura 2.41 Perfiles de las campañas de noviembre de 2007 y septiembre de 2008.

En las tablas 2.3, 2.4 y 2.5 se muestran los valores de D50 obtenidos en los puntos pertenecientes a los 3 perfiles considerados en las 2 campañas realizadas.

nov-07	cota (m)	D50 (mm)	sep-08	cota (m)	D50 (mm)
PERFIL 1 CANET D'EN BERENGUER	2	0.19	PERFIL 1 CANET D'EN BERENGUER	2	0.19
	1	0.19		1	0.19
	0	0.22		0	0.21
	-1	0.16		-1	0.20
	-2	0.18		-2	0.20
	-3	0.19		-3	0.14
	-4	0.12		-4	0.13
	-5	0.15		-5	0.14
	-6	0.15		-6	0.13
-7	0.14	-7	0.13		
-8	0.18	-8	0.13		

Tabla 2.3 D50 en Perfil 1 (Canet d'en Berenguer). Noviembre de 2007 y Septiembre de 2008.

**DOCUMENTO FINAL**

nov-07	cota (m)	D50 (mm)	sep-08	cota (m)	D50 (mm)
<b>PERFIL 2 ALMARDÁ</b>	2	0.21	<b>PERFIL 2 ALMARDÁ</b>	2	0.22
	1	0.50		1	0.25
	0	1.80		0	0.30
	-1	0.14		-1	0.18
	-2	0.19		-2	0.16
	-3	0.12		-3	0.14
	-4	0.12		-4	0.13
	-5	0.18		-5	0.12
	-6	0.16		-6	0.12
-7	0.19	-7	0.11		
-8	0.11	-8	0.11		

Tabla 2.4 D50 en Perfil 2 (Almardá). Noviembre de 2007 y Septiembre de 2008.

nov-07	cota (m)	D50 (mm)	sep-08	cota (m)	D50 (mm)
<b>PERFIL 3 CORINTO</b>	2	0.30	<b>PERFIL 3 CORINTO</b>	2	0.24
	1	>2		1	>2
	0	>2		0	>2
	-1	0.19		-1	0.20
	-2	0.13		-2	0.17
	-3	0.11		-3	0.14
	-4	0.17		-4	0.13
	-5	0.13		-5	0.15
	-6	0.11		-6	0.16
-7	0.11	-7	0.15		
-8	0.18	-8	0.15		

Tabla 2.5 D50 en Perfil 3 (Corinto). Noviembre de 2007 y Septiembre de 2008.

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

De acuerdo a la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas. BOE nº 181, de 29-06-88, el dominio público marítimo-terrestre (en adelante DPM-T) es el conjunto de bienes de dominio público formado por el mar territorial, las aguas interiores, los recursos naturales de la zona económica exclusiva y de la plataforma continental, así como las playas y costas hasta el alcance de los mayores temporales conocidos.

Por lo tanto en todo proyecto de actuación sobre el litoral es fundamental el conocimiento de la línea de deslinde del DPM-T. En las figuras 2.42 a 2.48 la línea continua en toda la zona de estudio de color rojo representa dicho deslinde.

**DOCUMENTO FINAL**

Sobre esta línea de deslinde del DPM-T destacan dos tramos en color verde que hacen referencia a fragmentos de dicho deslinde cuyos expedientes se encuentran recurridos. El primero de estos tramos, de 235 m de longitud, se sitúa en el tramo 3, inmediatamente al Norte de la desembocadura del Río Belcaire. El segundo, de 1461 m de longitud, se sitúa en el tramo 4, al Norte de la Gola de la Llosa.

Junto a la línea de deslinde del DPM-T se muestra también la línea (en color amarillo) de deslinde del área de servidumbre de protección, que según el artículo 23 de la ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, recae en general sobre una zona de 100 metros medida tierra adentro desde el límite interior de la ribera del mar. Con la salvedad de los suelos urbanos en los que la anchura de la servidumbre de protección será de 20 metros, como indica la disposición transitoria tercera.

Se muestra también en el entorno de las infraestructuras portuarias presentes en la zona de actuación el trazado de la línea de Ribera, en color azul.

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.42 Deslindes en el tramo 1.

DOCUMENTO FINAL



Figura 2.43 Deslindes en el tramo 2.





Figura 2.44 Deslindes en el tramo 3.



Figura 2.45 Deslindes en el tramo 4.

DOCUMENTO FINAL



Figura 2.46 Deslindes en el tramo 5.

DOCUMENTO FINAL



Figura 2.47 Deslindes en el tramo 6.



Figura 2.48 Deslindes en el tramo 7.

## 2.4. Áreas de protección del patrimonio

En primer lugar cabe destacar la presencia de 4 LIC (Lugar de Interés Comunitario) de la RED NATURA 2000:

- Marjal de Nules-Burriana (código: ES5222005): de 644 Ha de zona húmeda litoral profundamente alterada, a pesar de lo cual conserva pequeñas áreas inundadas con vegetación típicamente palustre. Entre los hábitats, cabe destacar el de lagunas costeras, así como otros asociados al carácter de zona húmeda, como los prados de Molinio-Holoschoenion o aguas oligomesotróficas calcáreas con algas de agua dulce Chara sp. catalogada también como Zona Húmeda.
- Playa de Moncofar (código: ES5222006): declarada también microrreserva por la Consellería de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana.
- Alguers de Borriana-Nules-Moncofa (código: ES5222007): en el área marina comprendida aproximadamente entre el sur del Puerto de Burriana, al norte, y el frente litoral de Almenara al sur, existe un conjunto de hábitats caracterizados por la existencia de praderas de Cymodocea y Posidonia de extensión variable en la costa entre los 10 y 20 metros de profundidad. La relevancia de esta área que comprende 4082 Ha. viene dada por los hábitats y especies vinculadas a la *Posidonia oceánica*
- Marjal de Almenara (código: ES5223007): ocupando los municipios costeros de Moncofar y Almenara, se encuentra el segundo mayor marjal más extenso de Castellón. Contiene más del 2% del hábitat de turberas de carrizos básicos, así como una gran diversidad de hábitats propios de humedales. Muy importante para aves acuáticas, especialmente la cigüeñuela y el flamenco ariblanco, contiene poblaciones de samarugo y galápago europeo y algunas especies de flora endémicas. Nidifican once especies de aves acuáticas del anexo I, entre las que destaca el avetorillo común. Existe presencia invernal de especies amenazadas como porrón pardo y focha moruna. Catalogado también como Zona Humeda y ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves).

También existen varias microrreservas, declaradas mediante Orden de la Consellería de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana, a fin de favorecer la conservación de las especies botánicas raras, endémicas o amenazadas, o las unidades de vegetación que la contienen. Entre ellas destacan las siguientes, situadas dentro del DPM-T:

- Playa de Moncofar, El Estanyol: la zona microrreserva de flora situada al sur del Grau de Moncofar de 1.31 Ha de superficie, se trata de una playa

**DOCUMENTO FINAL**

semiurbana con una longitud de 2 km y una anchura media de 15 m y un grado de ocupación bajo en la temporada estival. La composición es de arena dorada y grava, presentando un oleaje moderado

- La playa de Almenara, Casablanca: las 5.39 H a d e á rea protegida como microrreserva de flora, se encuentran en la playa de 3 km de longitud y se encuentra situada a 4 km del núcleo urbano. Las unidades de vegetación prioritarias son la vegetación anual sobre desechos marinos acumulados y las arenas y gravas estabilizadas con *Silene cambessedesii*.

En cuanto a las áreas de protección del patrimonio cultural cabe destacar, por su localización junto a la línea de costa en el tramo 3, el área de vigilancia arqueológica en la que se localizó el yacimiento romano de L'Alqueria de Moncofar y los restos de la Torre Forçada, que se encuentran integrados en una de las escolleras de protección costera en la playa de la Torre, al Sur de la desembocadura del río Belcaire.

También frente al Puerto de Siles, a unos 1000-2500 m de distancia de la costa, se encuentra el área Cabo Canet con hallazgos arqueológicos consistentes en materiales de cronología romana (s. I-III) y árabe medieval (s. XIII-XVI) pertenecientes a un área de fondeo y/o desembarco.

Las figuras de protección tanto del patrimonio cultural como del patrimonio natural existentes en la zona de estudio se muestran en las figuras de 2.49 a 2.55.

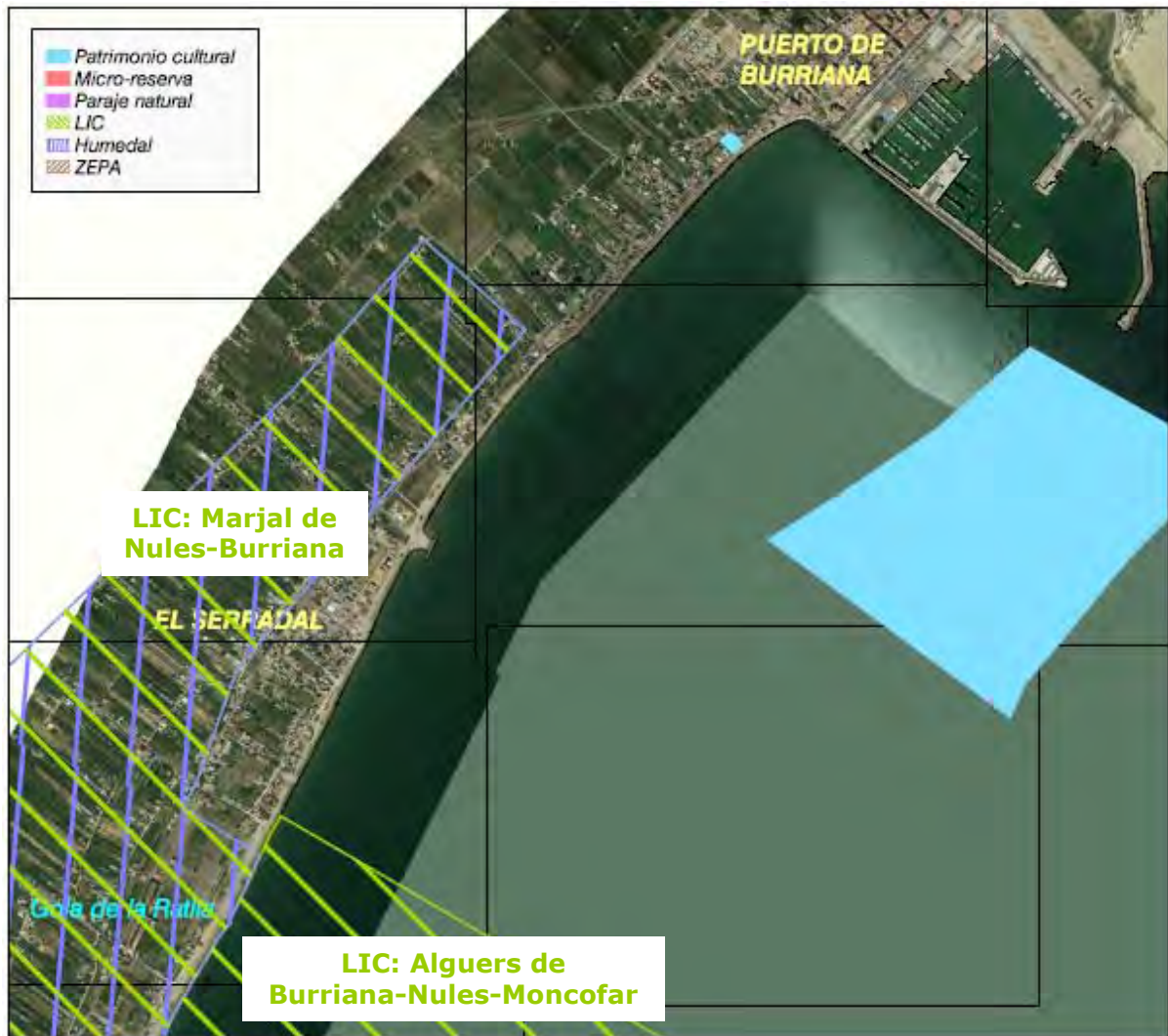


Figura 2.49 Áreas de protección del patrimonio cultural y natural del tramo 1.



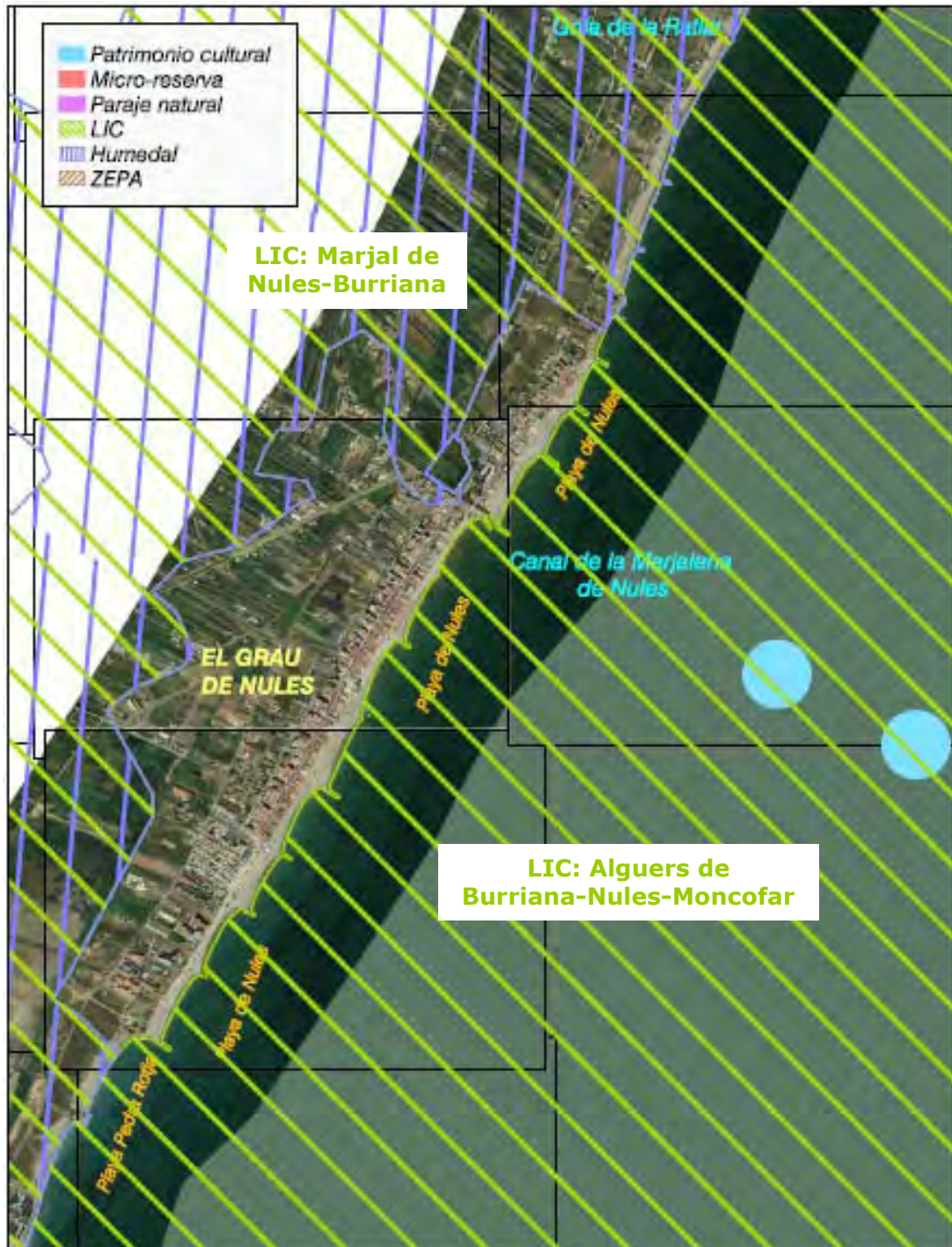


Figura 2.50 Áreas de protección del patrimonio cultural y natural del tramo 2.

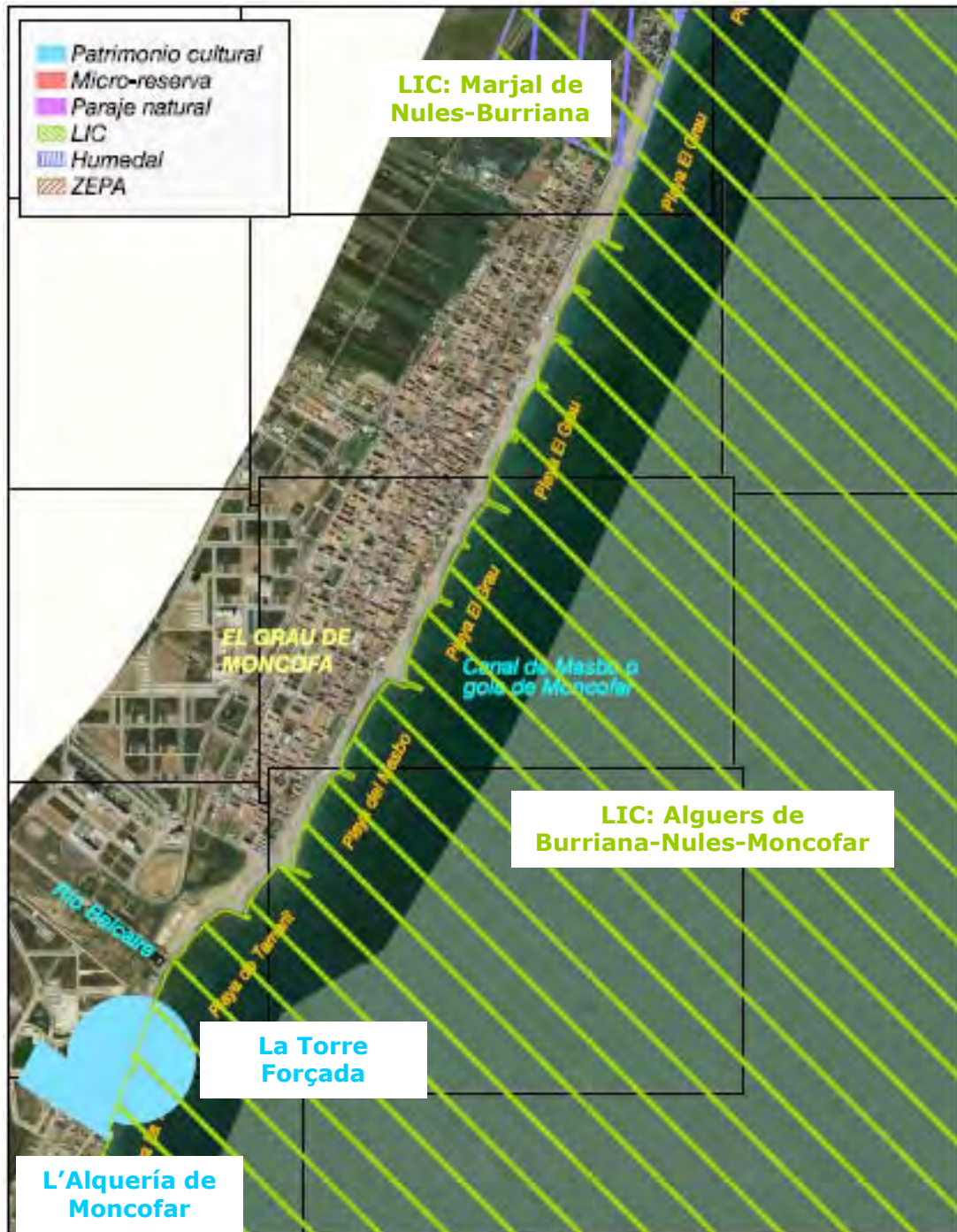


Figura 2.51 Áreas de protección del patrimonio cultural y natural del tramo 3.

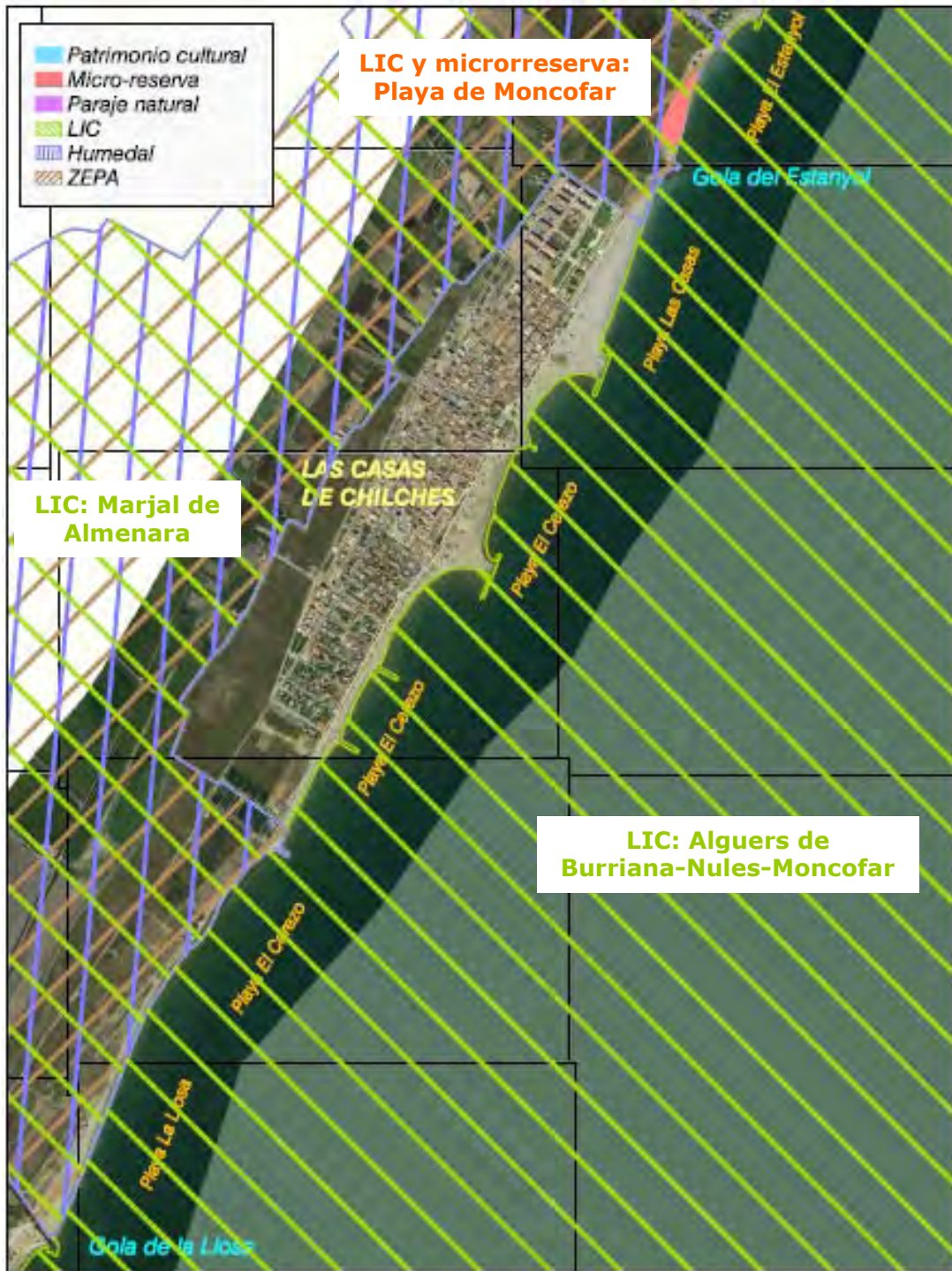


Figura 2.52 Áreas de protección del patrimonio cultural y natural del tramo 4.



Figura 2.53 Áreas de protección del patrimonio cultural y natural del tramo 5.



Figura 2.54 Áreas de protección del patrimonio cultural y natural del tramo 6.



Figura 2.55 Áreas de protección del patrimonio cultural y natural del tramo 7.

## 2.5. Comunidades marinas

A continuación se describen las principales comunidades marinas presentes en la zona de actuación, cuya localización se muestra en las figuras 2.56 a 2.63.

### *Pradera de Posidonea Oceánica*

Se trata de una fanerógama marina endémica del Mediterráneo, donde constituye la comunidad c límax. E n l o s f o n d o s s o m e r o s, e l h i d r o d i n a m i s m o e s e l f a c t o r e d á f i c o l i m i t a n t e. E l l í m i t e i n f e r i o r d e l a s p r a d e r a s l o m a r c a l a t r a n s p a r e n c i a d e l a s a g u a s, d e t e r m i n a n d o l a p r o f u n d i d a d e n l a q u e l a p l a n t a n o r e c i b e y a s u f i c i e n t e i l u m i n a c i ó n p a r a d e s a r r o l l a r s u a c t i v i d a d f o t o s i n t é t i c a. E s t e l í m i t e i n f e r i o r, p o r l o t a n t o e s v a r i a b l e s e g ú n l a s c o n d i c i o n e s a m b i e n t a l e s e x i s t e n t e s, p u d i e n d o a l c a n z a r c o t a s p o r d e b a j o d e l o s 4 0 m e t r o s d e p r o f u n d i d a d. S i n e m b a r g o, e n l a s c o s t a s e s p a ñ o l a s e s t a p r o f u n d i d a d n o s u e l e r e b a s a r l o s 3 0 m e t r o s.

Es capaz de crecer tanto sobre sustratos blandos como rocosos. Presenta una amplia tolerancia a los cambios de temperatura, desde los 10 a los 28°C. Sin embargo, es poco tolerante a las variaciones de salinidad (estenohalina), a la eutrofización, a la mayor parte de los contaminantes y a la alta sedimentación. Todo esto unido a la necesidad de una buena transparencia de la masa de agua, constituyen una serie de requerimientos ambientales exigentes, lo que la identifican como un buen bioindicador, identificando zonas de aguas limpias, bien oxigenadas y exentas de contaminación.

La planta está constituida por unos rizomas lignificados (leñosos) de un centímetro de grosor. De estos rizomas, parten unas raíces robustas, de alrededor de unos 10 cm de longitud, lignificadas, y que le sirven de anclaje al sustrato, y forman una estructura compacta denominada mata. Los haces pueden alcanzar grandes densidades (hasta 1000 haces por metro cuadrado) de forma que las hojas forman una espesa malla que frena la velocidad de las corrientes y favorece la deposición de los materiales transportados por estas. Las hojas parten de las partes terminales de los rizomas, naciendo por el centro y la base, de este, de modo que la hojas más nuevas son las del centro, y dentro de una misma hoja la parte más distal es la más vieja. Las hojas, de un verde intenso o parduzco según la edad de la hoja, tienen forma acintada de un centímetro de ancho, y con una longitud que puede oscilar entre 20 y 150 cm, normalmente se encuentran agrupadas entre 5 y 8 hojas por haz. Conforme nacen hojas nuevas van cayendo las más antiguas y externas, en un proceso, que aunque continuo presenta un marcado carácter estacional, viéndose acelerado entre agosto y enero.

Posidonia oceánica, como planta fanerógama, es capaz de reproducirse tanto de forma sexual como asexual. Sin embargo, la floración es un proceso irregular, tanto en el tiempo como en el espacio, con años de floración intensa y otros de floración escasa o inexistente. Todo lo expuesto con anterioridad, motiva que las praderas de Posidonia

**DOCUMENTO FINAL**

constituyan el ecosistema marino más importante, complejo y extendido del Mediterráneo, con numerosas interacciones tróficas que proporcionan una elevadísima riqueza biológica, con numerosos microhábitats que suponen un importante foco de biodiversidad.

### ***Tanatocenosis de Posidonia Oceánica***

La presencia de una alteración sobre la pradera de Posidonia comienza con un descenso en la densidad de haces por metro cuadrado. Este descenso puede sobrevenir en la aparición de claros en la misma, los cuales son ocupados por otras especies algales menos restrictivas, formando lo que se conoce como facies de sustitución, pasando de una pradera prácticamente monoespecífica a la alternancia con otros poblamientos entre los que destacan las clorofíceas: *Caulerpa prolifera*, *Caulerpa racemosa* y la fanerógama *Cymodocea nodosa*. Este proceso puede afectar de una forma generalizada, o bien detectarse su afección de forma localizada. Si la detección se realiza en las proximidades del límite inferior, el proceso suele estar relacionado con la pérdida de transparencia; mientras que en otras localizaciones suele estar asociada a los otros fenómenos. Como final de este proceso degradativo, queda sobre el fondo la estructura de rizomas, pero sin la presencia de haces vivos, lo que se conoce como mata muerta o tanatocenosis de *Posidonia oceánica*, cuya observación indica la preexistencia de una pradera desarrollada en la zona.

### ***Pradera de Cymodocea Nodosa***

Su especie constituyente, *Cymodocea nodosa*, es la segunda fanerógama marina en importancia en el Mediterráneo, tras *Posidonia oceánica*. Se trata de una especie perenne, que pese a la capacidad de reproducirse por semillas (fanerógama), utiliza principalmente la división vegetativa, lo que le permite colonizar grandes extensiones de fondos sedimentarios a modo de praderas, o céspedes, con densidades y coberturas muy variables, pero que pueden superar los 1.500 haces/m<sup>2</sup>, con una cobertura total del fondo. Si bien en el Mediterráneo ocupa generalmente pequeñas extensiones, casi siempre sobre sustratos arenosos o arenoso-fangosos, en ambientes bien iluminados y relativamente abrigados de los vientos y las corrientes dominantes, tales como bahías y ensenadas, aunque en ocasiones aparecen en zonas más abiertas. También requieren cierta cantidad de materia orgánica en el sedimento. Suele ser la fanerógama dominante en las lagunas costeras poco profundas.

Su distribución abarca desde el Mediterráneo, Costa Atlántica del norte de África hasta Senegal y los archipiélagos macaronésicos de Madeira y Canarias, donde si llega a formar grandes praderas, conocidas como "sebadales". Puede ocupar desde fondos someros hasta profundidades cercanas a los 30 metros de profundidad.



**DOCUMENTO FINAL**

La fijación al sustrato se realiza por medio de fuertes raicillas que nacen aisladamente en los nudos, conocidas como rizoma, las cuales pueden alcanzar hasta los 5 mm de diámetro. En ocasiones, estas raíces forman un fuerte entramado que se eleva sobre el fondo, generando un sustrato nuevo. De su tallo subterráneo parten hojas, erguidas, lineares y estrechas, a modo de cinta, de color verde agrupadas en haces. Estas hojas pueden alcanzar los 60 cm. de longitud y 4,5 mm. de ancho. Su nerviación es paralela, y en un número que oscila entre 7 y 9 recorre toda la hoja, convergiendo en la porción apical y los ápices de las hojas, que son redondeados con pequeños dientes marginales.

Las praderas pueden presentarse de forma monoespecífica, donde *Cymodocea nodosa* aparece prácticamente como la única forma vegetada unida al sustrato, o bien en asociaciones, que se conocen como praderas mixtas, bien con algas clorofíceas del género de las caulerpas, o con otras fanerógamas como *Posidonia oceánica* o *Zostera marina*.

### **Comunidades de Algas Fotófilas Infralitorales**

Esta biocenosis está presente sobre las superficies rocosas, más o menos fuertemente iluminadas y en sectores abrigados al hidrodinamismo. Puede encontrarse, desde escasos centímetros por debajo del nivel medio del mar hasta llegar incluso hasta los 40 metros de profundidad, en función de la transparencia de la masa de agua. En ella existe una clara preponderancia de las especies algales, que se traduce en una gran riqueza de especies, tanto algales como de endofauna. Las especies dominantes de este poblamiento son: *Halopteris scoparia*, *Padina pavonica*, *Dasycladus vermicularis*, *Stypocaulon scoparium*, *Jania rubens*, *Dictyota dichotoma*, *Cystoseira crinita* y *Dictyopteris membranacea*. En otras zonas costeras del mediterráneo, este poblamiento está dominado por distintas especies de *Cystoseiras*, las cuales llegan a formar poblamientos densos denominados bosques.

La sustitución de estos bosques por las especies antes descritas parece obedecer bien a causas derivadas del impacto humano sobre el litoral, o bien a la prelación que estos pueden sufrir por parte de los poblamientos de erizos. La dinámica de estas comunidades presenta una marcada estacionalidad, donde las especies se encuentran muy bien representadas en primavera, mientras que en época invernal no se encuentran tan desarrolladas.

### **Comunidades de Algas Esciáfilas Infralitorales**

Se trata de una comunidad típicamente circalitoral, donde supone la comunidad clímax. Su distribución depende de una serie de factores, tales como la luminosidad, la topografía local, las corrientes a nivel del fondo, el contenido en partículas en suspensión, la deposición sedimentaria y las interacciones biológicas. En zonas de aguas

**DOCUMENTO FINAL**

transparentes, como en las Islas Baleares y el sudeste español, aparece siempre por debajo de los 35 metros, pudiendo alcanzar profundidades de hasta 120 metros. Sin embargo, en las aguas costeras valencianas en virtud de la gran influencia que tienen los aportes continentales, que favorecen la pérdida de transparencia, este poblamiento se presenta en fondos mucho menos profundos, si bien su máximo desarrollo se alcanza a partir de los 30 metros de profundidad, que ciertos autores han dado en llamar "precoralígeno", y que sería un poblamiento de transición entre las comunidades del infralitoral, de carácter más fotófilo, y las del circalitoral.

Puede desarrollarse tanto sobre sustratos duros como a partir de fondos sedimentarios, debido a la desarrollo de bioconcrecionamientos formados por los talos de las algas rodofitas incrustantes, principalmente coralináceas (*Mesophyllum lichenoides* y *Lithophyllum expansum*) y Peyssoneláceas (*Peyssonnelia squamaria*), que caracterizan esta comunidad. La actividad de estas algas proporciona una capa de carbonato cálcico, que puede llegar a un espesor considerable, sobre el sustrato rocoso. El desarrollo tridimensional de los concrecionamientos genera una elevada complejidad estructural, que unido a la formación de un gran número de microhábitats, hace que en un pequeño espacio de esta comunidad coexista una enorme cantidad de organismos. De este modo, dentro de esta comunidad, es posible distinguir una serie de estratos. El inferior, formado por las algas calcáreas formadoras, junto con otros organismos incrustantes, tales como briozoos, esponjas y madreporarios. Y un estrato intermedio, cuyo desarrollo está en función del alimento disponible, donde se presentan briozoos coloniales, esponjas, ascidias, hidrarios y poliquetos.

### **Pradera de *Caulerpa Prolífera***

*Caulerpa prolifera* es una alga clorofita sifonal de carácter fotófilo y oportunisto, que requiere condiciones elevadas de iluminación y tiene alta afinidad por ambiente ricos en materia orgánica y con alto estrés ambiental. Presenta un talo verde intenso, perenne y estolonífero, del que se originan filoides lanceolados, de hasta 25 cm de alto y 3 cm de ancho, que a veces pueden ser ligeramente ondulados. Este alga presenta muy pocos epifitos, probablemente debido a una sustancia tóxica que segrega, denominada caulerpenina. Habita los sustratos blandos, arenosos o fangosos hasta los 20 metros de profundidad.

### **Pradera de *Caulerpa Racemosa***

*Caulerpa racemosa*, localizada por vez primera en el Mediterráneo en el año 1926, ha experimentado desde el año 1994 una rápida dispersión y desarrollo, invadiendo toda clase de sustratos desde los 0 a los 40 metros de profundidad, considerándola en la actualidad como la especie de mayor potencial invasor de las encontradas hasta el momento en el Mediterráneo (Verlaque et al. 2003), constituyendo una grave amenaza

**DOCUMENTO FINAL**

para *Posidonia oceánica*. Es un alga sifonal de color verde brillante. Posee un estolón reptante del que surgen rizoides de fijación y filoides e rectos, provistos de ramos vesiculares claviformes.

Su máximo desarrollo es de noviembre a abril. Forma entramados muy densos y tiene capacidad de colonizar cualquier sustrato, ya sea duro o blando, en los primeros 60 m. de profundidad.

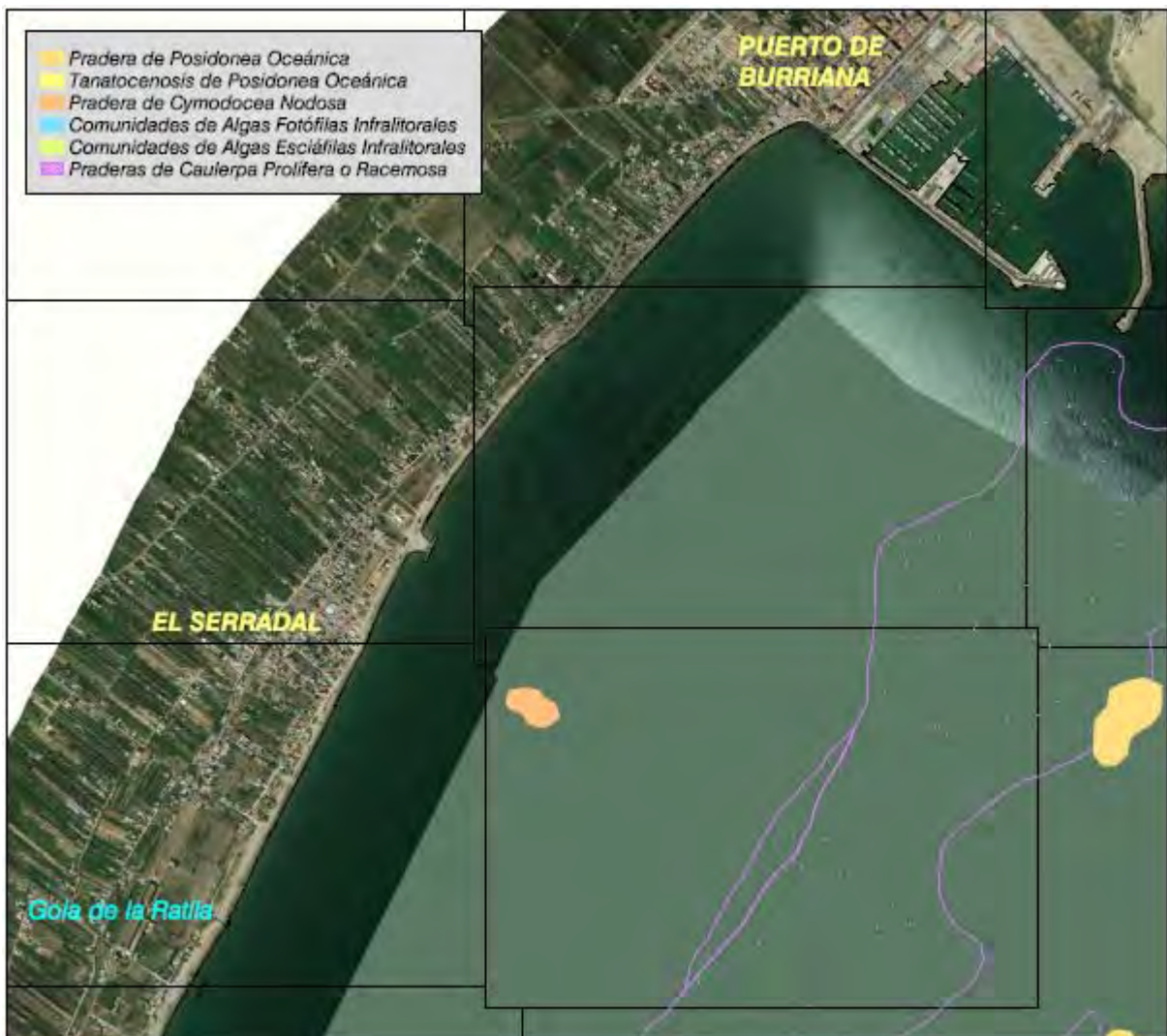


Figura 2.56 Comunidades marinas presentes en el tramo 1.

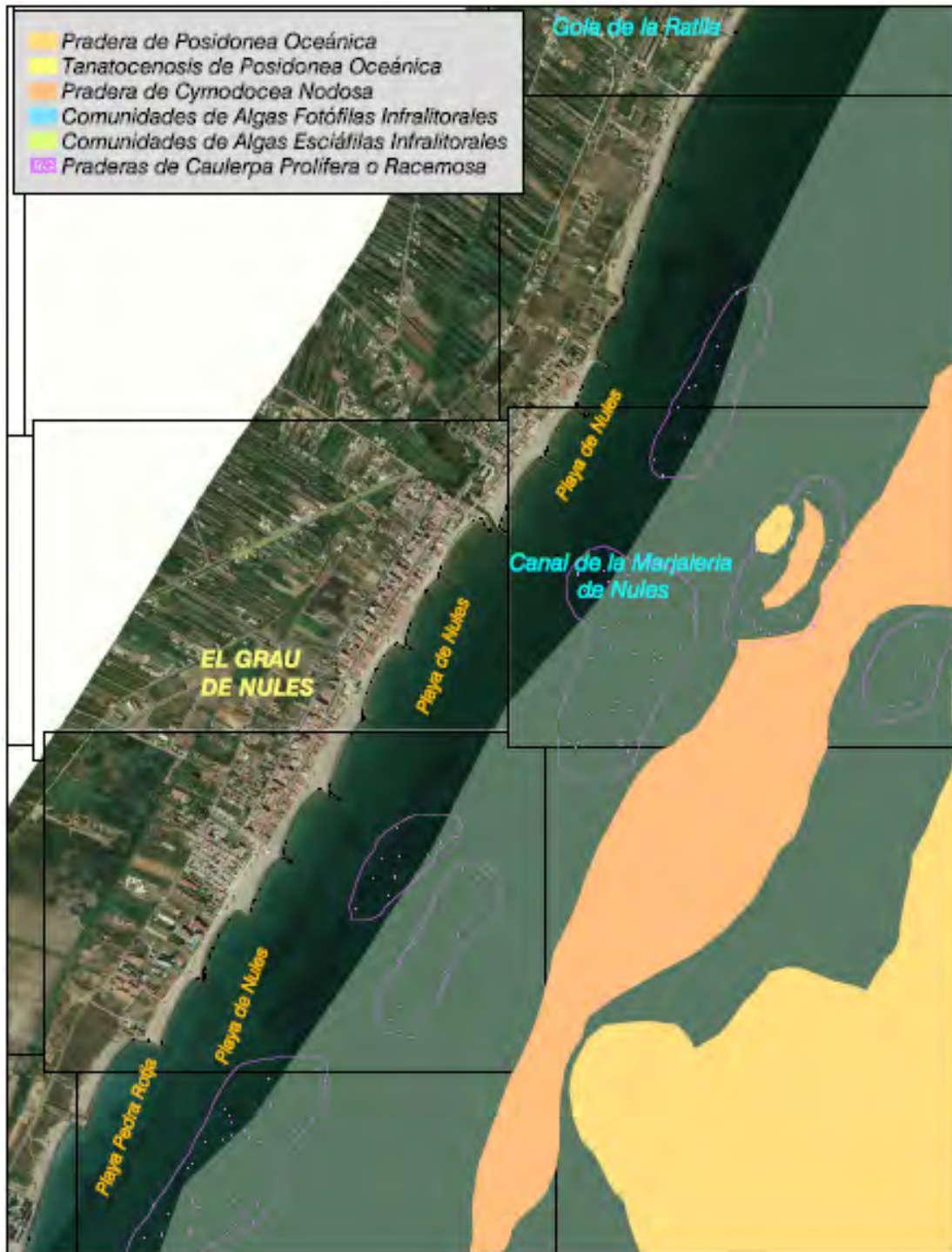


Figura 2.57 Comunidades marinas presentes en el tramo 2.



Figura 2.58 Comunidades marinas presentes en el tramo 3.

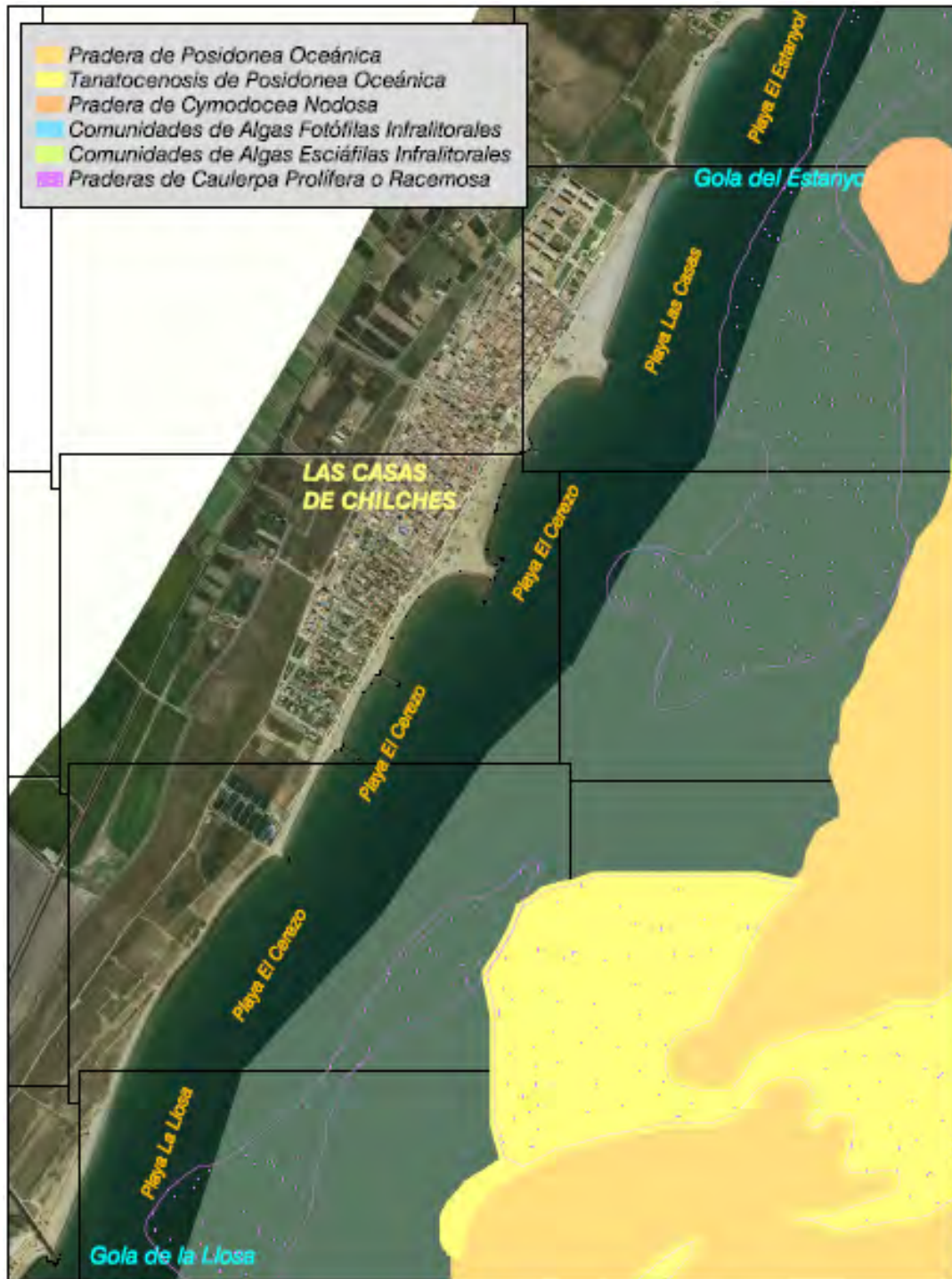


Figura 2.59 Comunidades marinas presentes en el tramo 4.

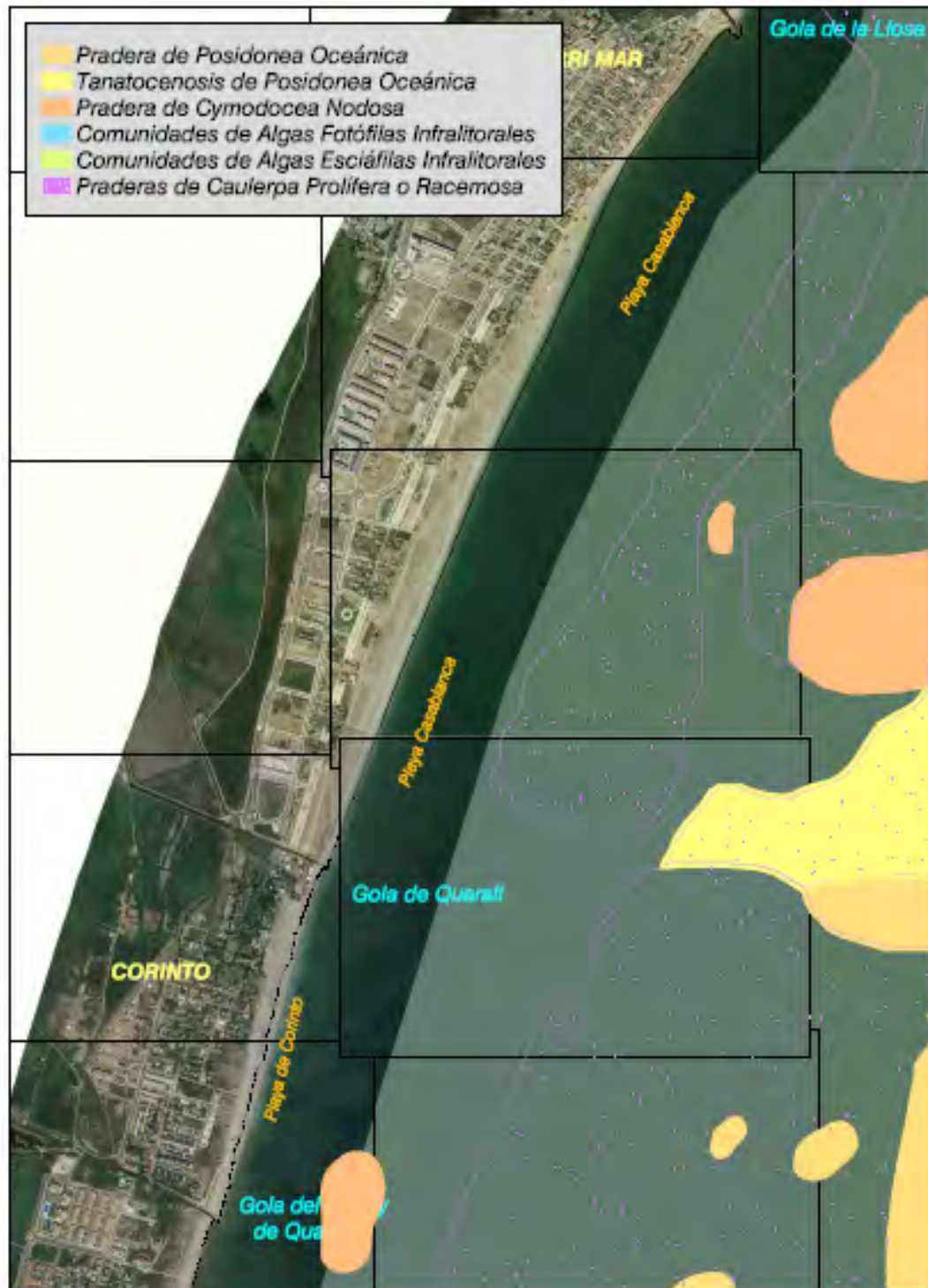


Figura 2.60 Comunidades marinas presentes en el tramo 5.

DOCUMENTO FINAL



Figura 2.61 Comunidades marinas presentes en el tramo 6.





Figura 2.62 Comunidades marinas presentes en el tramo 7.

## 2.6. Evolución de la línea de costa

En el presente apartado se analiza la configuración presente y pasada de la línea de costa, haciendo hincapié en las diferentes estructuras presentes.

### 2.6.1. Burriana

#### 2.6.1.1. El Puerto de Burriana

Desde la construcción del Puerto de Burriana, la línea de costa ha sufrido un importante retroceso al Sur de dicho puerto a la vez que ha avanzado al Norte, como se pone de manifiesto en la figura 2.63.

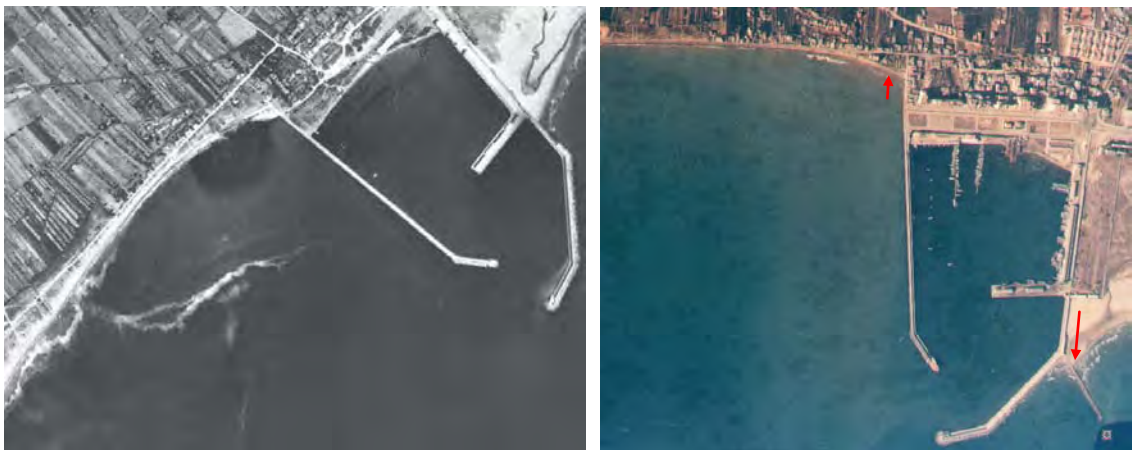


Figura 2.63 Puerto de Burriana en 1956 y 1981 respectivamente.

Desde 1947 (fecha más antigua desde la que se dispone de información sobre la posición de la línea de costa) hasta la actualidad (año 2009) se ha producido un retroceso de la línea de costa en su apoyo sobre el contradique del Puerto de Burriana de aproximadamente 125 m. Si bien desde principios de los años 70 se ha puesto freno a dicho retroceso mediante la disposición de una escollera al pie de la carretera (camino de la Serratella) que se prolonga desde el Puerto de Burriana hasta el municipio de Nules.

Existe una salvedad al retroceso de la costa inmediatamente al sur del contradique del Puerto de Burriana, a partir de las líneas de costa históricas se observa que la línea de costa correspondiente a 1989 se encuentra extrañamente adelantada en esa zona. Esto se confirma a la vista de la figura 2.64 en la que se aprecia una cierta acumulación de

**DOCUMENTO FINAL**

arena sumergida apoyada en el contradique del Puerto de Burriana. Esta situación parece responder al aporte de sedimentos llevado a cabo en el marco de algún proyecto de regeneración de la Playa al sur del Puerto de Burriana realizado en torno a 1989, aunque esto no puede ser confirmado ya que el aporte de arenas más antiguo que se conoce en esa zona se llevó a cabo en 1994.



Figura 2.64 Acumulación de arena al sur del Puerto de Burriana en 1990.



Figura 2.65 Líneas de costa históricas al sur del Puerto de Burriana sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

### 2.6.1.2. El Serradal

La erosión producida a consecuencia de la construcción del Puerto de Burriana se prolonga hacia el sur afectando gravemente al Serradal, como se muestra en la figura 2.66.

Desde 1947 hasta la actualidad (año 2009) la línea de costa ha experimentado un retroceso de unos 170 m a la altura del Serradal, que se detuvo, al igual que junto al Puerto de Burriana, tras la construcción de la protección costera en forma de escollera que se extiende desde el Puerto de Burriana hasta el Grau de Nules.

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.66 Líneas de costa históricas en el Serradal sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

En la línea de la gestión costera de los municipios colindantes, el rápido crecimiento urbanístico que ha experimentado en los últimos años el extremo norte del Serradal, ha motivado la construcción en 2006 de un dique de protección para crear una playa artificial que interrumpe la escollera de protección que se ha dispuesto desde el Puerto de Burriana hasta el Grau de Nules, como se muestra en las fotografías de la figura 2.67.

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.67 El Serradal en 2002 (fuente: Google Earth) y en la actualidad (2009) respectivamente.

### **2.6.2. El Grau de Nules**

Las perspectivas de desarrollo turístico y el rápido crecimiento urbanístico han provocado un gran cambio en los últimos 50 años en la fisonomía costera de los municipios del levante español. Al ocuparse parte del dominio marítimo-terrestre mediante edificaciones o paseos y carreteras costeras se ha provocado la necesidad de proteger dichas construcciones frente a la erosión de la costa. Por otro lado la industria turística reclama más playas en el entorno de las poblaciones costeras.

Es por ello que localidades como el Grau de Nules, el Grau de Moncofar, el Estanyol o las Casas de Chilches han sido objeto de incontables actuaciones costeras a lo largo de las últimas décadas.

**DOCUMENTO FINAL**

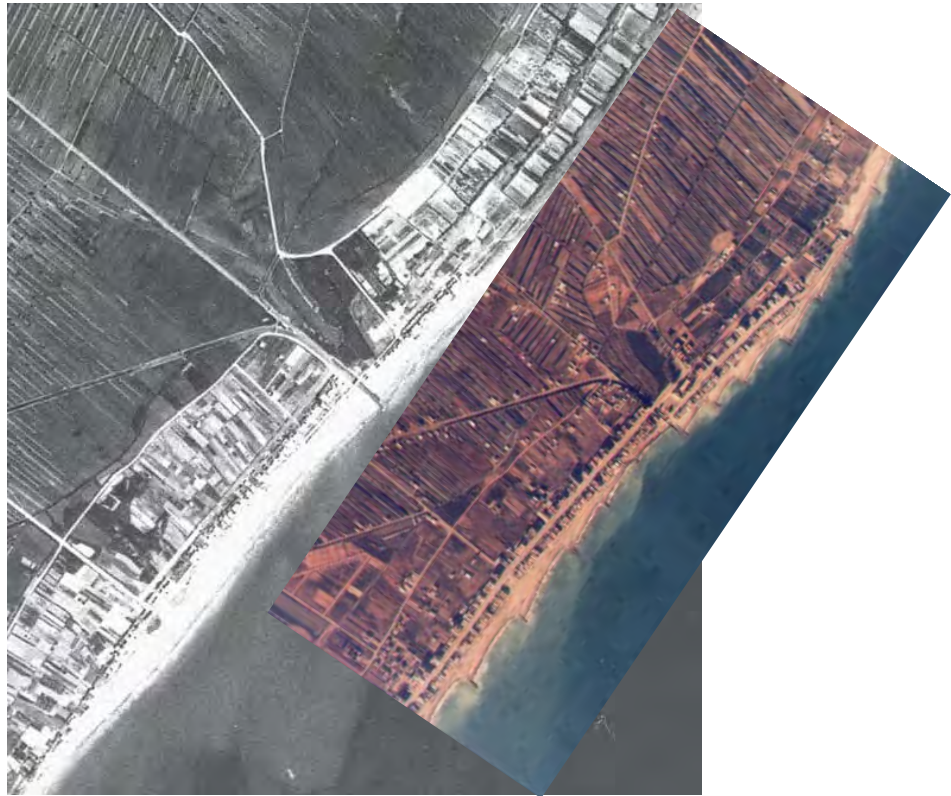


Figura 2.68 Playa de Nules en 1956 y 1981 respectivamente.

### **2.6.2.1. La gola de La Ratlla**

El retranqueo que se ha producido desde 1947 entre la Gola de La Ratlla hasta el límite con el Grau de Nules varía desde 120 m hasta 80 m, suavizándose los efectos de la erosión que generó la construcción del Puerto de Burriana a medida que nos alejamos de éste.

En la figura 2.69 se pueden observar las líneas de costa de diferentes momentos históricos, destacando la construcción de 3 espigones a finales de los años 60.

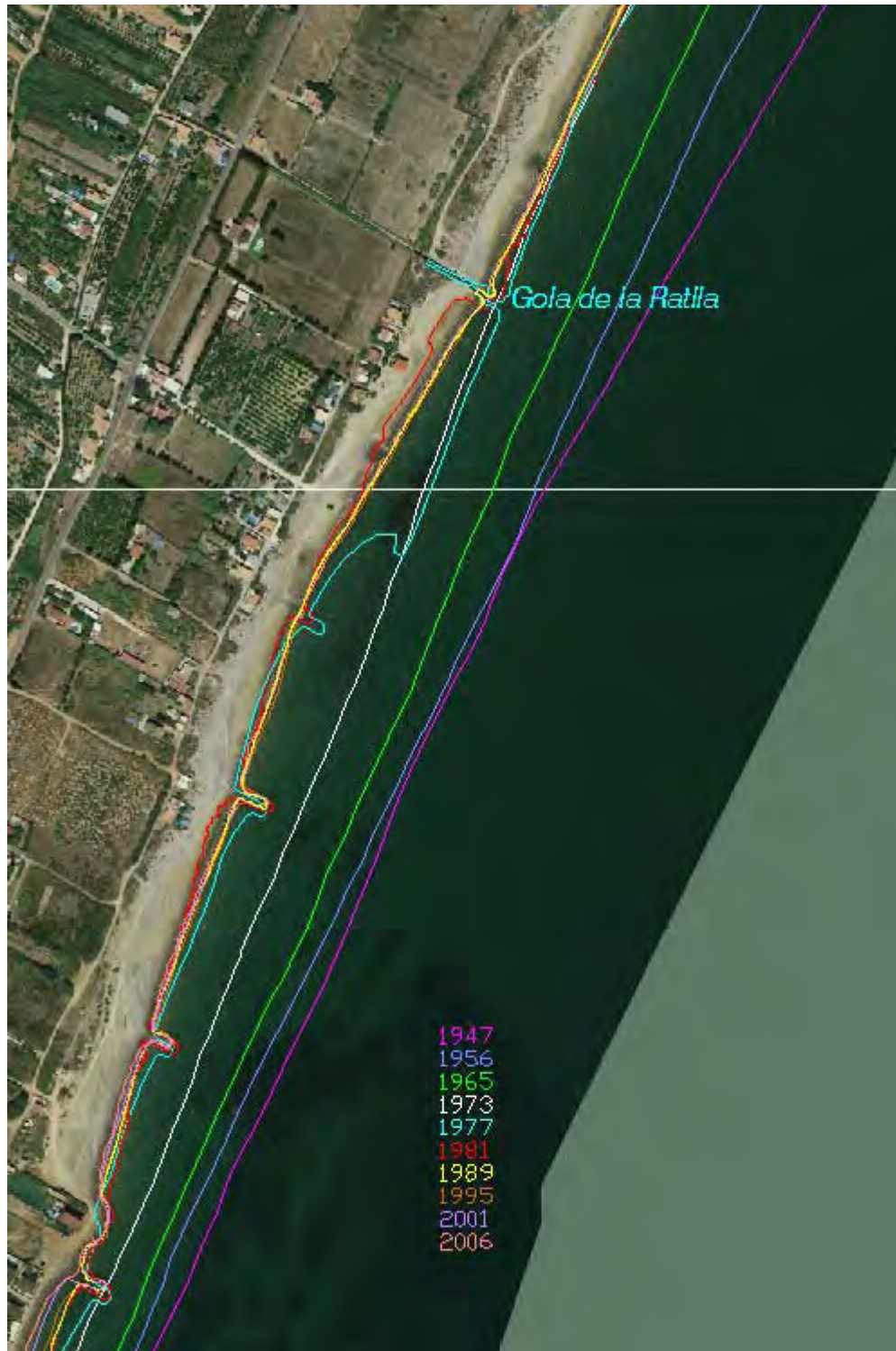


Figura 2.69 Líneas de costa históricas entre la Gola de La Ratlla y Nules sobre fotografía de la situación actual (año 2009).



**DOCUMENTO FINAL**

En la figura 2.70 se observa cómo entre 1981 y 1989 se llevó a cabo la demolición del más septentrional de los 3 espigones construidos en los años 60. También se muestra la demolición de 220 m de escollera de protección inmediatamente al Sur de la Gola de La Ratlla, que en la actualidad (año 2009) se encuentra retranqueada hasta 55m.



Figura 2.70 Líneas de costa históricas al sur de la gola de la Ratlla.

En las fotografías de la figura 2.71 se aprecia la presencia en 2002 de filtraciones de agua de mar a sotomar de la escollera de protección costera y la reciente apertura, a ambos lados de la Gola de la Ratlla, de sendas brechas de apenas 10 m de longitud en la escollera de protección de la costa.

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.71 Entorno de la Gola de La Ratlla en 2002 (fuente: Google Earth) y en la actualidad (2009) respectivamente.

### 2.6.2.2. La Playa de Nules Norte

Al norte de la desembocadura del Canal de la Marjalería de Nules existen un total de 4 espigones, construidos a mediados de los años setenta que desde su construcción han sufrido numerosas modificaciones:

- Inicialmente se construyeron 5 espigones, si bien el más meridional fue demolido en algún momento entre los años 2001 y 2006.
- El más situado al norte en la actualidad (año 2009) es sumergido, aunque inicialmente fue emergido.
- El último recrecimiento se llevó a cabo entre 2001 y 2006.

**DOCUMENTO FINAL**

Además de los espigones mencionados, la desembocadura del Canal de la Marjalería queda encauzada mediante dos espigones que han sido recrecidos en diversas ocasiones, siendo la última de ellas en 2002.

En todos estos espigones se apoya una playa artificial objeto de numerosos rellenos a lo largo de los años.

En la actualidad, la playa una vez existente ha desaparecido por completo siendo necesaria la disposición de una escollera para protección de las viviendas existentes. Esta escollera es la continuación de la escollera dispuesta en el tramo anterior y que se prolonga desde el Puerto de Burriana.

En la figura 2.72 se muestran todas las estructuras mencionadas anteriormente tanto en la situación actual como en el pasado.



Figura 2.72 Playa de Nules en 1995 sobre ortofoto de la situación actual (año 2009).

**DOCUMENTO FINAL**

En las fotografías aéreas de las figuras 2.73 y 2.74 se observa como en 1986 existía un espigón adicional en la celda sur, aún se apreciaba un cierto ancho de playa en la celda norte y los espigones, tanto en la playa como en la desembocadura del Canal de la Marjalería eran de menor tamaño que en la actualidad (año 2009).



Figura 2.73 Playa de Nules Norte en 1986.



Figura 2.74 Playa de Nules Norte en la actualidad (año 2009).

En la figura 2.75 se muestran sucesivas líneas de costa que reflejan todos los cambios mencionados respecto a la situación actual.

**DOCUMENTO FINAL**

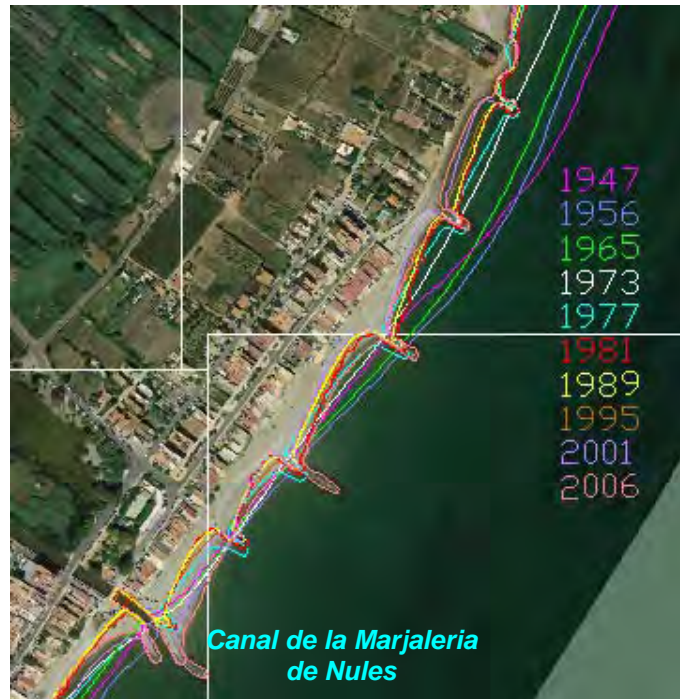


Figura 2.75 Líneas de costa históricas en la Playa de Nules al norte de la desembocadura del Canal de la Marjalería sobre fotografía de la situación actual (año 2009)

### 2.6.2.2. La Playa de Nules Sur

En la Playa de Nules al Sur de la desembocadura del Canal de la Marjalería existen 8 espigones construidos en los años setenta que, al igual que la playa Norte, han sufrido numerosas modificaciones, básicamente consistentes en recrecimientos.

En la figura 2.76 se muestran sucesivas líneas de costa que reflejan todos los cambios mencionados respecto a la situación actual.



Figura 2.76 Líneas de costa históricas en la Playa de Nules al sur de la desembocadura del Canal de la Marjalería sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

Cabe destacar que el espigón más septentrional ha sido desplazado 70 m hacia el norte respecto de su ubicación original a finales de los años 90 para paliar la erosión sufrida inmediatamente al sur de la desembocadura del Canal de la Marjalería, como se observa en las figuras 2.77 y 2.78.



Figura 2.77 Playa de Nules Sur en 1986.



Figura 2.78 Playa de Nules Sur en la actualidad (año 2009).

### 2.6.2.3. Playa de Pedra Rotja

A finales de los 70 se construyó junto con el resto de espigones de la Playa de Nules un espigón en la Playa de Pedra Rotja que fue demolido poco después de su construcción como se observa en las figuras 2.79 y 2.80.

Además, a mediados de los años 80 la erosión, tanto en el centro de la playa como en el límite norte, había alcanzado las edificaciones existentes por lo que fue necesaria la disposición de dos escolleras de protección entorno a las mismas, como también se muestra en las figuras 2.79 y 2.80.



Figura 2.79 Playa Pedra Rotja en 1981.

DOCUMENTO FINAL



Figura 2.80 Playa Pedra Rotja en 1986.

A partir de este momento la erosión en la parte norte de la playa comienza a ceder mientras que se acentúa al sur, amenazando al camping "Costa de Levante" situado en el límite sur de la playa, como muestra la figura 2.81.



Figura 2.81 Playa Pedra Rotja en 1992.

La erosión ha sido tal en los últimos años, que en la actualidad ha sido necesaria la disposición de otra escollera de protección en torno al mencionado camping, como se observa en la figura 2.82 en la que, sobre la fotografía de la situación actual (año 2009) se han dibujado diversas líneas de costa históricas.



DOCUMENTO FINAL

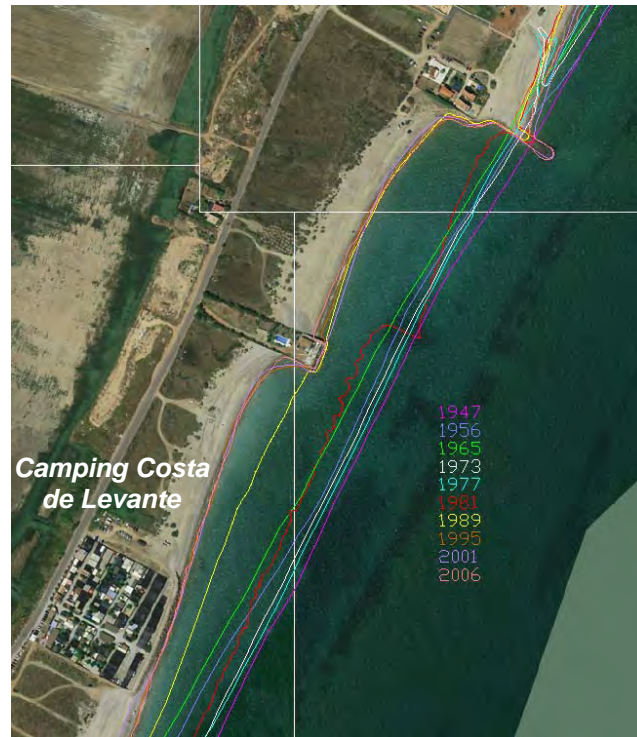


Figura 2.82 Líneas de costa históricas en la Playa de Pedra Rotja sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

### **2.6.3. El Grau de Moncofar**

En el Grau de Moncofar se reproduce el mismo esquema de ordenación urbanística y gestión costera que ya se mencionó en el Grau de Nules, consistente en la construcción de numerosas obras para la regeneración de playas en el frente costero.

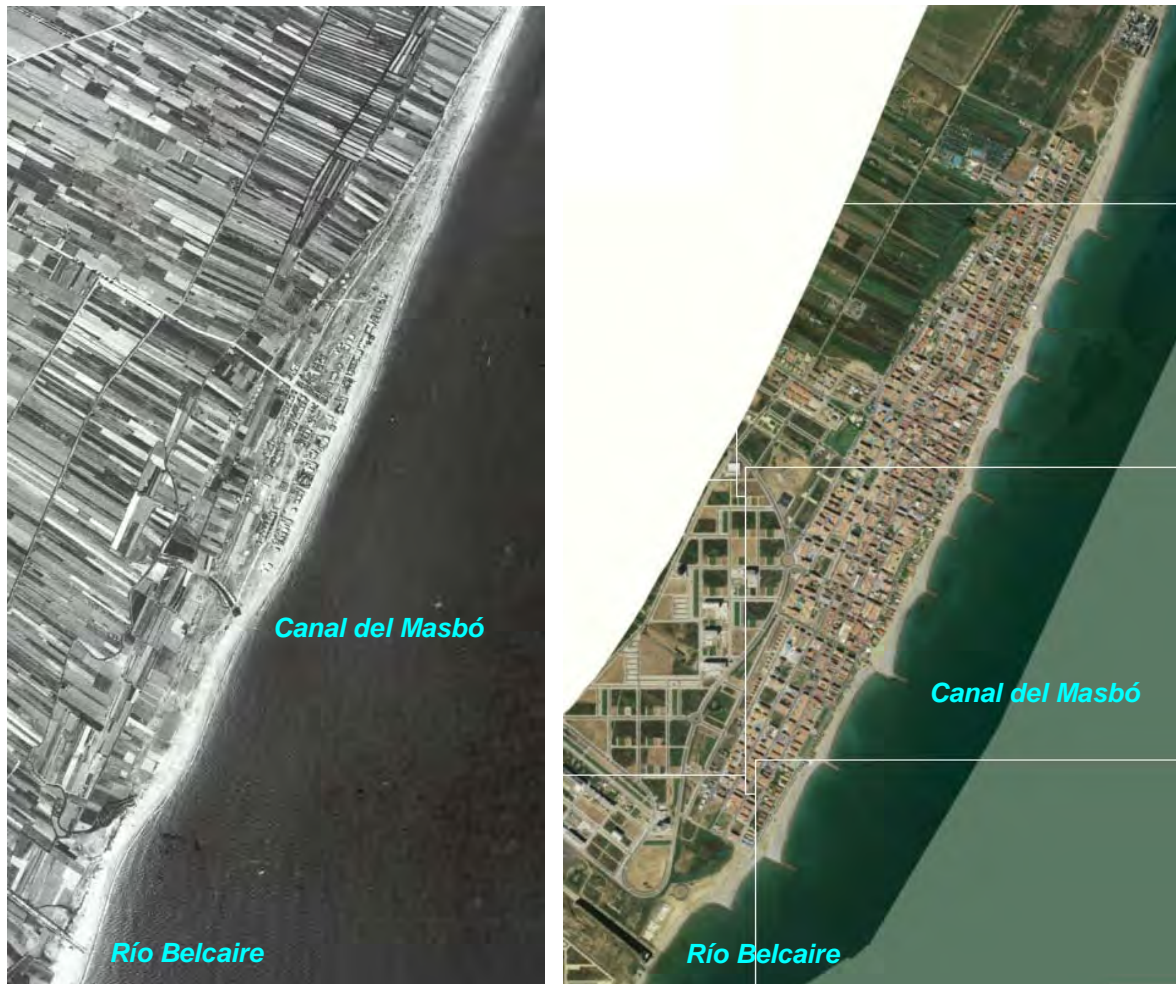


Figura 2.83 El Grau de Moncofar en 1956 y en la actualidad (2009) respectivamente.

### 2.6.3.1. Playa de El Grau

En los años 80 la erosión de la costa es tal que la línea de costa alcanza la primera línea de edificios como se muestra en las figuras 2.84 y 2.85.



Figura 2.84 Playa de El Grau en 1956.

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.85 Playa de El Grau en 1986.

A principios de los años noventa se construyeron los espigones existentes en la actualidad en diversas fases y se encauza la desembocadura del Canal del Masbó, como se muestra en las figuras 2.86 y 2.87.

Sobre estos espigones se apoya una playa artificial que protege la primera línea de viviendas en la costa.



Figura 2.86 Playa de El Grau en 1990.



Figura 2.87 Playa de El Grau en 1994.

**DOCUMENTO FINAL**

En torno al año 2000 se llevan a cabo obras de recrecimiento de los espigones de encauzamiento del Canal del Masbó así como de algunos de los espigones.

En la figura 2.88, en las que se muestran varias líneas de costa históricas, se ilustra la erosión producida en los años ochenta junto con la sucesiva construcción de los espigones en los que se ubica actualmente la Playa de El Grau.



Figura 2.88 Líneas de costa históricas en la Playa de El Grau sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

### 2.6.3.2. Playas de El Masbó y Tamarit

A efectos de ampliar el ancho de seca en El Masbó, a principios de los años setenta, se construyeron dos pequeños espigones en mitad de la playa del mismo nombre. No se dispone de fotografías aéreas en las que se muestran dichos espigones pero en la figura 2.89 la línea de costa de 1973 (línea blanca) revela su presencia a ambos lados del espigón existente en la actualidad en mitad de la Playa del Masbó.

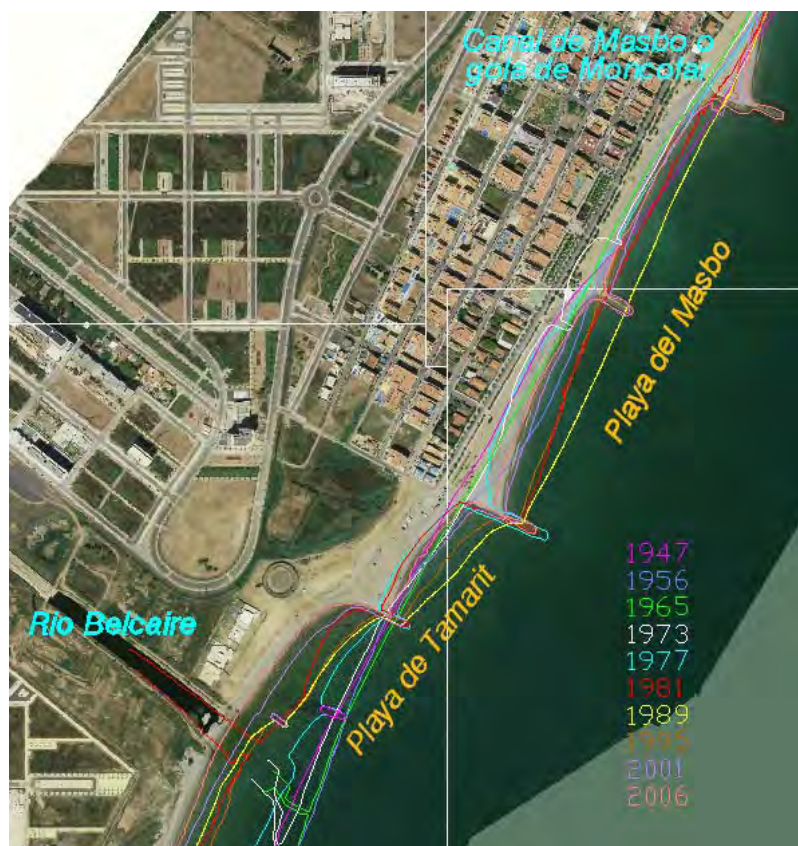


Figura 2.89 Líneas de costa históricas en la Playa del Masbó y Tamarit sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

A mediados de los años setenta se construyó el espigón de separación de las Playas del Masbó y Tamarit, y se regeneró la Playa del Masbó que, apoyada en dicho espigón aumentó notablemente su ancho de playa seca (véanse figuras 2.90 y 2.91), dejando enterrados los dos espigones mencionados en el párrafo anterior.

A la vez que se construyó el espigón de separación de las dos playas se dispuso un espigón en mitad de la Playa de Tamarit siendo ésta la única intervención apreciable en dicha playa, también mostrada en las figuras 2.90 y 2.91.

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.90 Playas de El Masbó y Tamarit en 1956.



Figura 2.91 Playas de El Masbó y Tamarit en 1981.

A mediados de los años noventa se construyeron los espigones de encauzamiento de la desembocadura del Canal del Masbó, los cuales trajeron consigo la erosión de la costa al sur de los mismos por lo que fue necesaria la construcción de un espigón situado en medio de la Playa del Masbó en 1995, como se muestra en las figuras 2.92 y 2.93.



Figura 2.92 Playas de El Masbó y Tamarit en 1996.



Figura 2.93 Playas de El Masbó y Tamarit en 2004.

**DOCUMENTO FINAL**

Como ya se ha mencionado anteriormente, por no disponer de fotografías de los años setenta no se ha podido ilustrar la configuración de la Playa del Masbó en la que existían dos pequeños espigones que posteriormente han quedado enterrados en mitad de la playa. Sin embargo en la figura 2.92 se aprecia cómo tras la erosión producida entre 1981 y 1996 el morro del más septentrional de ellos se desentierra quedando a la vista.

**2.6.3.3. Playas de La Torre**

Al sur del río Belcaire, la Playa de la Torre, carece del desarrollo urbano de los municipios costeros colindantes, por ello, en este tramo las actuaciones costeras son mucho menos numerosas.

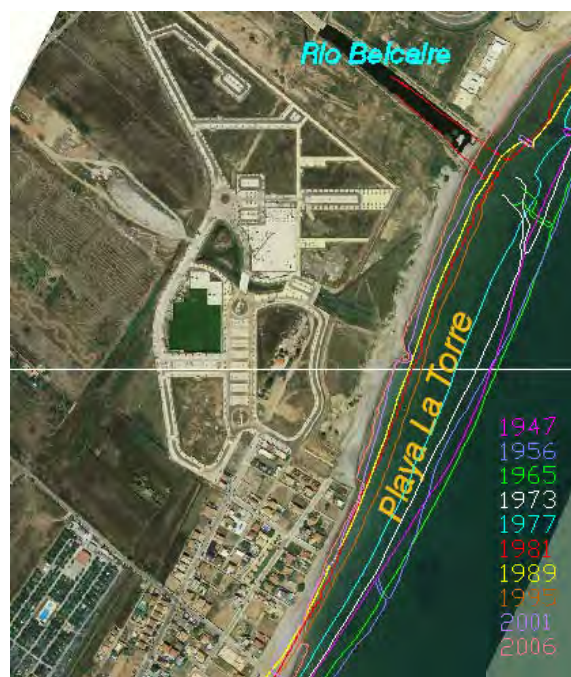


Figura 2.94 Líneas de costa históricas en las Playas de la Torre sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

A la vista de las líneas de costa de la figura 2.94 se puede concluir que hasta después del año 2000, con la construcción del dique exento que separa la Playa de la Torre de la Playa del Estanyol, no se había construido ninguna estructura costera.

## **2.6.4. Las Casas de Chilches**

En Las Casas de Chilches se reproduce una vez más el modelo de gestión costera ligado a la expansión urbanística del Grau de Nules o el Grau de Moncofar, consistente en la regeneración de playas en el frente costero mediante diversas obras.



Figura 2.95 Las Casas de Chilches en 1956 y en la actualidad (2009) respectivamente.

### ***2.6.4.1. Playas del Estanyol***

La fotografía aérea de 1986 (véase figura 2.96) pone en evidencia la presencia durante la década de los ochenta de 6 pequeños espigones que posteriormente quedaron enterrados en la playa seca en la Playa del Estanyol.





Figura 2.96 Playas de la Torre y el Estanyol en 1986.

A modo ilustrativo en la figura 2.97 se muestra la construcción del dique paralelo a la costa situado entre la Playa de la Torre y la del Estanyol. Tras la construcción de dicho dique se produjo tal erosión al sur del mismo que quedó a la vista parte del espigón más meridional de los 6 construidos en los años 80.



Figura 2.97 Línea de costa de la Playa del Estanyol en 2006 sobre fotografía de las obras realizadas en 2001.

#### 2.6.4.2. Playas de las Casas y el Cerezo Norte

La expansión urbanística llevó a ocupar parte de la playa seca con un conjunto de viviendas a las que la línea de costa alcanzó en torno a los años 80, como se puede observar en las figuras 2.98 y 2.99.



Figura 2.98 Playas de las Casas y el Cerezo Norte en 1956.



Figura 2.99 Playas de las Casas y el Cerezo Norte en 1986.

Esta primera línea de viviendas a la que había alcanzado la línea de costa y que ocupaba parte de la playa seca fue demolida a principios de los años 90 a la vez que se llevó a cabo la construcción de dos tómbolos apoyados sobre sendos diques exentos, como se muestra en las figuras 2.100 y 2.101.

DOCUMENTO FINAL



Figura 2.100 Playas de las Casas y el Cerezo Norte en 1990.



Figura 2.101 Playas de las Casas y el Cerezo Norte en 1996.

Por último, a finales de los 90 se llevó a cabo la construcción del mirador pilotado entre los dos tómbolos, cuyos estribos se apoyan en una protección de escollera semicircular como se puede apreciar en la fotografía aérea de la figura 2.102.



Figura 2.102 Líneas de costa históricas en las Playas de las Casas y el Cerezo Norte sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

**DOCUMENTO FINAL**

**2.6.4.3. Playas del Cerezo Sur**

En la parte Sur de la Playa del Cerezo, a principios de los 90 se construyeron dos pequeños espigones que aproximadamente una década más tarde fueron modificados. El más septentrional fue reconstruido unos 100 m hacia el sur y de mayor tamaño y el más meridional fue recrecido.

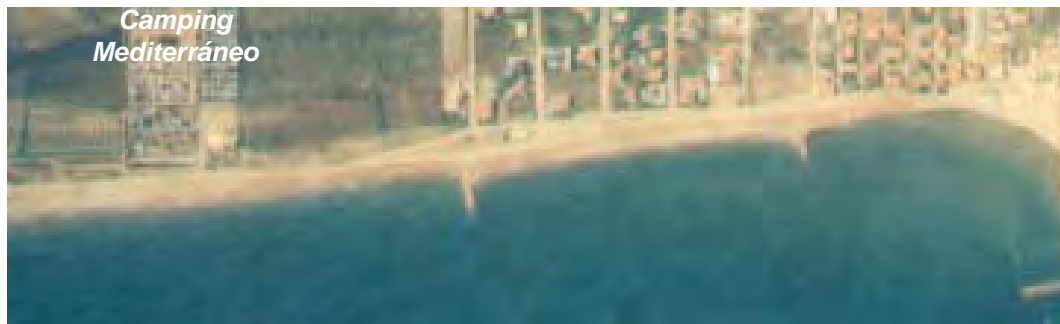


Figura 2.103 Playas del Cerezo Sur y la Llosa en 1990.



Figura 2.104 Playas del Cerezo Sur y la Llosa en 2002 (fuente: Google Earth).

Por otro lado entre los años 2001 y 2006 se construyó el espigón en el extremo Sur del camping "Mediterráneo".



Figura 2.105 Playas del Cerezo Sur y la Llosa en 2006 (fuente: Google Earth).

#### 2.6.4.4. Playas de La Llosa

Como se muestra en la figura 2.106, desde los años cuarenta se observa un progresivo retroceso de la línea de costa en la Playa de La Llosa, que se frenó durante las décadas de los 60, 70 y 80, pero que en los últimos 20 años ha repuntado, siendo del orden de los 100 m desde 1989 hasta la actualidad (año 2009).



Figura 2.106 Líneas de costa históricas en las Playas del Cerezo Sur y la Llosa sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

**DOCUMENTO FINAL**

En la Playa de La Llosa no se han construido obras de protección costera a excepción de los espigones de encauzamiento de la Gola de La Llosa en el límite sur de la playa, que se han ido recreciendo a lo largo de los últimos 20 años, como se puede apreciar en las fotografías de la figura 2.107.



Figura 2.107 Gola de la Llosa en 1981, 1996 y en la actualidad (2009) respectivamente.

### **2.6.5. Almenara**

El tramo de Almenara, a diferencia de los tramos anteriores no presenta espigones y solo existen dos escolleras de protección al sur de la Gola de Queralt y de la Gola de La Llosa.

#### ***2.6.5.1. Playa de Casablanca***

Al sur de la Gola de La Llosa la localidad de Barri Mar ha experimentado un importante crecimiento urbano en los últimos 50 años, como el resto de las poblaciones de la zona de estudio.

Sin embargo, en el caso de Barri Mar no se ha optado por la regeneración de la mediante la construcción de espigones y diques exentos debido a la existencia de una gran playa natural, la Playa de Casablanca, entre Barri Mar y la Gola de Queralt.

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.108 Barri Mar en 1956 y en la actualidad (2009) respectivamente.

Como se puede observar en las figuras 2.109 y 2.110, ya en 1996 fue necesaria la disposición de dos pequeñas escolleras de protección de las viviendas más próximas a la Gola de La Llosa.

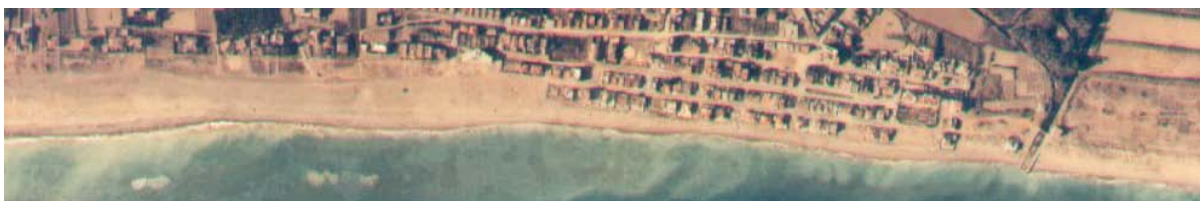


Figura 2.109 Barri Mar en 1981.



Figura 2.110 Barri Mar en 1996.



**DOCUMENTO FINAL**

El recrecimiento de los espigones de encauzamiento de la Gola de La Llosa no hizo más que acrecentar la erosión al sur de la misma, a amenazando a las viviendas situadas en primera línea de playa, como se muestra en las figuras 2.110 y 2.111.

En lugar de optar por la protección de esta primera línea de viviendas se optó por derribarlas a finales de los años noventa, a la vez que se construyó una escollera de defensa de la costa, como se muestra en la figura 2.111.



Figura 2.111 Barri Mar en 2003.

La decisión de no regenerar la playa inmediatamente al sur de la gola de la Llosa se explica debido a la presencia de la Playa de Casablanca, con un ancho de playa seca de hasta 100 m.

De hecho, dicha playa no muestra la tendencia erosiva de los otros tramos de la zona de estudio, por el contrario, en los últimos 50 años la línea de costa ha experimentado un avance hacia el mar de hasta 50 m como se muestra en la figura 2.112.



Figura 2.112 Líneas de costa históricas en la Playa de Casablanca sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

DOCUMENTO FINAL

### 2.6.5.2. Playa de Corinto

A continuación de la Gola de Queralt y hasta la Gola del Estany de Quartell, se repite el mismo esquema que en el tramo anterior, la única actuación de protección de la costa consiste en la disposición de una escollera de protección frente a las viviendas situadas inmediatamente al Sur de la Gola de Queralt.

Como se puede observar en las figuras 2.113, 2.114 y 2.115, el recrecimiento de los espigones de encauzamiento de la gola de Queralt a principios de los años ochenta trajo consigo la progresiva erosión de la costa al sur de dicha gola. De ahí la necesidad de la escollera de protección de las viviendas situadas inmediatamente al Sur de la Gola de Queralt.



Figura 2.113 Playa de Corinto en 1981.



Figura 2.114 Playa de Corinto en 1986.

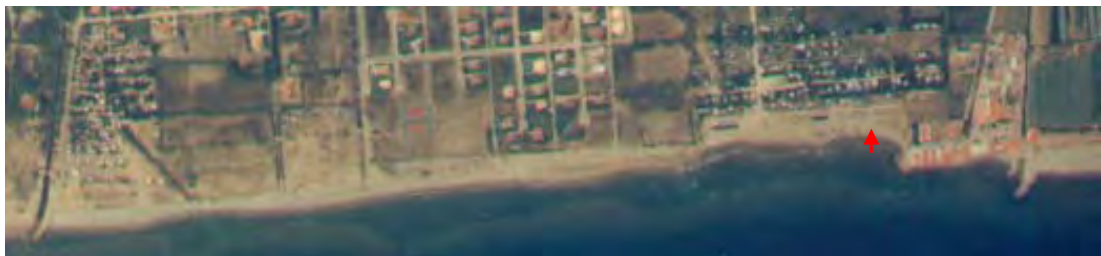


Figura 2.115 Playa de Corinto en 1990.

**DOCUMENTO FINAL**

Los niveles de erosión en Corinto se mantuvieron igual que en 1990 hasta que a partir de 2004 se comenzaron a recuperar hasta alcanzar en la situación actual niveles similares a los de hace 50 años, como se puede ver en la figura 2.116.

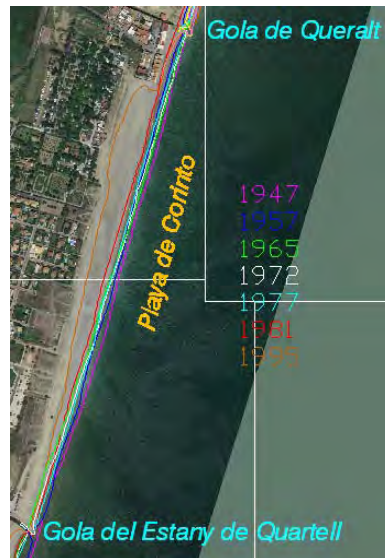


Figura 2.116 Líneas de costa históricas en la Playa de Casablanca sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

### **2.6.6. Almardá**

El tramo de costa situado entre la gola del Estany de Quartell y el Puerto de Siles es en realidad una playa continua que toma distintos nombres de norte a sur: la parte Sur de la Playa de Corinto, Playa de Almardá y Playa de Canet de Berenguer.

En su extremo norte, los espigones de encauzamiento de la Gola del Estany de Quartell no han sufrido modificaciones desde los años setenta. Inmediatamente al Sur de dicha gola la playa se ha retranqueado hasta el año 1995. Sin embargo, entre dicho año y la actualidad (año 2009) la línea de costa ha avanzado unos 20 m. En este punto debe ser tenido en cuenta que las líneas de costa de diferentes años no corresponden a los mismos meses, quedando incluido en la variación de la línea de costa los cambios estacionales experimentados por la misma.

En el extremo sur de la playa destaca la presencia del Puerto de Siles, cuyo dique limita la Playa de Canet de Berenguer.

**DOCUMENTO FINAL**

Previamente a la construcción de dicho puerto la playa ya mostraba una tendencia a la acumulación de sedimentos, motivada por la presencia más al sur del Puerto de Sagunto. Entre 1946 y 1977 se produjeron unos 15 m de avance en la línea de costa.

Dicha tendencia se vio potenciada desde principios de los años ochenta por la construcción del Puerto de Siles. Desde 1981 hasta la actualidad (año 2009) la línea de costa ha experimentado un avance de unos 160 m en su contacto con el dique del Puerto de Siles.



Figura 2.117 Puerto de Siles en 1981 y 1986 respectivamente.

Existe una salvedad en la acumulación de sedimentos en la Playa de Canet de Berenguer, entre los años 1977 y 1981 la línea de costa retrocedió un máximo de 25 m. Ahora bien, como ya ha sido comentado previamente, debe ser tenido en cuenta que, como las líneas de costa de diferentes años no corresponden a los mismos meses, queda incluido en la variación de la línea de costa los cambios estacionales experimentados por la misma.

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.118 Líneas de costa históricas en la Playa de Corinto, Almería y Canet de Berenguer sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

La Playa de Almería, situada en el centro del tramo muestra un relativo equilibrio. En general hasta los años sesenta se ha retranqueado la línea de costa y después dicha línea ha experimentado un avance, sin embargo las máximas fluctuaciones de la línea de costa en los últimos 60 años son de apenas 30 m en un ancho de playa seca total de hasta 200 m. En este punto debe de nuevo ser tenido en cuenta que las líneas de costa de diferentes años no corresponden a los mismos meses, quedando incluido en la variación de la línea de costa los cambios estacionales experimentados por la misma.

## **2.6.7. Sagunto**

### ***2.6.7.1. Delta del río Palancia***

Los deltas fluviales son elementos muy dinámicos y sensibles a cualquier intervención. En los últimos 50 años el delta de río Palancia ha sufrido importantes modificaciones debido principalmente a las obras construidas en sus extremos: el Puerto de Siles y los espigones de encauzamiento de la desembocadura sur del Palancia. Aunque también tiene incidencia en su dinámica la presencia del Puerto de Sagunto y la carretera costera existente.



Figura 2.119 Delta del río Palancia en 1960 y en la actualidad (2009) respectivamente.

En algún momento de las décadas de los sesenta o setenta se construyó la carretera que bordea la costa a la altura del Delta del Palancia, imponiéndose así una restricción a la libertad de movimientos de la línea de costa y acentuándose la erosión más adelante debido a la disposición de una escollera de protección. Sin embargo hasta la construcción del Puerto de Siles la carretera costera no se vio afectada por la erosión de la costa.

**DOCUMENTO FINAL**



Figura 2.120 Delta del río Palencia en 1960.



Figura 2.121 Delta del río Palencia en 1981.

Una vez construido dicho puerto la costa en la parte norte del delta comenzó a retroceder hasta alcanzar a la ca rretera d e t al m o d o q u e f u e n e c e s a r i a l a d i s p o s i c i ó n d e u n a escollera de protección en gran parte del frente costero del delta.

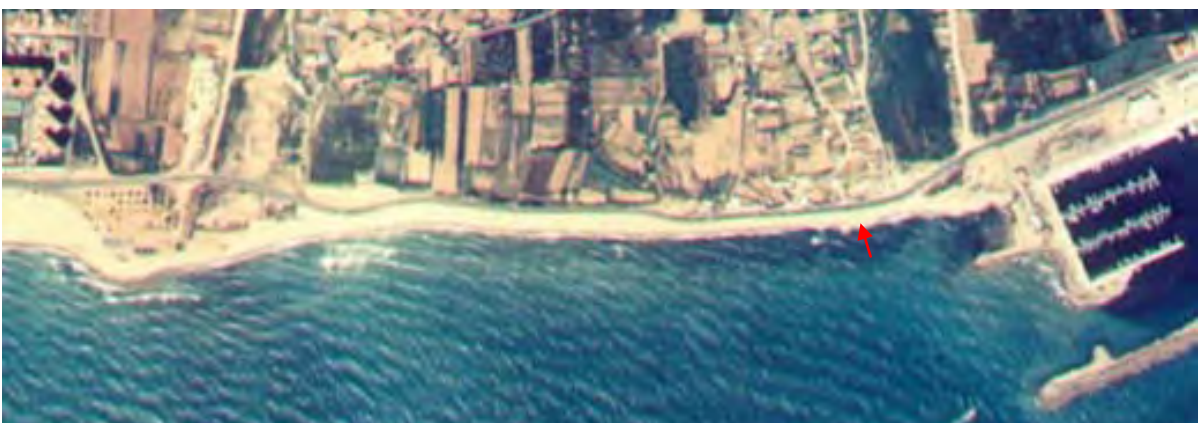


Figura 2.122 Delta del río Palencia en 1986.

Tras la disposición de dicha escollera el proceso erosivo se vio potenciado debido a la reflexión del oleaje inducida por la propia escollera y el aumento de la turbulencia al pie de la misma que favorece la suspensión el material granular de la playa.



Figura 2.123 Delta del río Palancia en 2004 (fuente: Google Earth).

Como se puede apreciar en la figura 2.124, en la parte sur de la Playa del delta, la tendencia es la contraria, aumentándose progresivamente el ancho de playa seca. Esto es debido en primer lugar a la acumulación de sedimentos al norte del dique del Puerto de Sagunto y posteriormente a la construcción de los espigones de encauzamiento de la desembocadura sur del río Palancia.

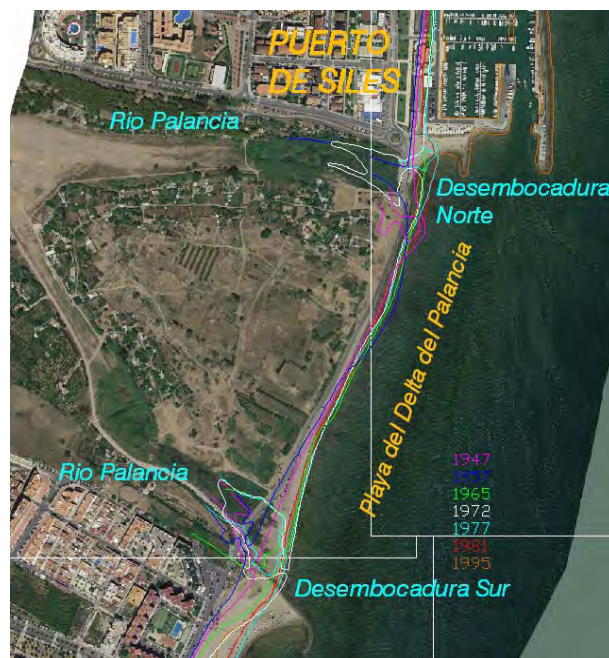


Figura 2.124 Líneas de costa históricas en la Playa del delta del río Palancia sobre fotografía de la situación actual (año 2009).



### 2.6.7.2. Playa del Puerto de Sagunto

Las dinámicas de la Playa del Puerto de Sagunto se rigen principalmente por la presencia del puerto al sur de la misma, en cuyo dique se apoya la playa, y del espigón junto a la desembocadura sur del río Palancia al norte.

El Puerto de Sagunto ha sufrido importantes ampliaciones desde su construcción como se muestra en las fotografías de la figura 2.125.



Figura 2.125 Puerto de Sagunto en 1956 y en la actualidad (2009)respectivamente.

En general, en la Playa del Puerto de Sagunto se tiende a acumular sedimentos debido a la presencia del dique del Puerto de Sagunto. Desde 1947 hasta la actualidad (año 2009) la línea de costa ha experimentado un avance de 180 m en su apoyo con el dique del puerto.

Sin embargo existe un periodo entorno a los años 80 en el que la parte Norte de la playa sufrió un retranqueo de la línea de costa. De nuevo se debe tener en cuenta lo ya

**DOCUMENTO FINAL**

comentado de que las líneas de costa de diferentes años no corresponden a los mismos meses, quedando incluido en la variación de la línea de costa los cambios estacionales experimentados por la misma.

Con la construcción del dique de encauzamiento de la desembocadura Sur del río Palancia, desde 1995 hasta la actualidad (año 2009) se han ganado unos 30 m en toda la playa, como se muestra en la figura 2.126.



Figura 2.126 Líneas de costa históricas en la Playa del Puerto de Sagunto sobre fotografía de la situación actual (año 2009).

## 2.7. Histórico de regeneraciones

A efectos de determinar la cantidad de material sedimentario que se ha introducido en el sistema de forma artificial se ha llevado a cabo una recopilación de información sobre las aportaciones de arenas y/o gravas realizadas en toda la zona de estudio.

Dicha información es de gran relevancia a la hora de analizar el avance o retroceso de la costa en relación al transporte litoral.

En las tablas 2.6 y 2.7 se muestra un resumen de las actuaciones llevadas a cabo en la zona de estudio y que conllevan un aporte de sedimentos a la zona de estudio.

Municipio	Playa	AÑO	m3 (o tm)	Tipo de material
Burriana	sur puerto	1 994	65 243	arena puerto
Burriana	playa sur	2 007	-	-
Burriana	entorno gola de la Ratlla	2 010	4 900	arena puerto
Nules	Nules norte	2 002	32 347	material granular
Nules	Nules sur	1 986	45 390	arena
Nules	Nules sur	1 995	243 671	material granular
Nules	Nules sur	1 999	246 860	material granular
Nules	Nules sur	2008-2009	9200 tm	material granular
Nules	Pedra Rotja	1 997	30600 tm	material granular
Moncofar	El Grau	1 990	118835 tm	material granular
Moncofar	El Grau	1 995	55023 tm	material granular
Moncofar	El Grau	1 998	159181 tm	material granular
Moncofar	El Grau	1 999	4 000	material granular
Moncofar	El Grau	2 000	1 000	material granular
Moncofar	El Grau	2001 / 12	40 646	material granular
Moncofar	El Grau	2 005	18 728	arena puerto
Moncofar	El Grau	2007 / 09	2 500	material granular
Moncofar	El Grau	2 008	8000 tm	material granular
Moncofar	El Estanyol	2 001	27 577	material granular
Chilches	Las Casas-El Cerezo	1 986	175 695	material granular
Chilches	El Cerezo	1 987	38 274	material granular
Chilches	El Cerezo	1 989	246 991	material de río
Chilches	El Cerezo	1 989	27 857	material de río
Chilches	El Cerezo	1 996	100069 tm	material granular
Chilches	El Cerezo	1 996	53568 tm	arena
Chilches	-	2 000	-	arena
Chilches	El Cerezo	2 010	6 000	arena puerto
Chilches	El Cerezo Sur	1 998	29389 tm	gravas

Tabla 2.6 Aportaciones de material sedimentario en la provincia de Castellón.

**DOCUMENTO FINAL**

Cabe destacar que de las anteriores actuaciones la realizada en el Grau de Moncofar en los años 2005/2007 y la realizada en el Cerezo de Chiches en 1987 no son aportaciones sino trasvases de material granular. El origen de dicho material no ha podido ser identificado, si se tratara de material de procedencia en la misma zona de estudio no supondría un aporte neto de sedimentos al conjunto de la zona.

Municipio	Playa	AÑO	m3 (o tm)	Tipo de material
Almenara	Casablanca	1 998	37 392	material granular
Almenara	Casablanca	2 000	-	-
Almenara	Casablanca	2 001	89 219	material granular
Almenara	Casablanca	2 002	824	material granular
Almenara	Casablanca	2 002	89 219	material granular
Almenara	Casablanca	2 006	53 823	material granular
Almenara	Casablanca	2007-2009	49499 tm	material granular
Sagunto	Almardá	1 992	30 000	arena
Sagunto	Almardá	1 994	25 000	arena
Sagunto	Almardá	1 995	100 000	arena
Sagunto	Almardá	1 996	100 000	arena
Sagunto	Almardá	1 997	100 000	arena

Tabla 2.7 Aportaciones de material sedimentario en la provincia de Valencia.

De las aportaciones realizadas en la Playa de Almardá es necesario señalar que se tratan en realidad de trasvases de arena extraída de la Playa de Canet de Berenguer. En las actuaciones de los años 1 992 y 1 994 la arena utilizada es 100% procedente de la mencionada playa, mientras que en las realizadas en los años 1995, 1996 y 1997 se mezcla al 50% con arena de cantera.

## 2.8. Histórico de obras

A partir de las líneas de costa y fotografías aéreas disponibles se han establecido fechas aproximadas de la construcción de las diversas obras existentes en toda la zona de estudio.

En las tablas 2.8, 2.9 y 2.10 se muestra un resumen de las obras existentes, su localización y características, además de una estimación de la fecha de su construcción.

Tramo	Localización	Año construcción	Tipo de obra	Nº	Long. media	Prof. media
1	<b>Puerto de Burriana</b>	<b>1933</b>	<b>Diques</b>			
	El Serradal	1965-1973 2 006	Escollera Dique exento	1 1	2700 m 80 m	-2 m

Tabla 2.8 Obras existentes en el tramo 1.

**DOCUMENTO FINAL**

Tramo	Localización	Año construcción	Tipo de obra	Nº	Long. media	Prof. media
2	Nules	1965-1973	Escollera	1	980 m	
		1973-1977	Espigones	2	25 m	-1.5 m
	Playa de Nules	1973-1977	Espigones	3	50 m	-2m
	Canal de la Marjalería de Nules	1 998	Espigones encauzamiento	2	40 m	-1 m
		2 002	Recrecimiento	1	30 m	-2 m
	Playa de Nules	1995	Espigón sumergido	1	60 m	-2 m
		1965-1973	Espigón	1	30 m	-1 m
		1973-1977	Espigones	4	40 m	-1 m
		1977-1981	Espigones	2	40 m	-1 m
		1995-2001	Recrecimiento espigones	7	30 m	-2 m
Playa de Pedra Rotja	1981-1986	Escollera	2	140 m		
3	Playa de Pedra Rotja	1992-1995	Escollera	1	140 m	
	Playa El Grau	1990	Espigones	3	80 m	-2 m
		1990-1994	Espigones	5	40 m	-2 m
		2001-2005	Recrecimiento espigones	2	40 m	-2.5 m
	Gola de Moncofar	1994-2002	Espigones encauzamiento	1	20 m	-1 m
		2001-2005	Recrecimiento	2	60 m	-2 m
	Playa del Masbó	1 995	Espigón	1	60 m	-2 m
		1973-1977	Espigón	1	120 m	-2.5 m
Playa de Tamarit	1973-1977	Espigón	1	60 m	-1 m	
Playa de La Torre	1989-2001	Escollera	1	260 m		
	2 001	Dique exento	1	190 m	-2 m	
4	Playa del Estanyol	2001-2005	Espigón	1	25 m	-1 m
	Gola del Estanyol	1973-1977	Espigón	1	25 m	-2 m
	Playa Las Casas	1986-1989	Dique exento	1	140 m	-2 m
		1995-2001	Escollera	1	110 m	
	Playa El Cerezo	1989	Dique exento	1	150 m	-2 m
		1996	Espigones	2	70 m	-2 m
2001		Espigón	1	55 m	-2 m	
Gola de la Llosa	1995-2001	Espigones encauzamiento	2	70 m	-2 m	
5	Playa de Casablanca	1998	Escollera	1	500 m	
	Gola de Queralt	1981-89	Espigón	1	25 m	-1 m
	Playa de Corinto	1977-1981	Escollera	1	80 m	
	Gola del Estany de Quartell	1965-1972	Espigón	1	25 m	-0.5 m

Tabla 2.9 Obras existentes en los tramos 2, 3, 4 y 5.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>Tramo</b>	<b>Localización</b>	<b>Año construcción</b>	<b>Tipo de obra</b>	<b>Nº</b>	<b>Long. media</b>	<b>Prof. media</b>
6	<b>Puerto de Siles</b>	<b>1981-1986</b>	<b>Diques</b>			
7	Playa del Delta del Palancia	1981-1986	Escollera	1	220 m	
	Desembocadura sur del Palancia	1995-2005	Espigón	1	30 m	-0.5 m
	Playa de Sagunto	1995-2003	Espigón	1	150 m	-2 m
	<b>Puerto de Sagunto</b>	<b>1908-1947</b>	<b>Diques</b>			

Tabla 2.10 Obras existentes en los tramos 6 y 7.



## **Anejo 1 Capítulo 3 del Documento Preliminar**

### **DINÁMICA MARINA**



### 3. DINÁMICA MARINA

Cuando se planifica y diseña cualquier actuación en el litoral es imprescindible conocer los procesos y dinámicas que acontecen en la zona de estudio. Con dicho propósito se desarrolla el presente capítulo, en el que se estudia la dinámica marina que en mayor medida gobierna la zona de interés, analizando para ello las variaciones del nivel del mar, la acción del viento y la del oleaje.

#### 3.1. Nivel del mar

El conocimiento del nivel medio del mar y de su variación en cualquier punto de la costa es un aspecto determinante. Entre los diversos factores responsables de los cambios del nivel del mar en la zona objeto de estudio se deben tener en cuenta la marea astronómica y la marea meteorológica.

##### 3.1.1. Fuentes de datos

La información necesaria para la definición del nivel de mar se ha obtenido utilizando las siguientes fuentes de datos:

- El mareógrafo REDMAR de Valencia del Organismo Público Puertos del Estado (OPPE), cuyas series de datos horarios han sido suministradas por el Programa de Clima Marítimo y comprenden el período de tiempo desde 1992 a 2006. En la figura 3.1 se muestra la localización del mencionado mareógrafo en el Puerto de Valencia, así como las coordenadas en las que se ubica.
- La base de datos de reanálisis GOS 2.1 (Global Ocean Surges) del IH Cantabria para la determinación de la marea meteorológica. El modelo numérico utilizado en el reanálisis GOS es el modelo tridimensional ROMS (Regional Ocean Modeling System) desarrollado por el Ocean Modeling Group de Rutgers (<http://marine.rutgers.edu/po/index.php?model=roms>). Este modelo ha sido forzado con datos de viento y presión atmosférica de alta resolución (resolución espacial ~ 15 km y resolución temporal de 1 hora) procedentes del *downscaling* dinámico realizado en el marco del proyecto SEAWIND (Fita et al., 2009). Dicho reanálisis utiliza el modelo WRF-ARM forzado con datos del reanálisis ERA-Interim (1989-2009). En la figura 3.2 se muestra el dominio de simulación ejecutado en el GOS 2.1, indicándose en la tabla 3.1 las características de dicha malla de cálculo. Por otra parte, en la tabla 3.2 se presenta el período de simulación del reanálisis del GOS 2.1 (del año 1989 al año 2009, con una resolución temporal de 1 hora). En este trabajo se han utilizado la información hasta el año 2008 para ser consecuente, como se verá posteriormente, con la información utilizada para el oleaje.



DOCUMENTO FINAL



Figura 3.1. Ubicación del mareógrafo de Valencia dentro del Puerto.

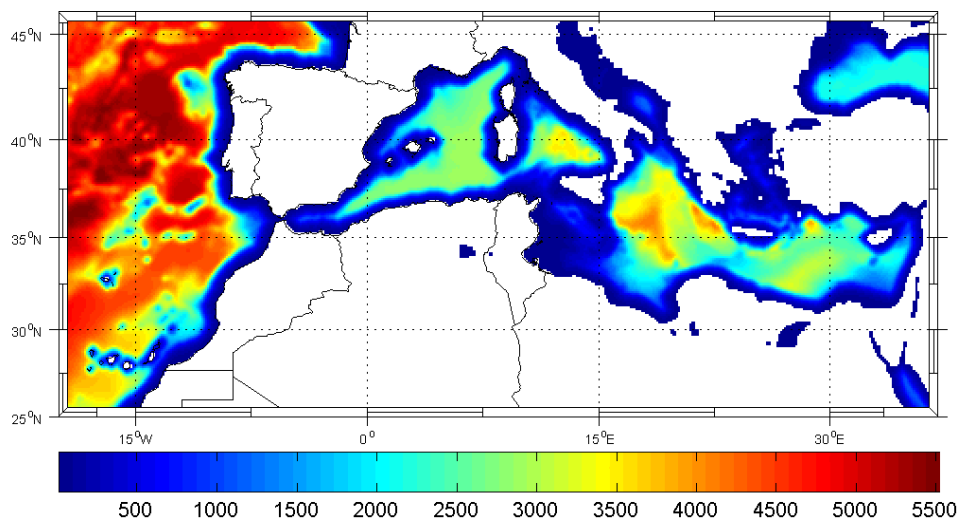


Figura 3.2. Dominio del GOS 2.1.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>Malla GOS</b>						
<b>Longitud mínima</b>	<b>Longitud máxima</b>	<b>Latitud mínima</b>	<b>Latitud máxima</b>	<b>Nº celdas X</b>	<b>Nº celdas Y</b>	<b>Resolución espacial (º)</b>
-20 W	37 E	25 N	46.0341 N	457	210	1/8

Tabla 3.1. Características de la malla de cálculo del GOS 2.1.

<b>Periodo de reanálisis</b>		
<b>Fecha inicial</b>	<b>Fecha final</b>	<b>Resolución temporal</b>
01/01/1989 18:00 UTC	30/12/2009 17:00 UTC	1 hora

Tabla 3.2. Período de reanálisis del GOS 2.1.

### **3.1.2. Niveles de referencia**

En la figura 3.3 se presentan las relaciones entre el Cero del Mareógrafo de Valencia (CM) ubicado 1 m por debajo del Cero del Puerto (CP) y otros niveles de referencia, destacando especialmente el Nivel Medio del Mar (NMM) en Valencia, localizado 1.07 m por encima del Cero del Mareógrafo (0.07 m por encima del Cero del Puerto). Por otra parte, téngase presente que el Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA) se ubica 0.022 m por debajo del Cero del Puerto.

## MAREÓGRAFO DE VALENCIA

CODIGO B.D. 3652

LONGITUD -0.330

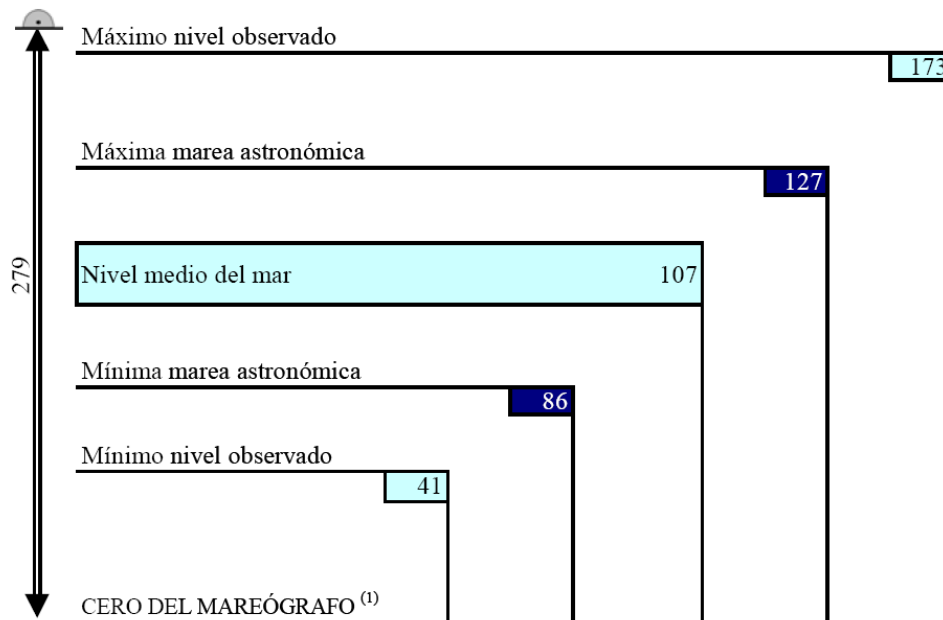
E

LATITUD 39.460

N

CERO 2.333 m. Bajo el Clavo SS (1.355 NMMA) CM=CP-1m

NGU 66 Referencia geodésica más cercana



Valores expresados en cm; con signo negativo si están por debajo del cero

(1) cero del mareógrafo situado 1 m por debajo del cero del puerto

### 3.1.3. Marea Astronómica

El nivel del mar total se separa en marea astronómica y marea meteorológica. La descripción y predicción de la marea astronómica en una localización dada puede hacerse mediante lo que se denomina análisis armónico de mareas. Dicho análisis se basa en que la marea astronómica está constituida por un número de componentes armónicas cuyos periodos están perfectamente establecidos, dado que coinciden con los períodos de algunos movimientos astronómicos relativos entre la Tierra, la Luna y el Sol.

Por tanto, a partir de un análisis de componentes armónicas del registro del mareógrafo de Valencia con el programa T-Tide, *Paulowicz et al., 2002*, se ha obtenido la serie de

**DOCUMENTO FINAL**

marea astronómica, determinándose las diferentes constantes armónicas de dicha marea, las cuales se presentan en la tabla 3.3.

En la tabla 3.3 se pueden consultar los valores de las componentes diurnas K1, O1, S1, P1, con el máximo en la componente K1, así como de las semidiurnas M2, S2, N2. Tal como se puede observar en la tabla 3.3, la marea astronómica en Valencia es mixta con predominio de componente diurna, y de pequeña amplitud, con valores máximos inferiores a 0,25 m.

Nombre	Frecuencia (ciclos/hora)	Amplitud (m)	Fase (°)
*SA	0.0001141	0.0638	303.19
SSA	0.0002282	0.019	213.72
MSM	0.0013098	0.0354	141.4
MM	0.0015122	0.0123	246.96
MSF	0.0028219	0.0079	69.48
MF	0.0030501	0.0035	203.08
ALP1	0.0343966	0.0011	333.57
2Q1	0.0357064	0.0012	322.14
SIG1	0.0359087	0.0019	200.34
*Q1	0.0372185	0.0032	65.66
RHO1	0.0374209	0.0003	333.33
*O1	0.0387307	0.0255	104.45
TAU1	0.0389588	0.0009	262.29
BET1	0.0400404	0.0015	258.38
NO1	0.0402686	0.0018	134.19
CHI1	0.040471	0.0011	103.79
*PI1	0.0414385	0.0054	85.7
*P1	0.0415526	0.0174	142.21
*S1	0.0416667	0.0258	265.68
*K1	0.0417807	0.0366	159.08
PSI1	0.0418948	0.0008	13.23
PHI1	0.0420089	0.0005	122.65
THE1	0.0430905	0.0007	129.35
J1	0.0432929	0.002	180.87
SO1	0.0446027	0.0009	221.89
OO1	0.0448308	0.0018	12.15
UPS1	0.046343	0.0015	119.89
OQ2	0.0759749	0.0001	195.45
EPS2	0.0761773	0.0004	160.3
2N2	0.0774871	0.0007	184.41
MU2	0.0776895	0.0007	162.98
*N2	0.0789992	0.0044	185.57
NU2	0.0792016	0.0008	160.81
H1	0.0803973	0.0007	176.74

**DOCUMENTO FINAL**

*M2	0.0805114	0.0177	193.9
H2	0.0806255	0.0003	92
MKS2	0.0807396	0.0009	188.35
LDA2	0.0818212	0.0006	196.92
L2	0.0820236	0.0004	237.54
*T2	0.0832193	0.002	325.4
*S2	0.0833333	0.005	128.01
*R2	0.0834474	0.0011	273.16
K2	0.0835615	0.0006	34.26
MSN2	0.0848455	0.0003	169
ETA2	0.0850736	0.0002	50.94
*MO3	0.1192421	0.0016	268.14
*M3	0.1207671	0.0018	166.19
SO3	0.122064	0.0005	220.12
MK3	0.1222921	0.0001	131.04
*SK3	0.1251141	0.0017	207.38
*MN4	0.1595106	0.001	317.06
*M4	0.1610228	0.0027	3.67
SN4	0.1623326	0	152.64
*MS4	0.1638447	0.0015	65.87
MK4	0.1640729	0.0001	74.27
*S4	0.1666667	0.0008	306.27
SK4	0.1668948	0.0006	248.5
2MK5	0.2028035	0.0001	90.26
*2SK5	0.2084474	0.0008	150.55
2MN6	0.2400221	0.0003	218.26
M6	0.2415342	0.0004	246.76
*2MS6	0.2443561	0.0005	288.93
2MK6	0.2445843	0.0003	249.99
2SM6	0.2471781	0.0001	302.52
MSK6	0.2474062	0.0001	168.76
3MK7	0.2833149	0.0001	238.43
M8	0.3220456	0.0004	128.43

Tabla 3.3. Constantes armónicas de la marea astronómica en Valencia.

En las figuras 3.4 y 3.5 se presentan las funciones de densidad y de distribución de la marea astronómica. Tal y como se observa en la figura 3.4, no existe una pleamar ni bajamar claramente diferenciadas. Por otra parte, de la figura 3.5 se comprueba que el 75 % del tiempo el nivel de marea astronómica es inferior a 0,11 m por encima del Ceró del Puerto.

DOCUMENTO FINAL

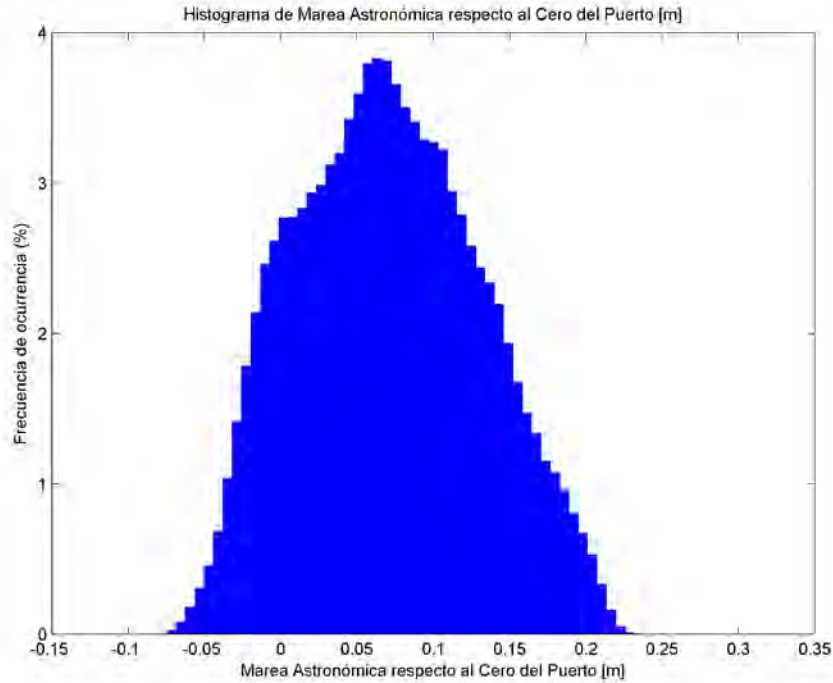


Figura 3.4. Histograma de la marea astronómica referida al Cero del Puerto (m)

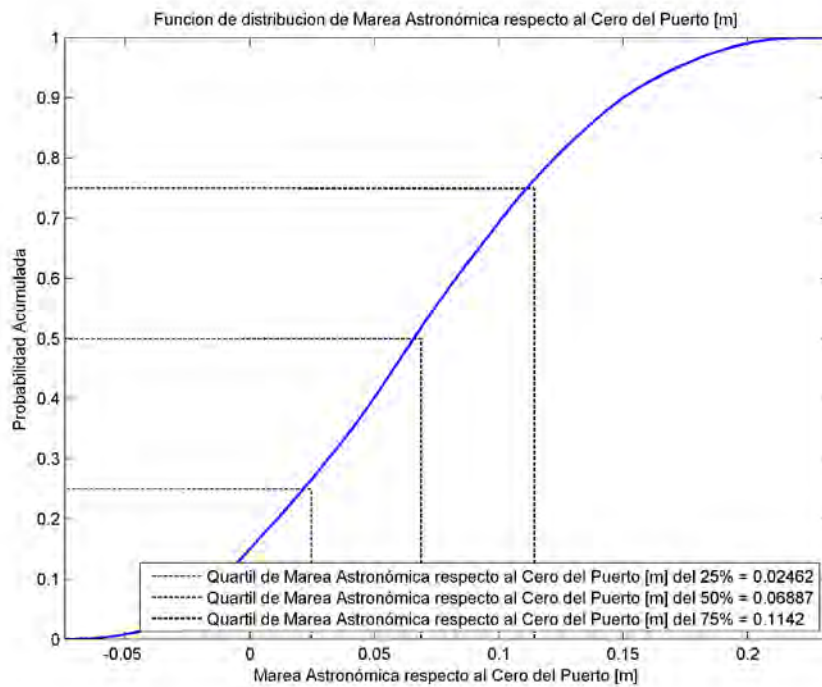


Figura 3.5. Función de distribución de la marea astronómica referida al Cero del Puerto (m)

### **3.1.4. Marea Meteorológica**

Como ya ha sido comentado, el nivel del mar total se separa en marea astronómica y marea meteorológica. La marea meteorológica, asociada a las perturbaciones atmosféricas, tiene un carácter aleatorio, por lo que será necesario definir su distribución estadística. Para la determinación de la marea meteorológica se ha utilizado la base de datos GOS 2.1 del IH Cantabria, utilizándose el punto con coordenadas longitud  $0.125^{\circ}$  y latitud  $39.621^{\circ}$ .

La calibración de la marea meteorológica del GOS 2.1 se ha efectuado teniendo en consideración los residuos REDMAR del mareógrafo de Valencia, utilizándose el período común de ambas bases de datos. A ambas bases de datos se le ha eliminado el nivel medio mensual, realizándose el calibrado sobre los valores sin dicho nivel. En la corrección de la serie de marea meteorológica de 1989 a 2008 se ha tenido en consideración lo anterior, eliminándose el nivel medio mensual para aplicar los factores de corrección y luego añadiéndose el mencionado nivel medio.

Con el objetivo de establecer la corrección de la marea meteorológica se ha realizado un análisis cuantil-cuantil (qqplot) de la misma, comparándose los valores del mareógrafo frente a los del reanálisis GOS 2.1. Además, se han diferenciado dos tramos: un tramo correspondiente al régimen medio (hasta el 99,5 %) y otro al régimen extremal (superior al 99,5 %). En las figuras 3.6 y 3.7 se presentan los ajustes obtenidos para cada uno de los tramos.

Una vez calibrada la marea meteorológica con las funciones de tipo lineal indicadas en las figuras 3.6 y 3.7 para cada uno de los tramos, se efectuó una evaluación de la bondad de la calibración realizada. Con este fin, en la figura 3.8 se presenta la marea meteorológica del mareógrafo frente a la correspondiente marea del GOS 2.1 calibrado y sin calibrar. A la vista de esta figura se aprecia la mejora obtenida con la calibración efectuada. Merece la pena comentar que la marea meteorológica calibrada alcanza valores máximos inferiores a 0,5 m, siendo por lo tanto en la zona objeto de estudio de mayor importancia que la marea astronómica.

En las figuras 3.9 y 3.10 se presentan las funciones de densidad y de distribución de la marea meteorológica calibrada. Tal y como puede ser observado en la figura 3.9, el nivel de marea meteorológica más probable tiene un valor de -0.1 m. Por otra parte, de la figura 3.10 se comprueba que el 75 % del tiempo el nivel de marea meteorológica es inferior a -0,035 m.

**DOCUMENTO FINAL**

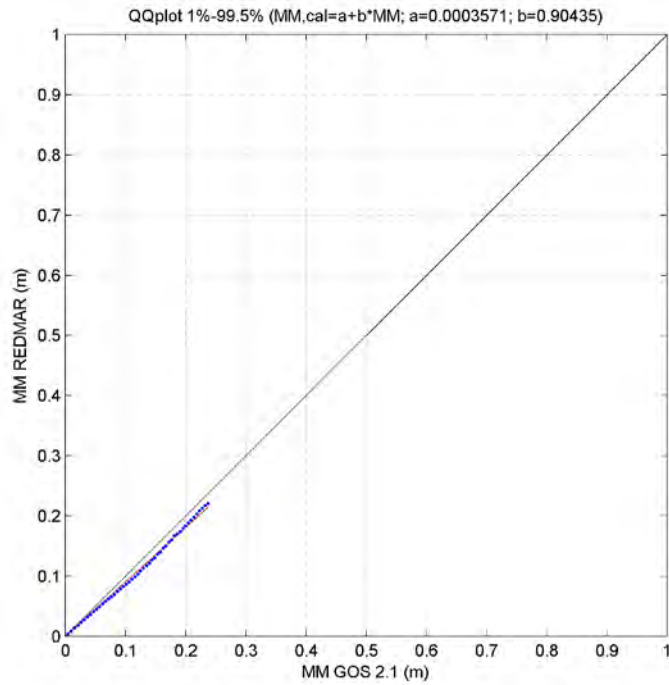


Figura 3.6. Calibración de la marea meteorológica en el rango de probabilidad inferior al 99.5 %.

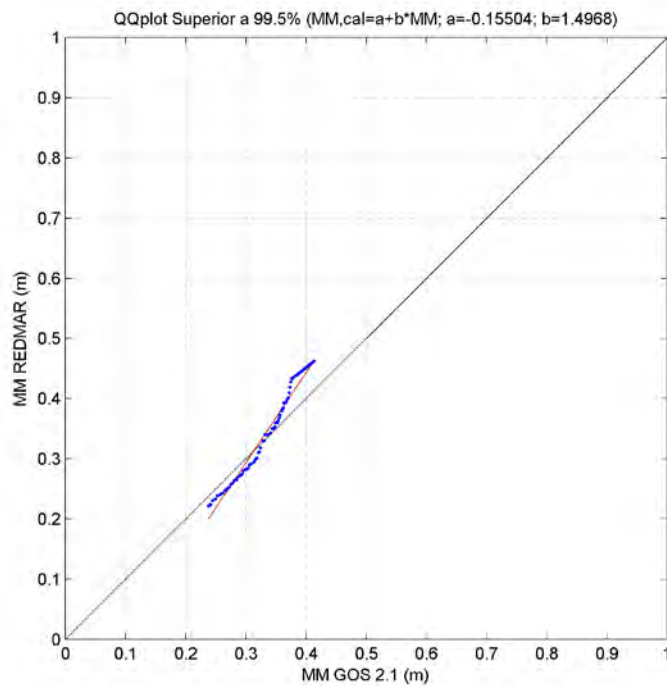


Figura 3.7. Calibración de la marea meteorológica en el rango de probabilidad superior al 99.5 %.



**DOCUMENTO FINAL**

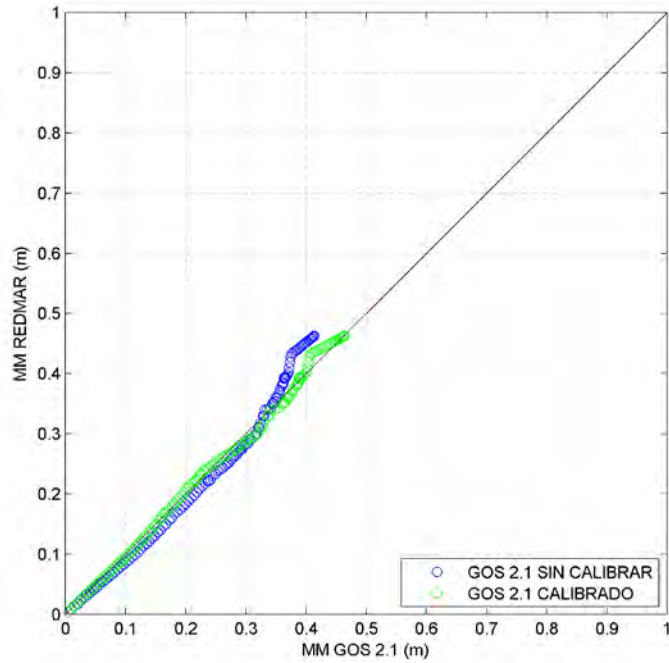


Figura 3.8. Verificación de la calibración efectuada de la marea meteorológica.

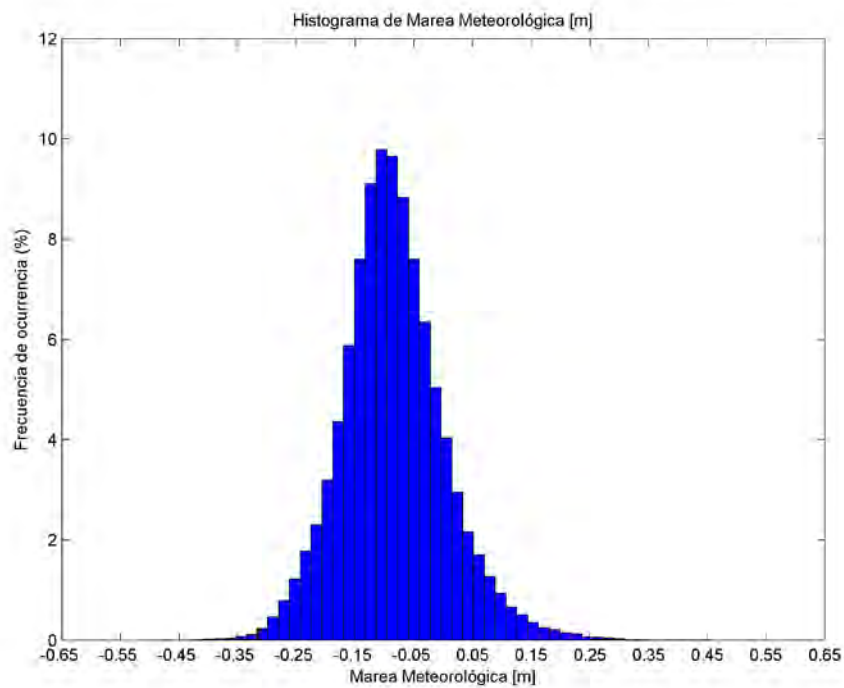


Figura 3.9. Histograma de la marea meteorológica calibrada (m).

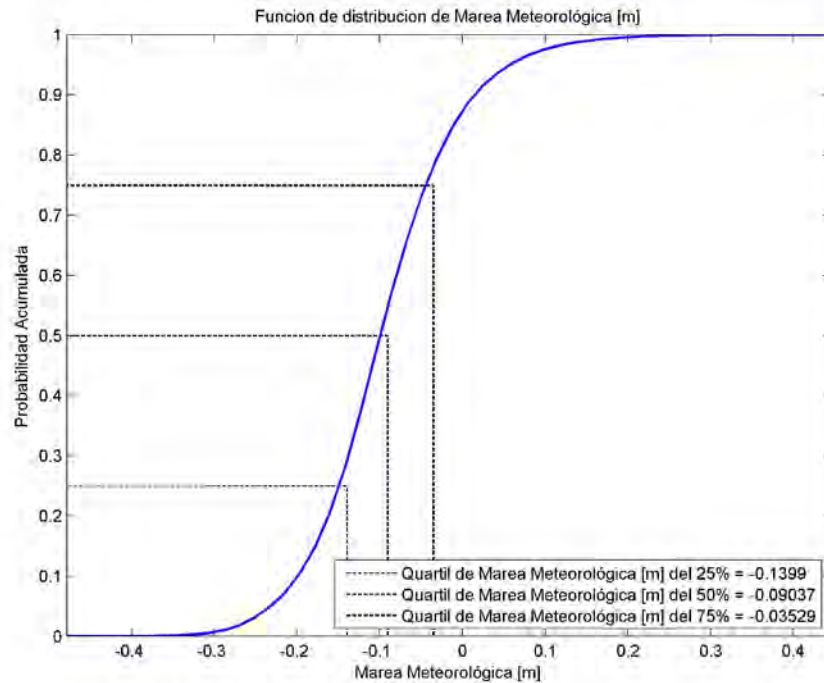


Figura 3.10. Función de distribución de la marea meteorológica calibrada (m).

### **3.1.5. Nivel del mar total**

Una vez evaluada la marea astronómica, así como calibrada la marea meteorológica, se determina el nivel del mar total como suma de ambos niveles.

#### ***3.1.5.1. Régimen medio del nivel del mar total***

En la figura 3.11 se ha representando el régimen medio del nivel del mar total con respecto a l C ero d el Puerto (C P). D icho r égimen h a s ido a justado en e l ra ngo d e probabilidad acumulada 20%-99.5 %. Se puede observar punteados los datos, así como el ajuste (línea) de los mismos a la distribución normal, indicándose los parámetros de ajuste de esta distribución. Tal y como puede apreciarse, el 98 % del tiempo el nivel del mar total con respecto al Cero del Puerto es inferior a 0,25 m.

**DOCUMENTO FINAL**

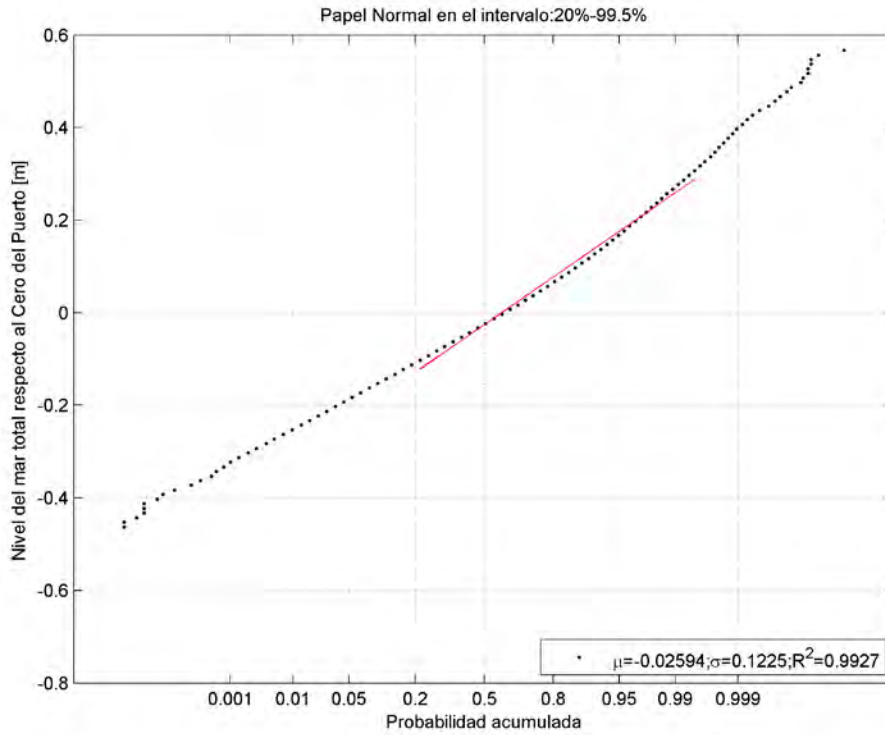


Figura 3.11. Régimen medio del nivel del mar total respecto al Cero del Puerto [m].

**3.1.5.2. Régimen extremal del nivel del mar total**

Con el fin de obtener los regímenes extremales, se debe tener en cuenta que los valores extremos se ajustan a una de estas tres distribuciones, Gumbel, Fréchet y Weibull, según el teorema de las tres clases (Fisher y Tippett, 1928). Estos tres tipos pueden ser combinados en una única expresión denominada distribución de valores extremos generalizados (GEV). Para determinar los regímenes extremales, la distribución de extremos generalizada se puede aplicar, bien para los valores máximos anuales, o bien para todos los valores que superan un umbral determinado (POT).

El régimen extremal del nivel del mar total se ha establecido al aplicar la distribución de extremos generalizada a los valores máximos anuales, presentándose dicho régimen en la figura 3.12. A partir de la figura 3.12 se establece que el nivel del mar total con periodo de retorno de 5 años corresponde a 0,47 metros sobre el Cero del Puerto.

**DOCUMENTO FINAL**

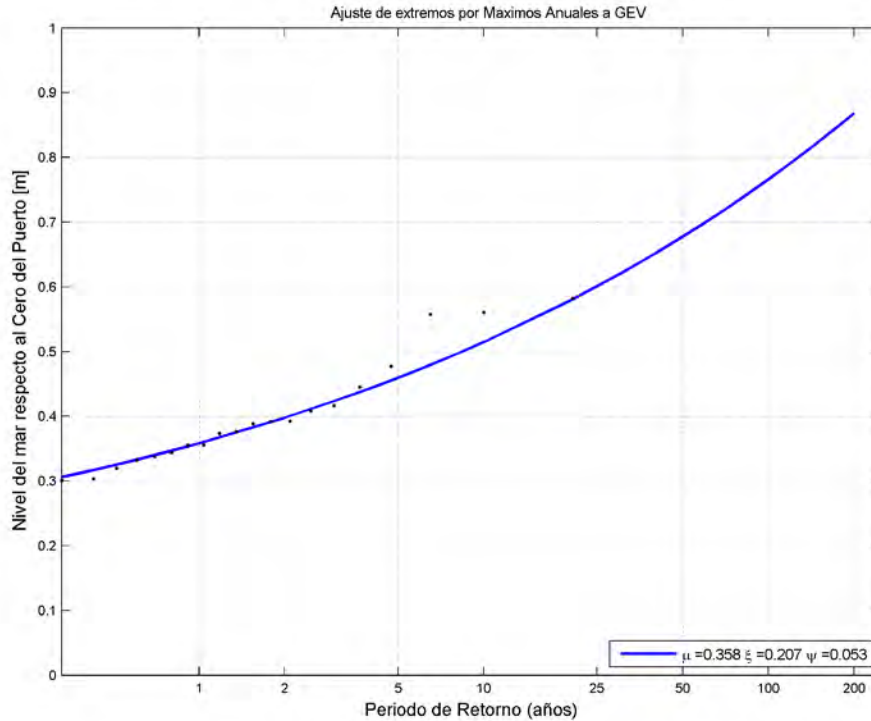


Figura 3.12. Régimen extremal del nivel del mar total respecto al Cero del Puerto [m].

## 3.2. Viento

### 3.2.1 Fuentes de datos

En el presente trabajo el viento se ha obtenido de la base de datos ERA-INTERIM / SEAWIND. La base de datos de viento SEAWIND de reanálisis regional, realizada por la Universidad de Cantabria, se ha obtenido mediante downscaling dinámico utilizando el modelo WRF-ARW 3.1.1 (Weather Research and Forecasting, WRF, y Advanced Research dynamical solver, ARW) a partir del reanálisis atmosférico ERA-Interim (desde 1989 hasta la actualidad) desarrollado por el European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

Dicha base de datos proporciona datos de viento medio y máximo a 10 m de superficie y de presión atmosférica a nivel del mar entre los años 1989 y 2009 con resolución temporal horaria y resolución espacial cada 15 km aproximadamente, en una región sur-europea que cubre parte del océano Atlántico y del Mar Mediterráneo (véase figura 3.13), sobre rejilla cónica Lambert.

DOCUMENTO FINAL

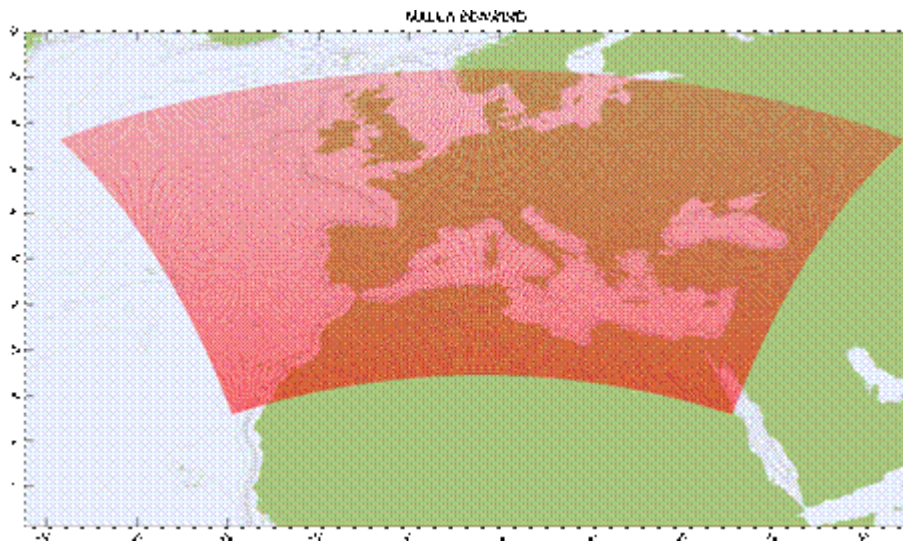


Figura 3.13. Malla de resultados de la base de datos de viento SEAWIND.

La caracterización del viento en la zona objeto de estudio se ha efectuado obteniéndose el mismo en una serie de puntos, los cuales aparecen ubicados en la figura 3.14, indicándose las coordenadas de los 6 puntos en la tabla 3.4.



Figura 3.14. Localización de los puntos de cálculo de viento.

**DOCUMENTO FINAL**

Punto	Longitud ° E	Latitud ° N
1	-0.125	39.375
2	0.125	39.625
3	0.375	39.875
4	-0.125	39.5
5	0	39.75
6	0.25	39.875

Tabla 3.4. Localización de los puntos de cálculo del viento (coordenadas geográficas en WGS84).

### 3.2.2 Regímenes medios de la velocidad del viento

Con los datos indicados previamente se han determinado los regímenes medios anuales de la velocidad del viento, ajustándose los mismos a la distribución óptima entre las distribuciones normal, log-normal, Gumbel de máximos y Weibull de mínimos. En las siguientes figuras se presentan los regímenes medios escalares de la velocidad del viento en los distintos puntos; se pueden observar punteados los valores de la velocidad del viento, así como el ajuste (línea) de estos valores a una distribución Weibull de mínimos para los puntos 1, 2 y 4 y Gumbel de máximos para los puntos 3, 5 y 6. En dichas figuras también se muestra las rosas de vientos, las cuales aportan información de la dirección de procedencia del mismo (véase figuras 3.15 a 3.20 para cada uno de los 6 puntos).

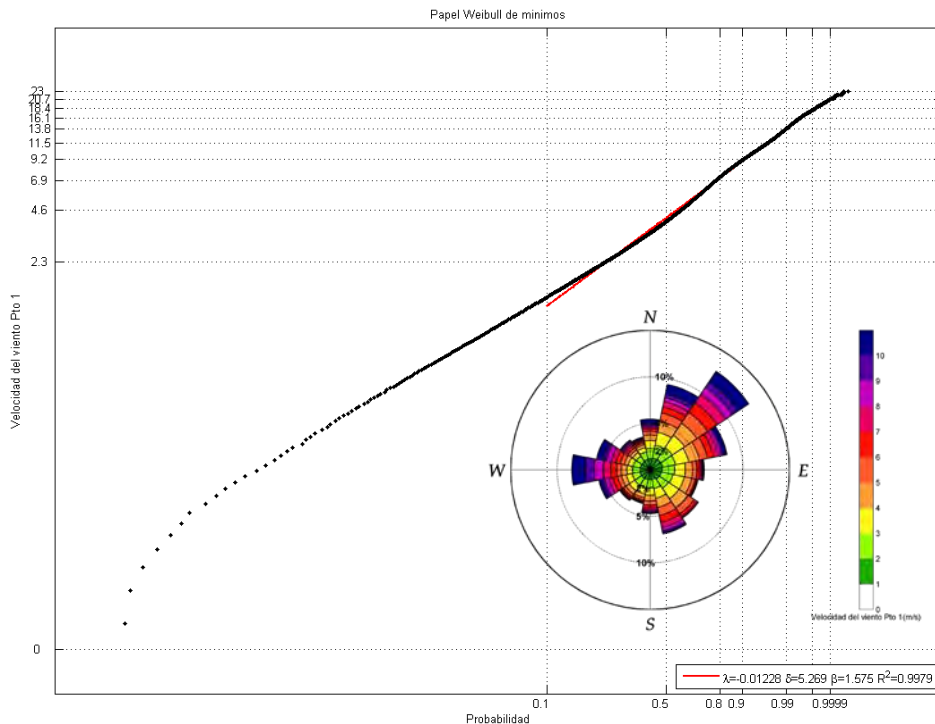


Figura 3.15. Régimen medio escalar y rosa de la velocidad del viento en el punto 1.

**DOCUMENTO FINAL**

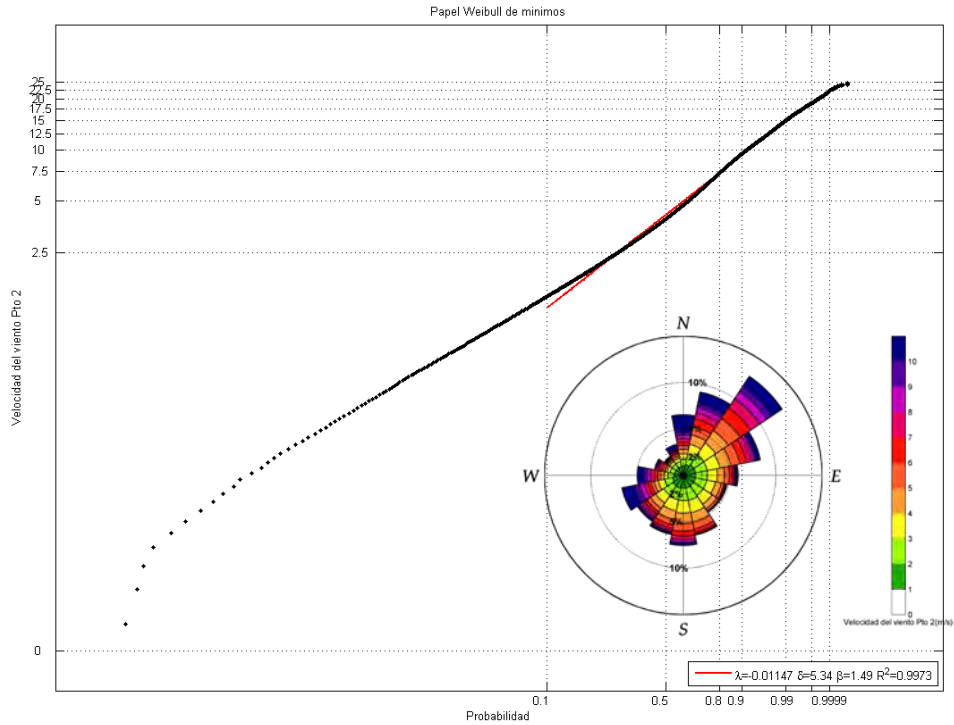


Figura 3.16. Régimen medio escalar y rosa de la velocidad del viento en el punto 2.

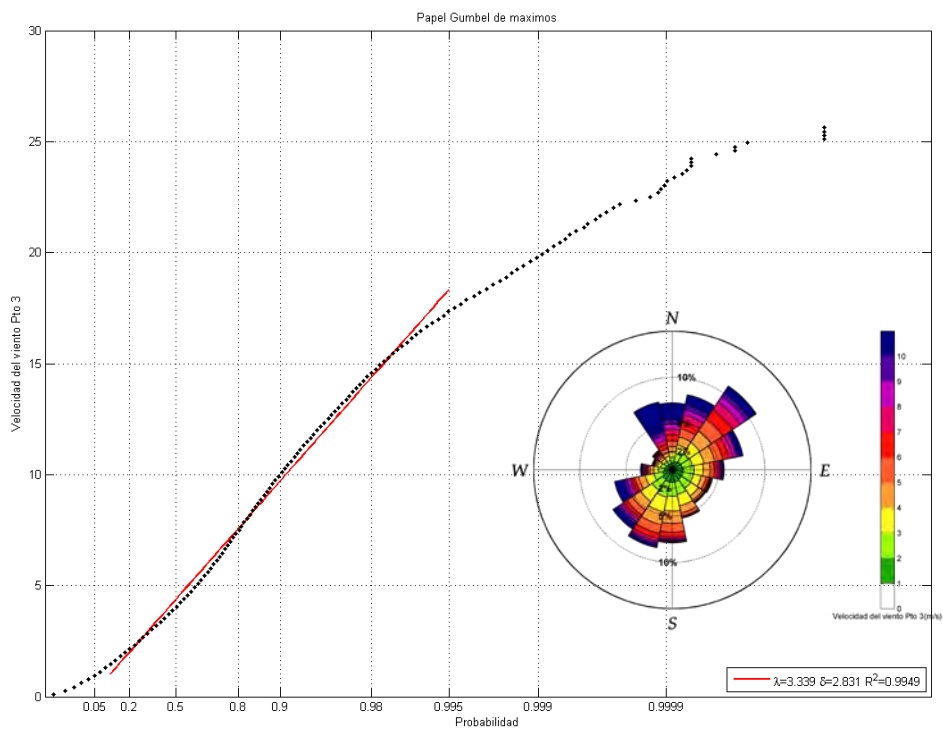


Figura 3.17. Régimen medio escalar y rosa de la velocidad del viento en el punto 3.

DOCUMENTO FINAL

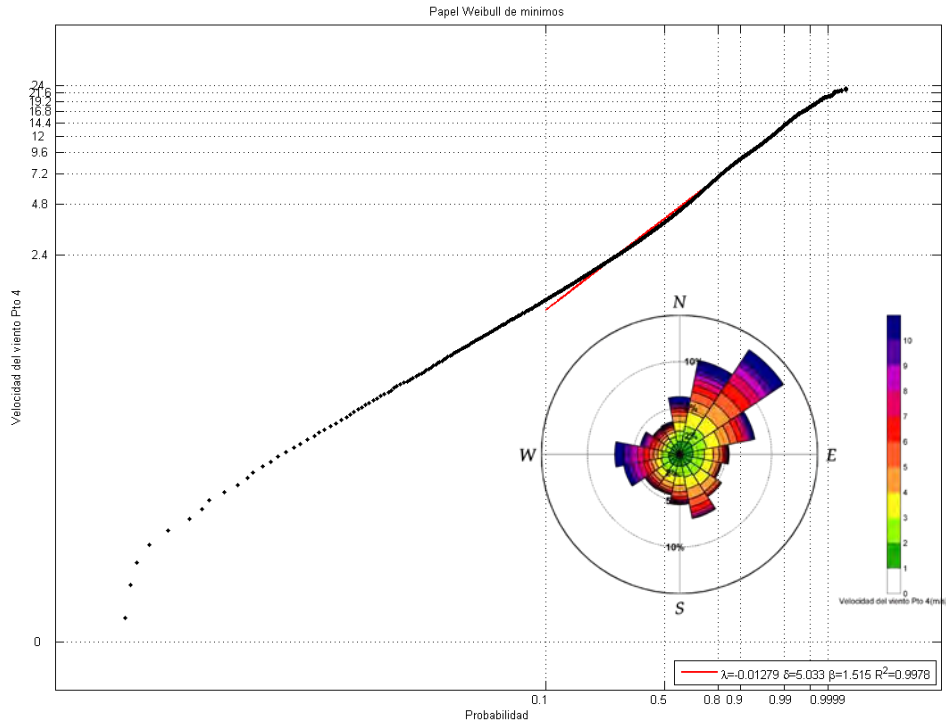


Figura 3.18. Régimen medio escalar y rosa de la velocidad del viento en el punto 4.

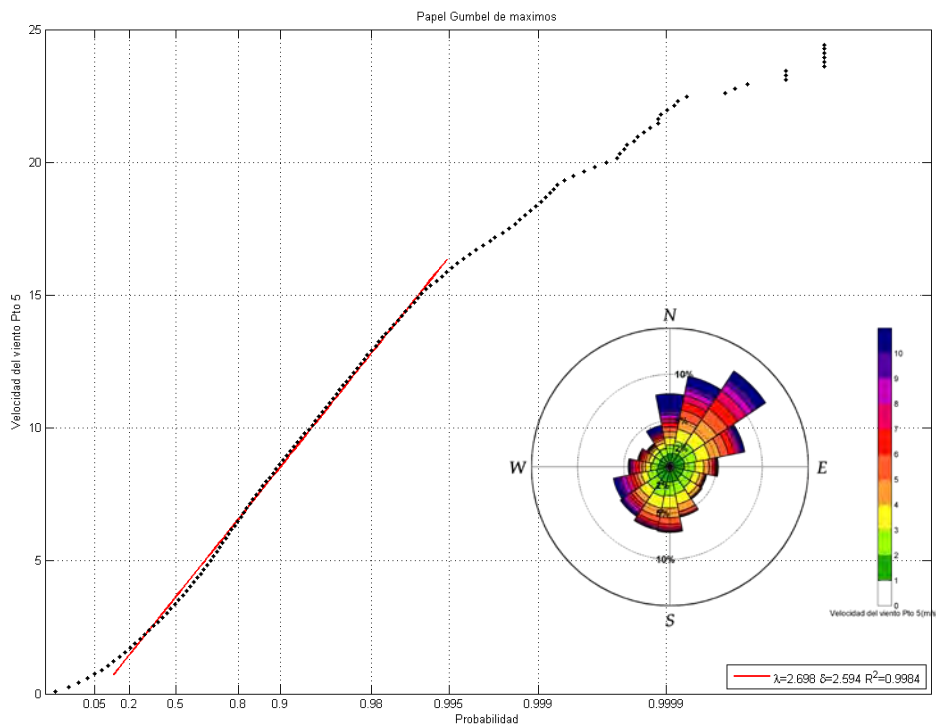


Figura 3.19. Régimen medio escalar y rosa de la velocidad del viento en el punto 5.



**DOCUMENTO FINAL**

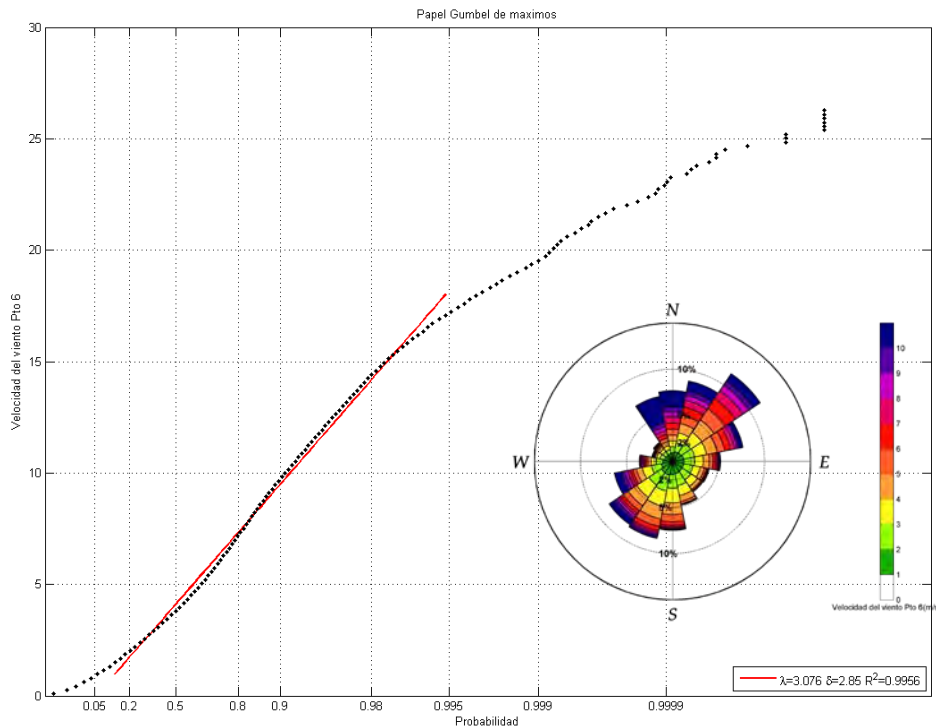


Figura 3.20. Régimen medio escalar y rosa de la velocidad del viento en el punto 6.

Del análisis de las figuras 3.15 a 3.20 se observan dos comportamientos claramente diferenciados en lo que se refiere a las direcciones predominantes del viento. Por tanto se pueden establecer dos grupos de puntos en función de su posición geográfica.

En el primer grupo, conformado por los puntos 1, 2 y 4 situados al sur de la latitud 39.7° N, se observan 3 familias de vientos NE, W y SSE muy marcadas en los puntos 1 y 2 mientras que en el punto 4, de transición al otro grupo de puntos, la familia W gira a WSW y la SSE gira a S.

En el segundo grupo, compuesto por los puntos situados al norte de la latitud 39.7° N, también existen dos puntos, 3 y 6 con comportamiento casi idéntico los cuales presentan dos familias de vientos NE y SSW con una importante presencia de vientos del N, mientras que en el punto 5 la familia SSW gira hacia el S y no hay tanta presencia de vientos del N, ya que éste también es un punto de transición entre los dos grupos de puntos.

Además, el comportamiento marcadamente diferente de los dos grupos de puntos mencionados se refuerza a la vista de las distribuciones óptimas de ajuste de regímenes medios ya que coincide que en todos los puntos pertenecientes al primer grupo, el de los puntos más meridionales, el ajuste óptimo del régimen escalar medio de velocidad de viento se lleva a cabo con una distribución Weibull de mínimos, mientras que para todos los puntos del segundo grupo, el de los más septentrionales, el ajuste óptimo se lleva a cabo con una función de distribución tipo Gumbel de máximos.

**DOCUMENTO FINAL**

En la tabla 3.5 se muestran los cuantiles de velocidad de viento del 25, 50 y 75 % de la función de distribución de los 6 puntos.

Puntos	25%	50%	75%
1	2.39	3.96	6.47
2	2.34	3.95	6.52
3	2.54	4.13	6.71
4	2.23	3.75	6.18
5	2.07	3.51	5.87
6	2.39	3.91	6.45

Tabla 3.5. Cuantiles de velocidad de viento (m/s).

De la anterior tabla y de las figuras de los regímenes medios se observa que el punto 3 es el que muestra mayores velocidades en su régimen medio mientras que el punto 5 el que muestra menores, resultando el resto de puntos muy similares entre sí a nivel energético. De ahí se pueden establecer 3 distintas regiones en lo que se refiere a la intensidad del viento en función de la distancia a la costa. El punto 3, el más alejado a la costa pertenecería a la región más energética, mientras que el punto 5, el más cercano a la costa, pertenecería a la región menos energética, quedando el resto de puntos en una región intermedia.

En resumen, se observan dos grupos de puntos en lo que se refiere a las direcciones predominantes del viento función de la posición geográfica norte-sur de los puntos y 3 regiones en lo que se refiere a la intensidad del viento en régimen medio función de la proximidad de los puntos a la costa.

En adelante, se analizará la caracterización por sectores direccionales de los regímenes medios únicamente en los puntos más energéticos dentro de cada uno de los grupos establecidos. Como representación del primer grupo, el de los puntos meridionales, se analizará el punto 1, mientras que en representación del grupo septentrional se analizará el punto 3.

En las tablas 3.6 y 3.7 se presentan los porcentajes de presentación de cada sector direccional de viento para los puntos 1 y 3, respectivamente.

**DOCUMENTO FINAL**

Dirección	Sector	Porcentaje del tiempo %
N	$\theta > 348.75^\circ \theta \leq 11.25^\circ$	5.46
NNE	$11.25^\circ < \theta \leq 33.75^\circ$	9.36
NE	$33.75^\circ < \theta \leq 56.25^\circ$	12.75
ENE	$56.25^\circ < \theta \leq 78.75^\circ$	8.43
E	$78.75^\circ < \theta \leq 101.25^\circ$	5.83
ESE	$101.25^\circ < \theta \leq 123.75^\circ$	5.25
SE	$123.75^\circ < \theta \leq 146.25^\circ$	6.23
SSE	$146.25^\circ < \theta \leq 168.75^\circ$	7.01
S	$168.75^\circ < \theta \leq 191.25^\circ$	4.68
SSW	$191.25^\circ < \theta \leq 213.75^\circ$	3.68
SW	$213.75^\circ < \theta \leq 236.25^\circ$	3.94
WSW	$236.25^\circ < \theta \leq 258.75^\circ$	5.61
W	$258.75^\circ < \theta \leq 281.25^\circ$	8.42
WNW	$281.25^\circ < \theta \leq 303.75^\circ$	5.88
NW	$303.75^\circ < \theta \leq 326.25^\circ$	3.87
NNW	$326.25^\circ < \theta \leq 348.75^\circ$	3.61

Tabla 3.6. Porcentaje de presentación de vientos por sectores direccionales en el punto 1.

Dirección	Sector	Porcentaje del tiempo %
N	$\theta > 348.75^\circ \theta \leq 11.25^\circ$	7.24
NNE	$11.25^\circ < \theta \leq 33.75^\circ$	8.27
NE	$33.75^\circ < \theta \leq 56.25^\circ$	10.89
ENE	$56.25^\circ < \theta \leq 78.75^\circ$	7.78
E	$78.75^\circ < \theta \leq 101.25^\circ$	5.58
ESE	$101.25^\circ < \theta \leq 123.75^\circ$	4.43
SE	$123.75^\circ < \theta \leq 146.25^\circ$	4.32
SSE	$146.25^\circ < \theta \leq 168.75^\circ$	5.31
S	$168.75^\circ < \theta \leq 191.25^\circ$	7.87
SSW	$191.25^\circ < \theta \leq 213.75^\circ$	8.56
SW	$213.75^\circ < \theta \leq 236.25^\circ$	7.70
WSW	$236.25^\circ < \theta \leq 258.75^\circ$	6.35
W	$258.75^\circ < \theta \leq 281.25^\circ$	3.42
WNW	$281.25^\circ < \theta \leq 303.75^\circ$	2.24
NW	$303.75^\circ < \theta \leq 326.25^\circ$	2.57
NNW	$326.25^\circ < \theta \leq 348.75^\circ$	7.47

Tabla 3.7. Porcentaje de presentación de vientos por sectores direccionales en el punto 3.

Como ya se ha mencionado anteriormente, en el punto 1 se observa la presencia de 3 familias de vientos (NE, W y SSE), mientras que en el punto 3 se observan solo dos familias (NE y SSW) resultando en ambos puntos la dirección NE la más habitual aunque

**DOCUMENTO FINAL**

se puede observar la existencia de vientos en prácticamente cualquier dirección. Son precisamente los vientos del primer cuadrante los que más importancia tienen en la zona de estudio.

En las figuras 3.21 a 3.28 se presentan los regímenes medios direccionales de la velocidad del viento por sectores de  $22,5^\circ$ . Asimismo, en dichas figuras se presentan los parámetros de ajuste de las distribuciones utilizadas.

En el punto 1 el ajuste se ha realizado con la distribución Weibull de mínimos en todos los casos, mientras que en el punto 3 se ha empleado la distribución de Gumbel de máximos en los vientos procedentes del primer y segundo cuadrante y la de Weibull de mínimos en el resto de los sectores.

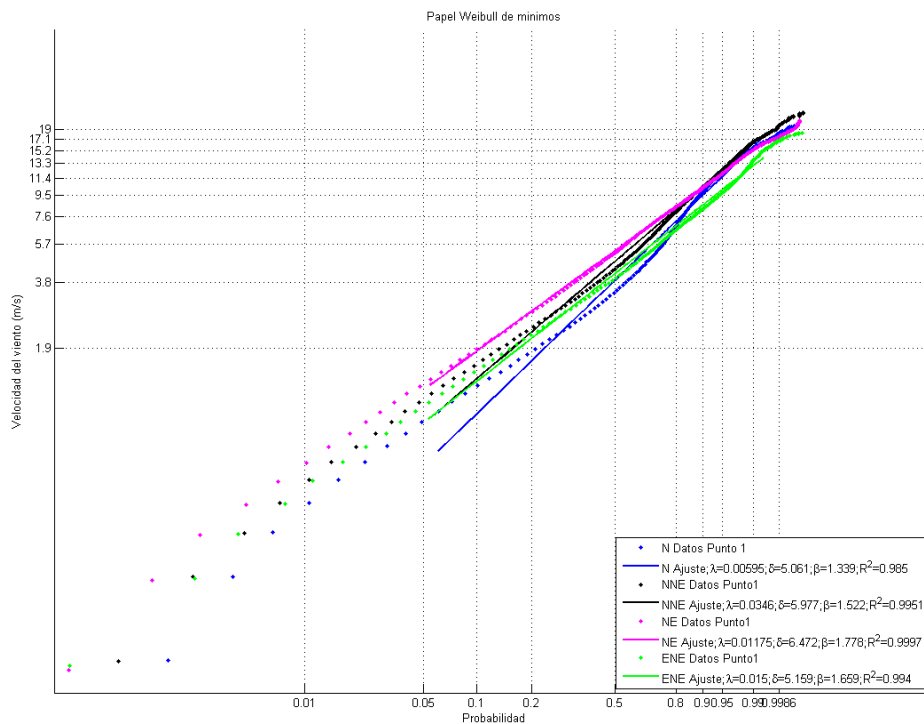


Figura 3.21. Régimen direccional medio de la velocidad del viento en el punto 1 sectores N, NNE, NE y ENE.

DOCUMENTO FINAL

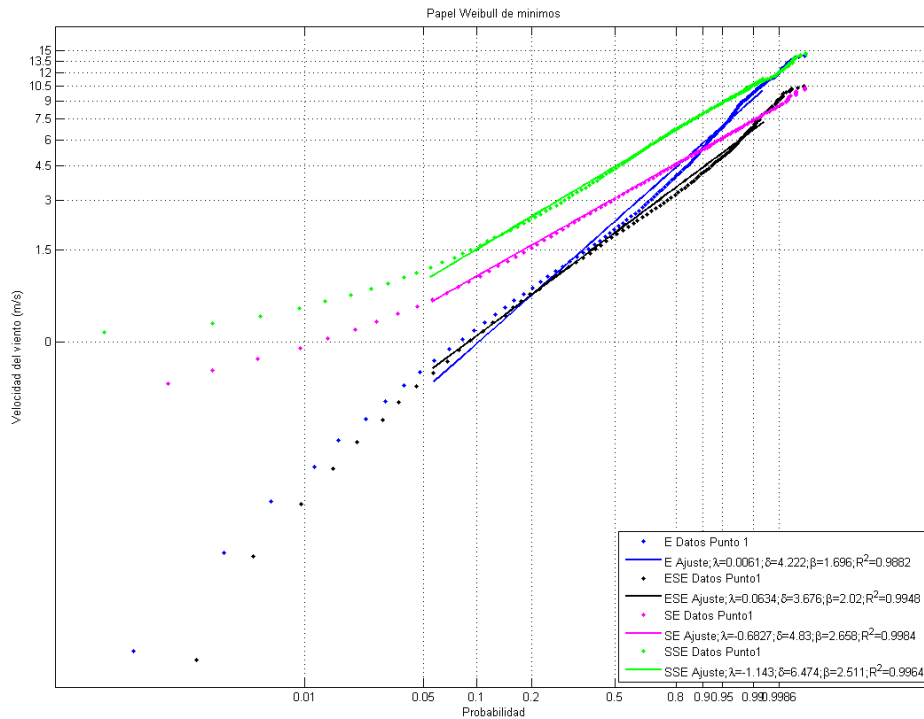


Figura 3.22. Régimen direccional medio de la velocidad del viento en el punto 1 sectores E, ESE, SE y SSE.

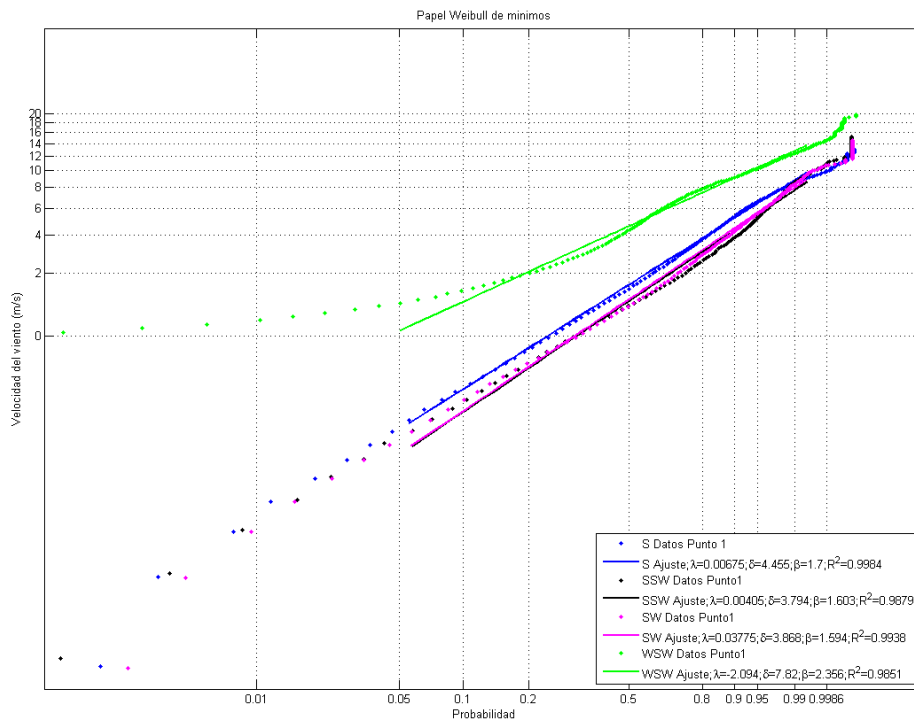


Figura 3.23. Régimen direccional medio de la velocidad del viento en el punto 1 sectores S, SSW, SW y WSW.

DOCUMENTO FINAL

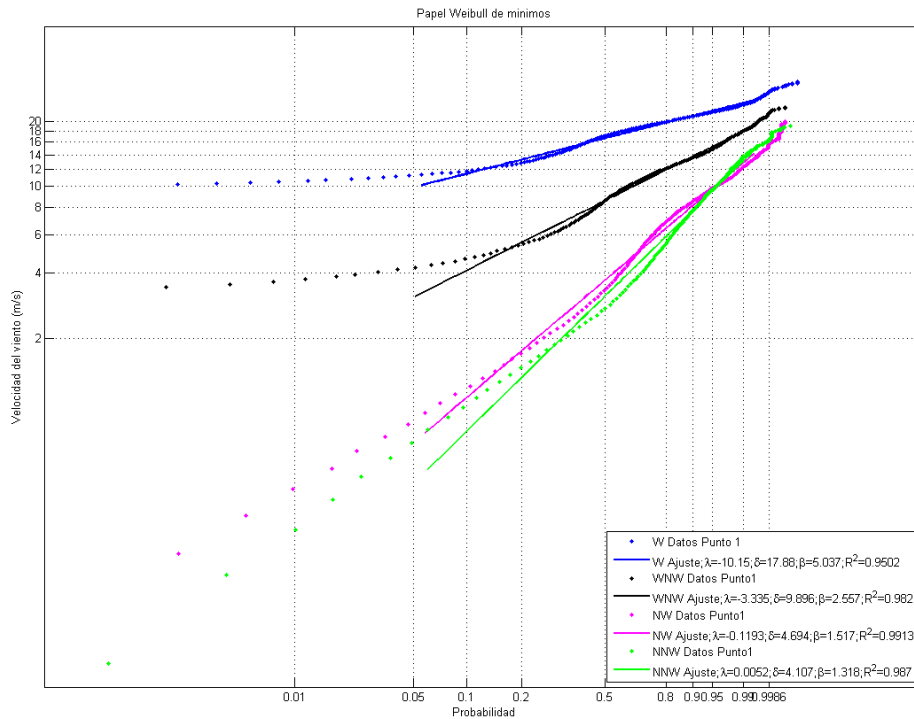


Figura 3.24. Régimen direccional medio de la velocidad del viento en el punto 1 sectores W, WNW, NW y NNW.

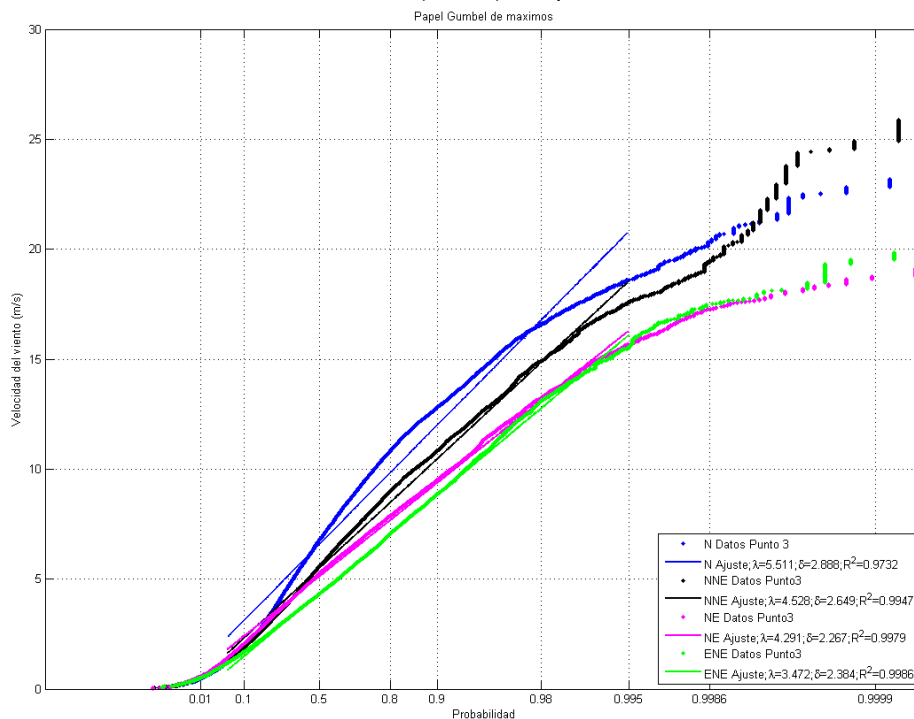


Figura 3.25. Régimen direccional medio de la velocidad del viento en el punto 3 sectores N, NNE, NE y ENE.

DOCUMENTO FINAL

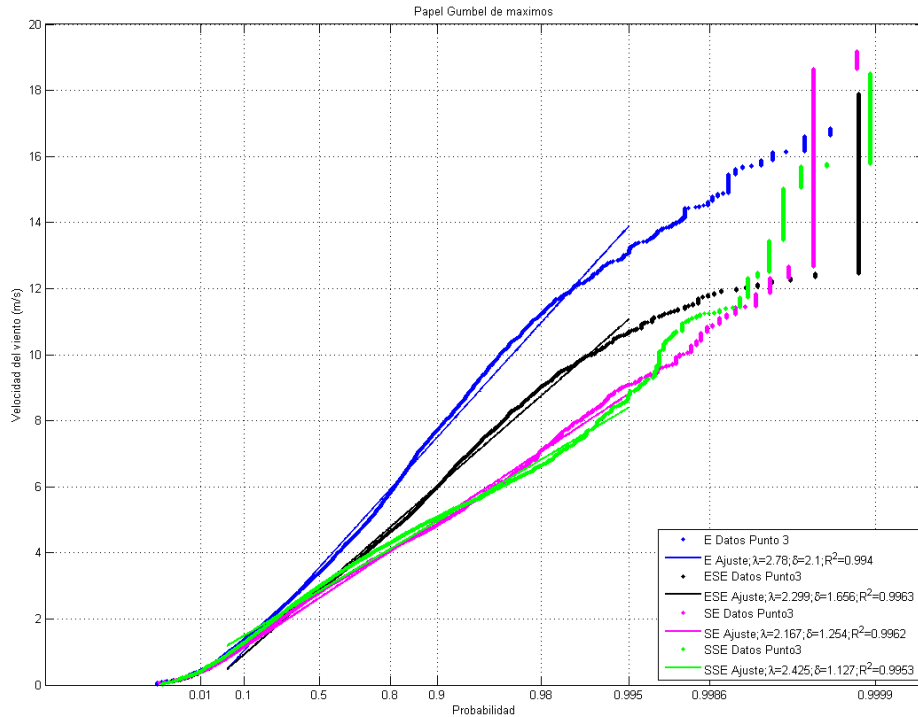


Figura 3.26. Régimen direccional medio de la velocidad del viento en el punto 3 sectores E, ESE, SE y SSE.

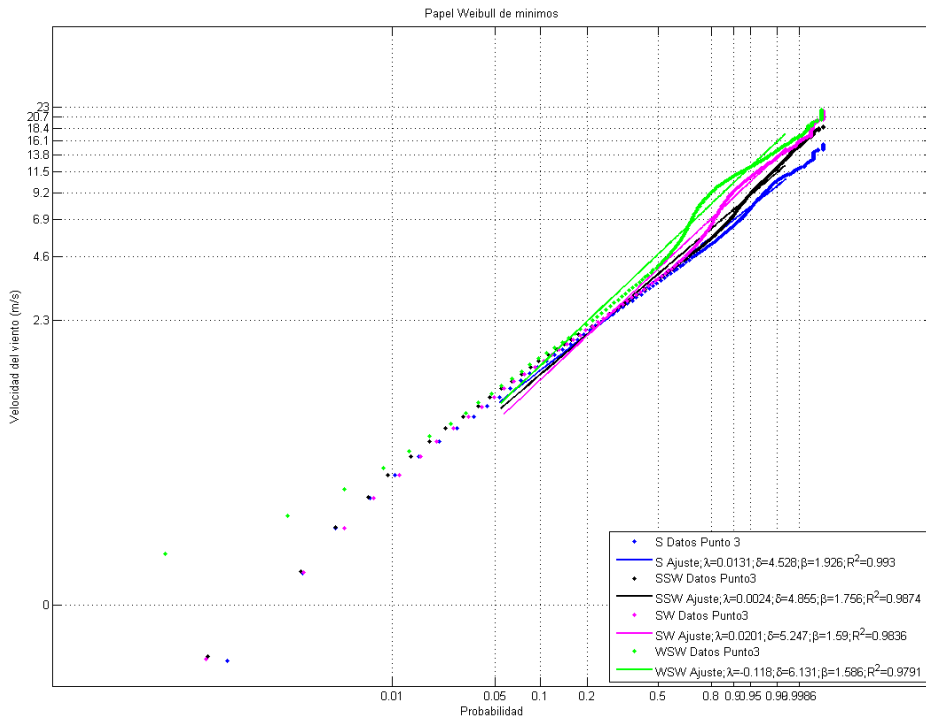


Figura 3.27. Régimen direccional medio de la velocidad del viento en el punto 3 sectores S, SSW, SW y WSW.

**DOCUMENTO FINAL**

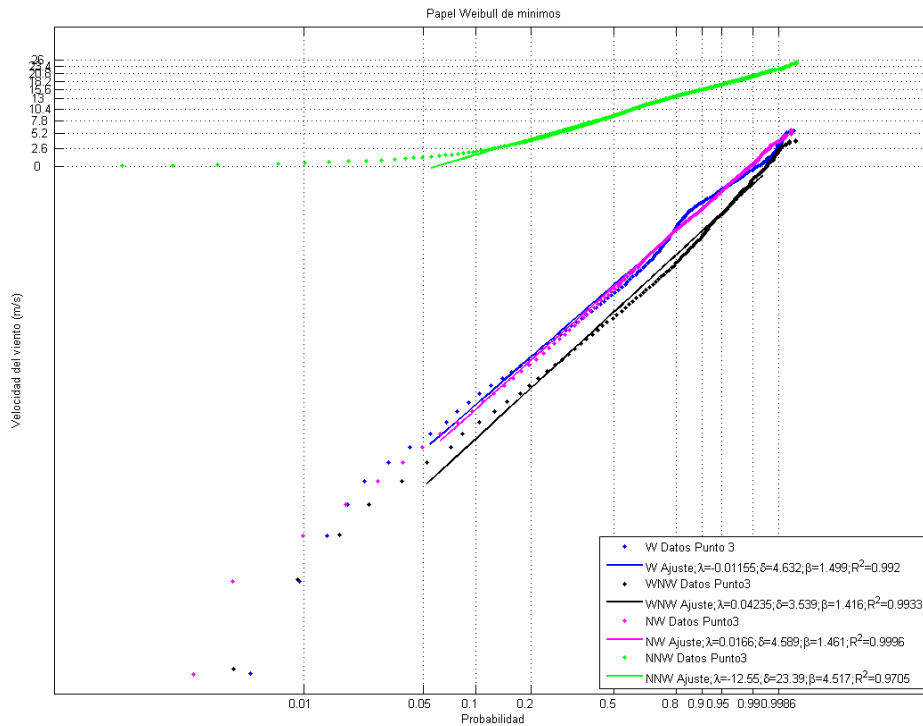


Figura 3.28. Régimen direccional medio de la velocidad del viento en el punto 3 sectores W, WNW, NW y NNW.

### **3.2.3 Regímenes extremales de la velocidad del viento**

Los valores extremos de la velocidad del viento se han ajustado a una de las siguientes tres distribuciones, Gumbel, Fréchet y Weibull, según el teorema de las tres colas (*Fisher y Tippett, 1928*). En estos tres tipos pueden ser combinados en una única expresión denominada distribución de valores extremos generalizados (GEV). Así pues, se ha aplicado la distribución de extremos generalizada a la máxima intensidad de viento anual para la determinación del régimen extremal escalar y los regímenes extremales direccionales de la velocidad del viento en profundidades indefinidas.

En las figuras 3.29 a 3.34 se presentan los regímenes extremales escalares de la velocidad del viento en los 6 puntos, indicándose en la gráfica los parámetros de ajuste de la distribución de valores extremos generalizada (GEV). Se pueden observar punteados los datos de la velocidad del viento máximos anuales, así como el ajuste (línea) de estos valores a la distribución óptima.



DOCUMENTO FINAL

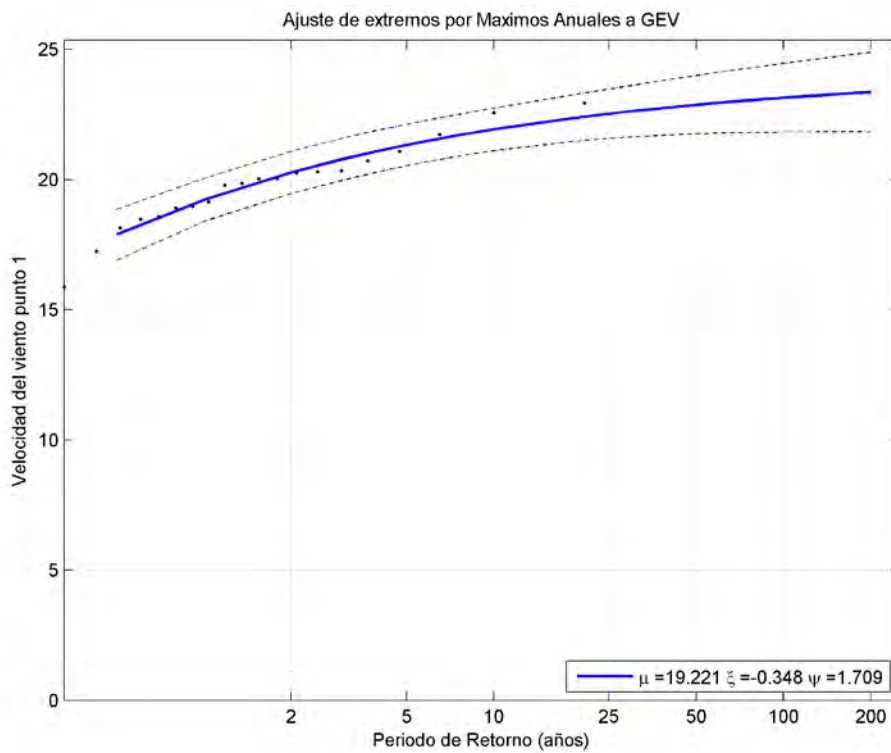


Figura 3.29. Régimen escalar extremal de la velocidad del viento en el punto 1.

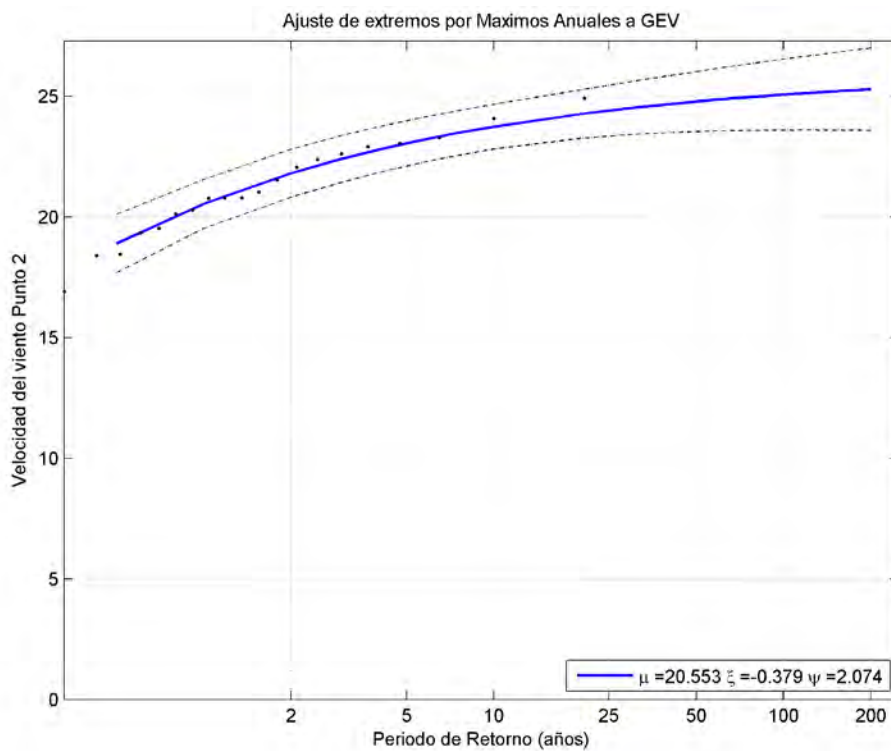


Figura 3.30. Régimen escalar extremal de la velocidad del viento en el punto 2.

DOCUMENTO FINAL

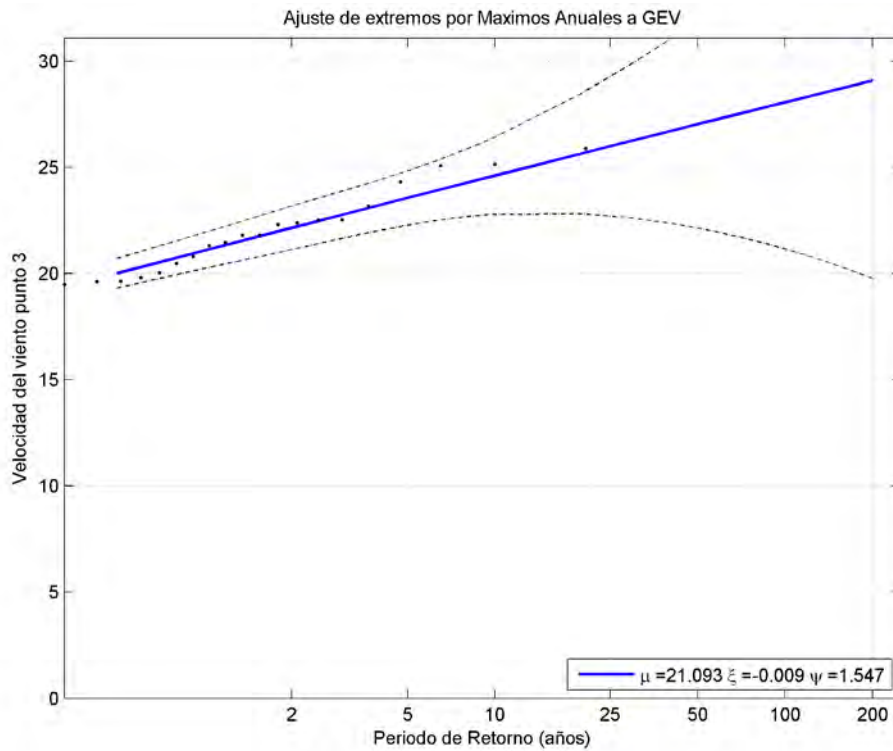


Figura 3.31. Régimen escalar extremal de la velocidad del viento en el punto 3.

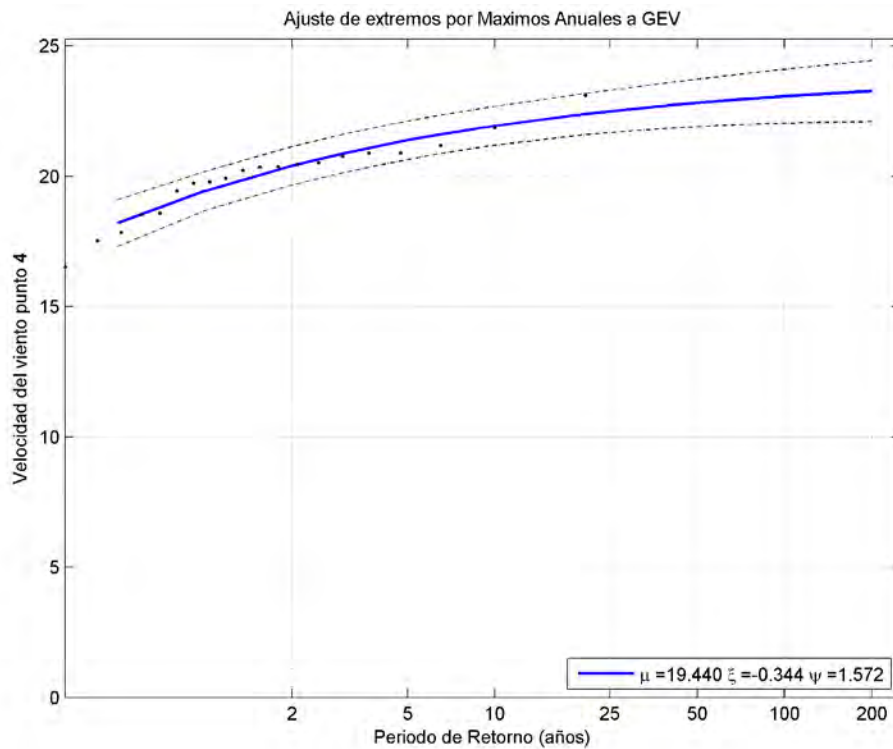


Figura 3.32. Régimen escalar extremal de la velocidad del viento en el punto 4.

DOCUMENTO FINAL

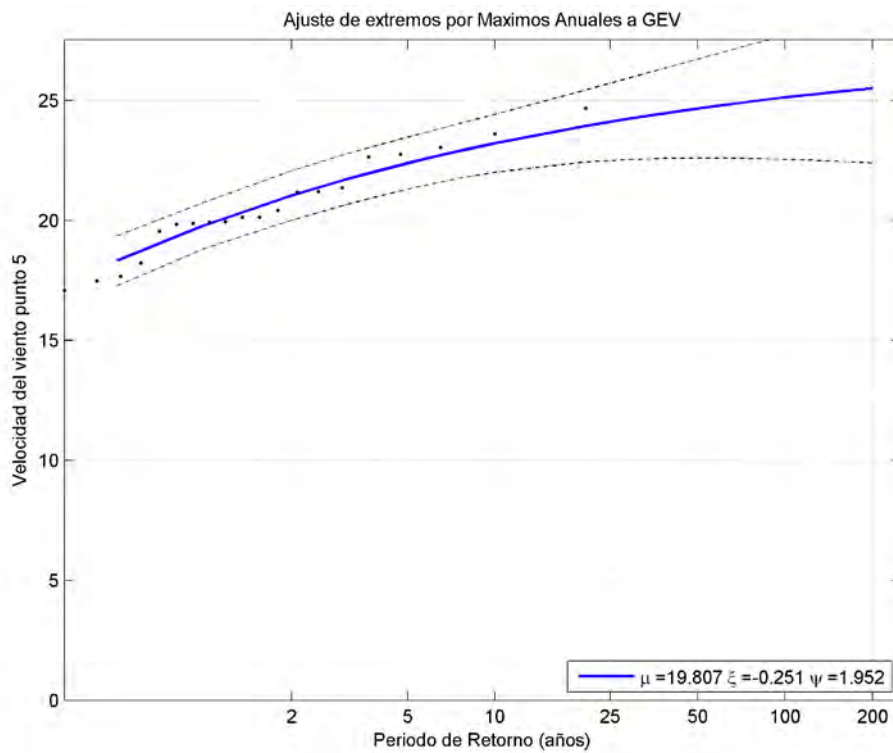


Figura 3.33. Régimen escalar extremal de la velocidad del viento en el punto 5.

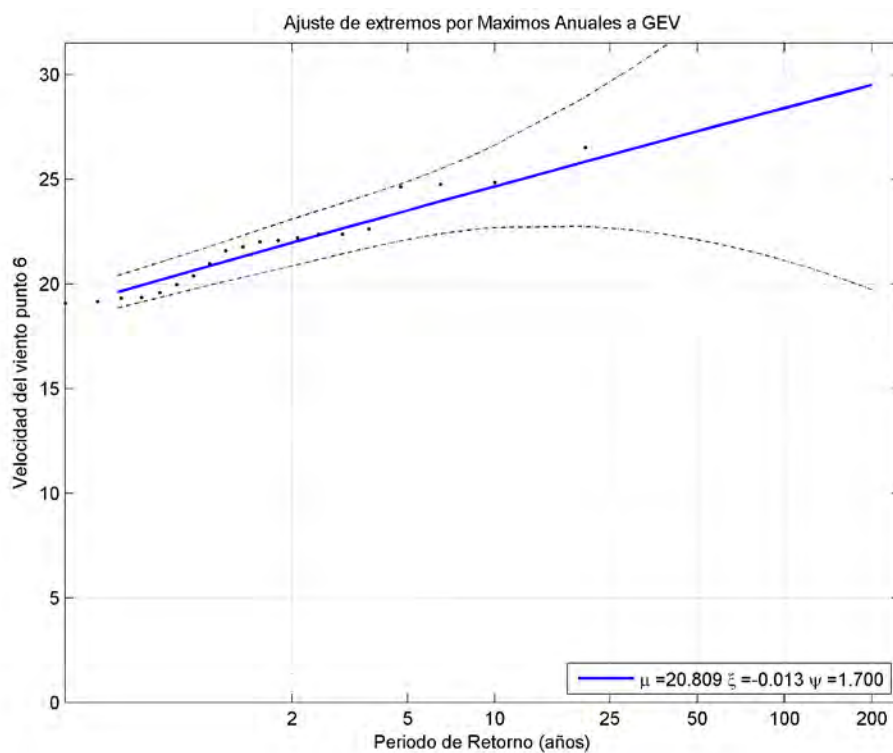


Figura 3.34. Régimen escalar extremal de la velocidad del viento en el punto 6.

**DOCUMENTO FINAL**

De las figuras 3.29 a 3.34 se establece que la velocidad del viento con período de retorno de 2 años está entre los 20 y 22 m/s y la de período de retorno de 10 años entre 22 y 25 m/s, variando en función del punto considerado. Los puntos 3 y 6 son los que presentan mayores velocidades y los puntos 1 y 4 los que menores.

En las figuras 3.35 a 3.42 se presentan los regímenes direccionales extremales de la velocidad del viento para cada uno de las direcciones analizadas en los puntos 1 y 3. Asimismo, en dichas figuras se presentan los parámetros de ajuste de cada régimen a la distribución de valores extremos generalizada.

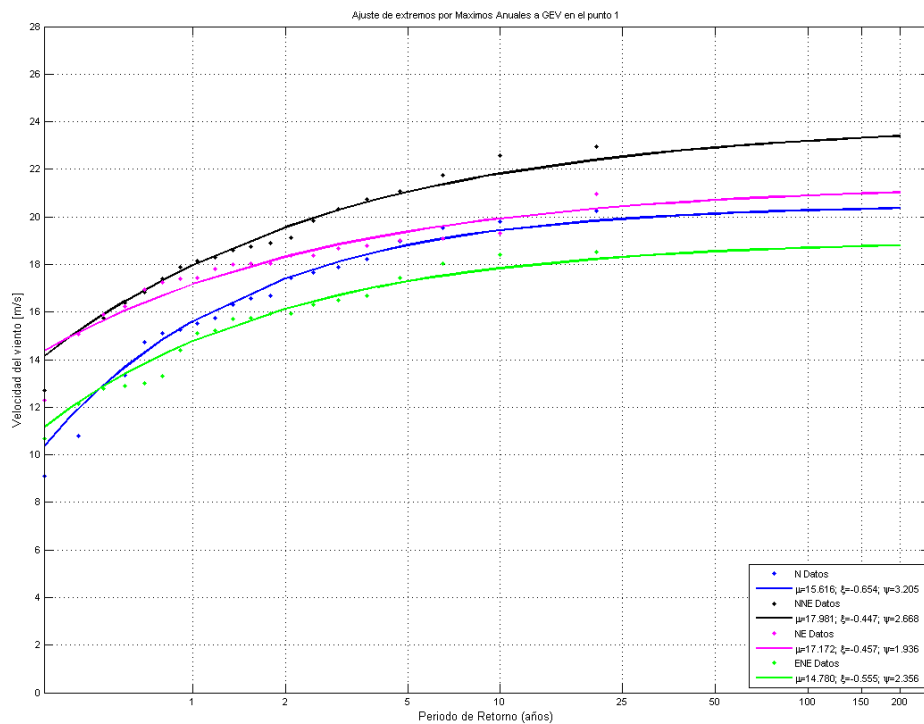


Figura 3.35. Régimen direccional extremal de la velocidad del viento, sectores N, NNE, NE y ENE en el punto 1.

DOCUMENTO FINAL

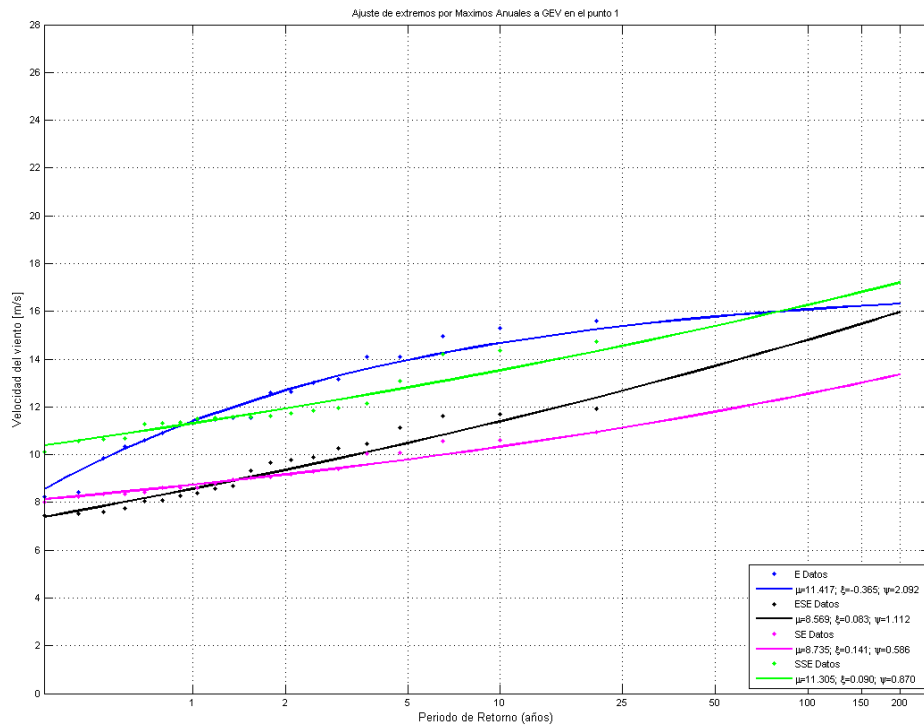


Figura 3.36. Régimen direccional extremal de la velocidad del viento, sectores E, ESE, SE y SSE en el punto 1.

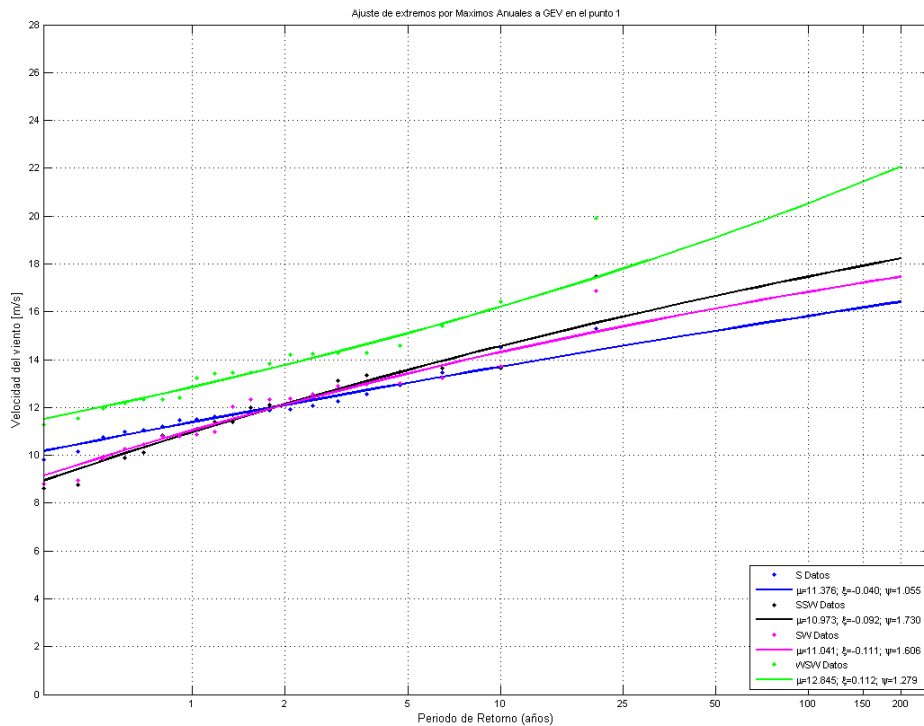


Figura 3.37. Régimen direccional extremal de la velocidad del viento, sectores S, SSW, SW y WSW en el punto 1.

DOCUMENTO FINAL

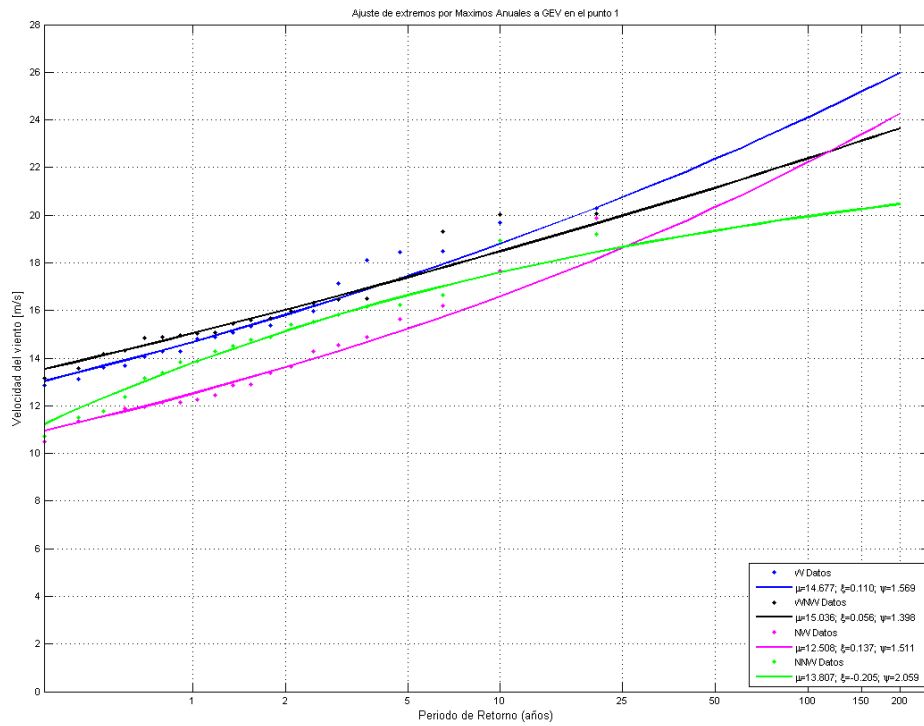


Figura 3.38. Régimen direccional extremal de la velocidad del viento, sectores W, WNW, NW y NNW en el punto 1.

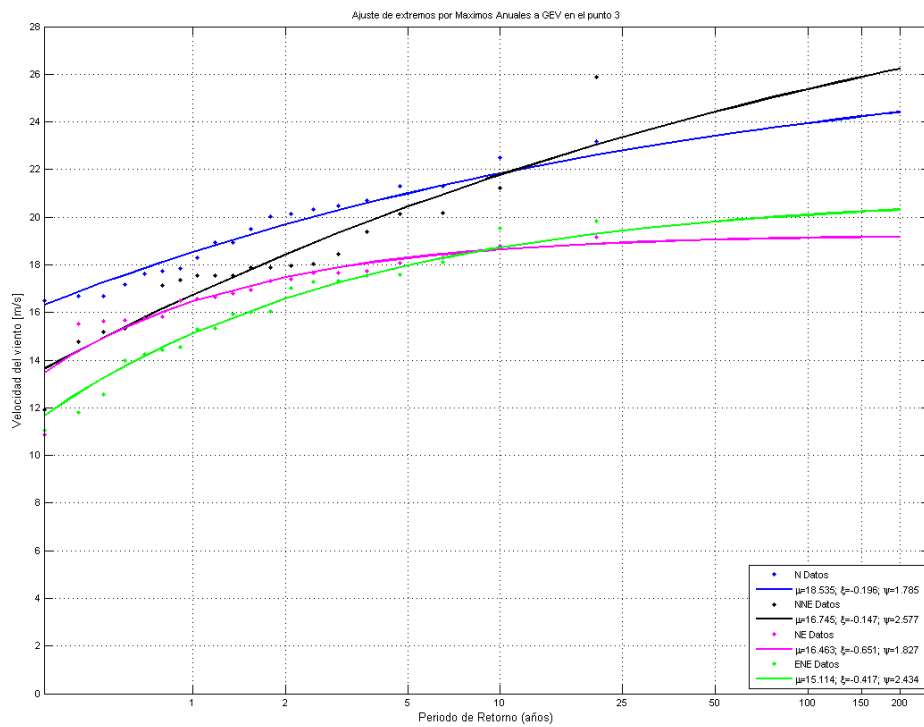


Figura 3.39. Régimen direccional extremal de la velocidad del viento, sectores N, NNE, NE y ENE en el punto 3.

DOCUMENTO FINAL

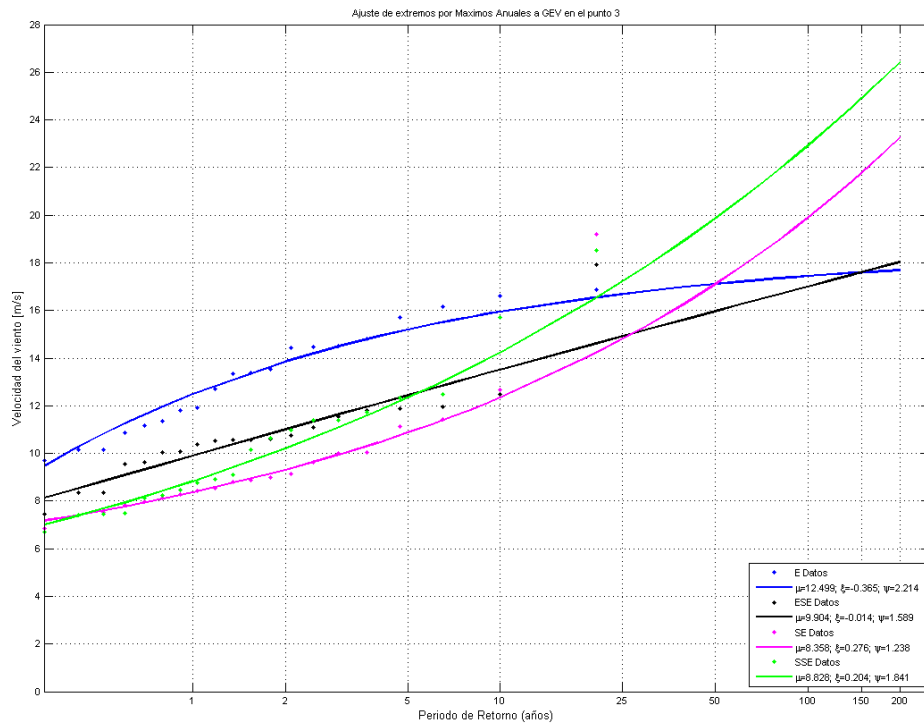


Figura 3.40. Régimen direccional extremal de la velocidad del viento, sectores E, ESE, SE y SSE en el punto 3.

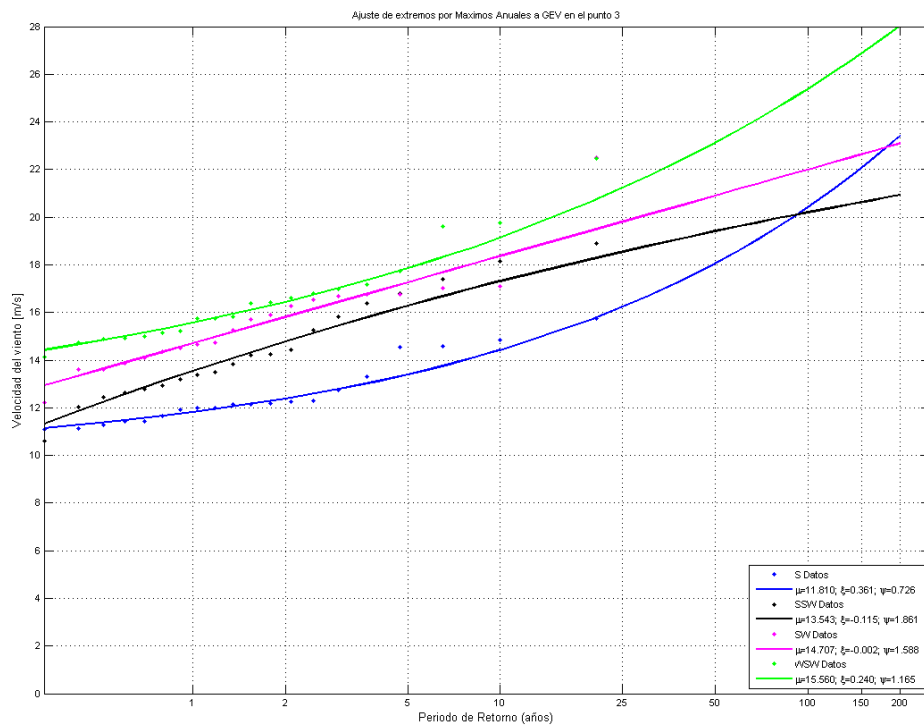


Figura 3.41. Régimen direccional extremal de la velocidad del viento, sectores S, SSW, SW y WSW en el punto 3.

**DOCUMENTO FINAL**

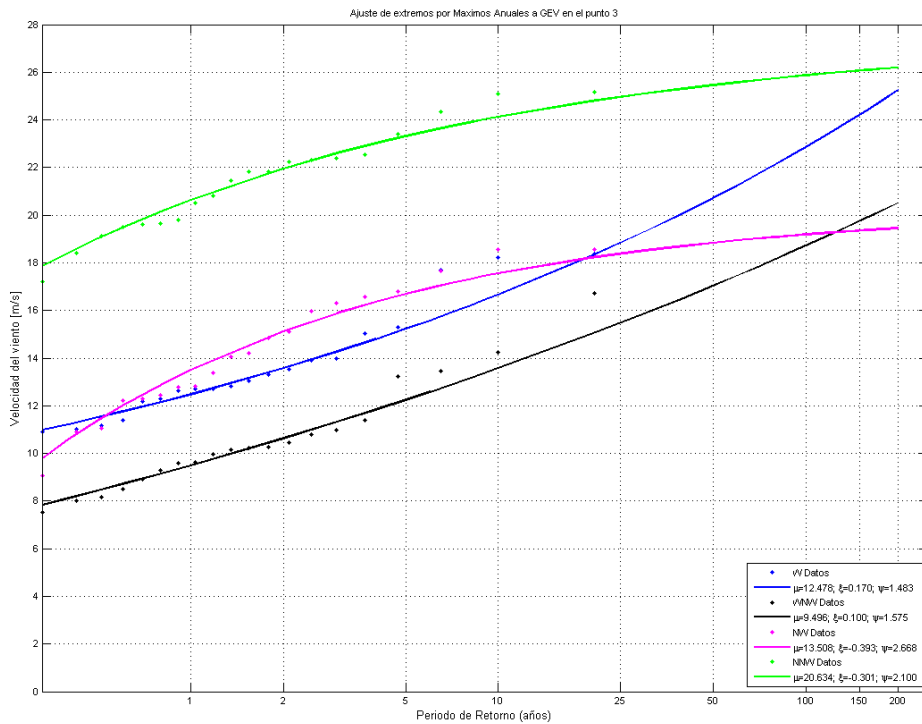


Figura 3.42. Régimen direccional extremal de la velocidad del viento, sectores W, WNW, NW y NNW en el punto 3.

### 3.3. Oleaje en profundidades indefinidas

#### 3.3.1 Introducción

En el presente apartado se efectúa la caracterización del oleaje en profundidades indefinidas a partir de la base de datos de reanálisis GOW 2.1 calibrada, estudiándose con detalle las distintas funciones de distribución del oleaje, tanto extremal como el medio anual. Asimismo, debido a la gran extensión de la zona objeto de estudio, se han analizado varios puntos para la caracterización de dicho oleaje para tener en cuenta la variabilidad espacial del oleaje en la zona.

#### 3.3.2 Fuente de datos

Los datos de oleaje en profundidades indefinidas que se han empleado en el presente estudio provienen de la base de datos de reanálisis GOW 2.1 (*Global Ocean Waves 2.1*) realizada por el IH Cantabria. Dicho reanálisis comprende el período de tiempo entre el año 1989 y el año 2008, posee una resolución temporal horaria y una resolución espacial de 0.125° a lo largo del Mediterráneo y el Golfo de Cádiz. El forzamiento proviene del



#### DOCUMENTO FINAL

downscaling dinámico SeaWind de 15 km de resolución espacial, anidado en el reanálisis atmosférico ERA-INTERIM. Por otra parte, en el contorno Oeste se introducen los espectros direccionales horarios del reanálisis GOW 1.0.

El modelo numérico utilizado para la generación del reanálisis de oleaje GOW ha sido el modelo WaveWatch III (Tolman 1997, 1999). Es un modelo de tercera generación desarrollado por la NOAA/NCEP similar al modelo WAM (WAMDIG 1988, Komen et al 1994). WW III es el último desarrollo del modelo inicial WW I elaborado por la Universidad de Delft (Tolman 1989) y posteriormente refinado por la NASA en el WW II.

La versión WW III difiere de sus antecesores en muchos e importantes puntos de especial relevancia, que incluyen aspectos relacionados con: la estructura, método numérico de resolución y parametrizaciones físicas. WW III resuelve la ecuación de balance de densidad espectral. La hipótesis fundamental asumida en la resolución es que las propiedades del medio (corrientes y batimetría), así como las del campo de oleaje, varían, en el espacio y en el tiempo, en escalas mucho mayores que una longitud de onda. Una limitación del modelo, por tanto, es que no es capaz de simular los efectos de propagación del oleaje en profundidades reducidas tan eficazmente como otros modelos. Por este motivo, los resultados de las simulaciones realizadas con el WW II son utilizados, como se verá en apartados posteriores, como condiciones iniciales de las simulaciones que se efectuarán con los modelos de propagación de oleaje S2O (SWAN to OLUCA), con los que se establecerá el oleaje en aguas someras en la proximidad de la costa.

El reanálisis GOW se estructura en distintas escalas espaciales. En primer lugar se ha determinado el oleaje en una malla global (véase figura 3.43) que proporciona el oleaje a escala mundial con nodos de resolución espacial  $1.5^\circ$  en longitud y  $1^\circ$  en latitud. En esta malla global se han anidado una serie de mallas para el estudio de zonas de detalle con mayor grado de definición (véase figuras 3.44 y 3.45). Así, en el litoral español, se ha planteado una malla para las Islas Canarias con resolución  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ , una malla para todo el Mar Mediterráneo con resolución de  $1/8^\circ$  (figura 3.45), y otra para el litoral de la Península Ibérica con resolución  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ . A su vez, la Península Ibérica se ha subdividido en tres mallas de alta definición, resolviéndose con detalle toda su costa a  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ , para alcanzar el mismo grado de detalle que en las Islas Canarias.

Como se puede observar en la figura 3.45, el reanálisis de oleaje en el Mediterráneo comienza en su región occidental en el marco exterior del Golfo de Cádiz. De esta manera, se consigue incorporar el oleaje procedente del Atlántico así como el régimen de vientos.

Los resultados obtenidos son parámetros agregados de oleaje en todos los nodos de cálculo con resolución de una hora. Además, con el fin de definir más correctamente el oleaje cerca de la costa, se han obtenido espectros de oleaje con resolución horaria en 500 puntos a lo largo del litoral español, separados entre sí  $0.1^\circ$ , para anidar modelos de propagación de escala local. Esta información espectral es la que será utilizada como condición de contorno para el modelo S2O (Swan to Oluca).

**DOCUMENTO FINAL**

Los resultados del reanálisis de oleaje han sido validados en el litoral español con boyas de la red exterior de OPPE y en el resto del mundo con boyas de la NOAA, así como con datos de satélite, en ambas regiones. Aunque la validación realizada indica que desde el punto de vista cuantitativo son satisfactorios, en un apartado posterior se va a detallar el proceso seguido para la corrección o calibración de energía de estos datos (en términos de  $H_s$ ) utilizando datos de satélite, que va a permitir disponer de datos de oleaje de mayor calidad. Datos que serán propagados posteriormente hacia la costa.

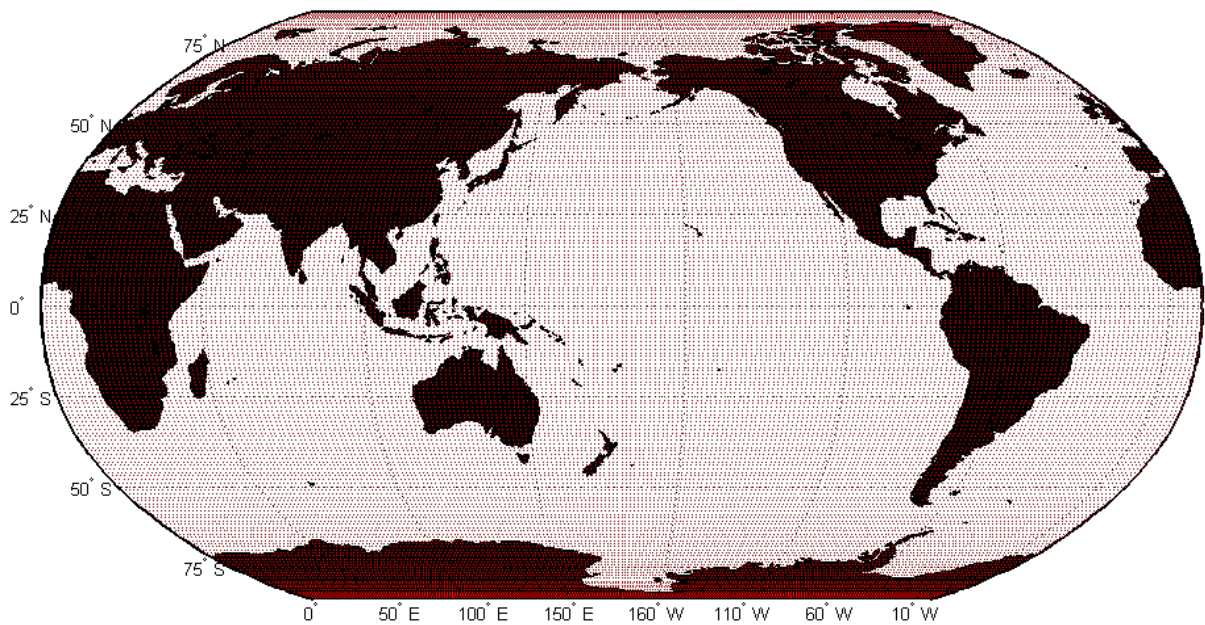


Figura 3.43. Malla global del reanálisis GOW 1.0 (representación de la figura en proyección Mercator).

**DOCUMENTO FINAL**

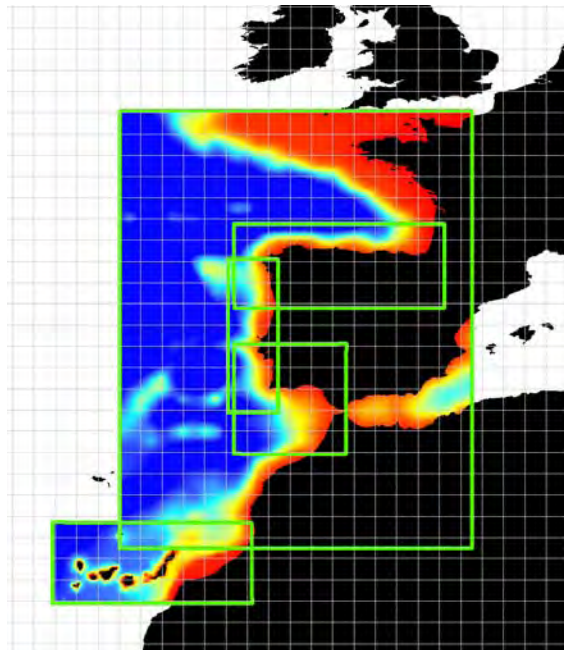


Figura 3.44. Detalle de las mallas del litoral español del reanálisis GOW 1 para el Océano Atlántico.

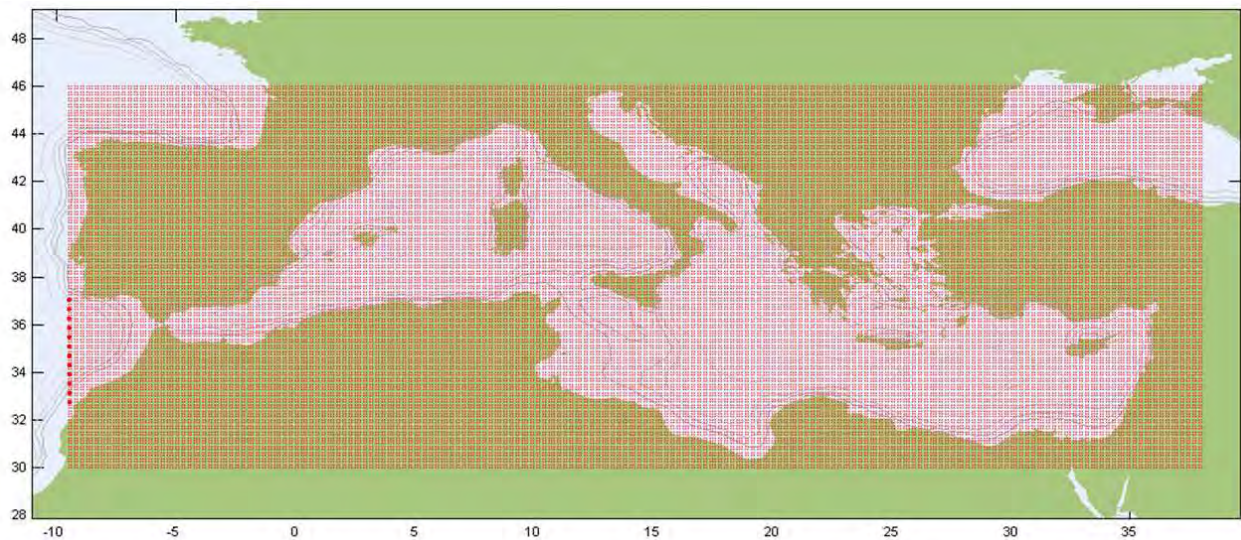


Figura 3.45. Rejilla de la Región Mediterránea del reanálisis GOW 2.1. Resolución de  $0.125^\circ$  (representación de la figura en proyección Mercator).

### **3.3.3. Calibración de los datos de reanálisis**

En este apartado se detalla el proceso de corrección o calibración de energía de los datos de reanálisis del GOW basado en Tomás (2009). Para ello se utiliza la información de datos instrumentales de diferentes misiones de satélites.

La calibración se ha llevado a cabo para cada punto del contorno en el cual se introduce el espectro de oleaje para la propagación hacia la costa con el modelo S20 (Swan to Oluca, que será descrito en apartados posteriores).

Antes de calibrar cada punto es necesario decidir con qué datos instrumentales se va a llevar a cabo la corrección. Los datos de satélite elegidos para cada punto son los que se encuentran en un área delimitada alrededor del punto. Este área se basa en un criterio de rayos lanzados a partir del punto objeto de calibración de forma que elimina los datos de satélite que puedan estar apantallados por tierra. Debido a la variabilidad espacial del oleaje en el Mediterráneo se ha elegido un área con radio de 1º.

Una vez seleccionada la zona de datos de satélite, el siguiente paso consiste en extraer de la base de datos GOW los parámetros  $(H_s, \theta_m)$  correspondientes a cada dato de satélite (definido por su posición e instante). De esta manera se obtiene un conjunto de  $N$  datos, definidos como  $\{H_{s,sat}(i), H_{s,GOW}(i), \theta_{m,GOW}(i)\}$ .

A partir de los pares de datos temporales GOW/satélite se lleva a cabo una calibración direccional de las alturas de ola. Esto es debido a que al discretizar un registro de oleaje de reanálisis según sectores de procedencia del oleaje, y comparar en cada sector el registro instrumental con el registro simulado, es fácil apreciar que el modelo simula más acertadamente unas direcciones que otras. A su vez, dentro de un mismo sector direccional, los errores que comete el modelo dependen en gran medida de la altura de ola,  $H_s$ . Es decir, en ocasiones el modelo simula bien las alturas de ola pequeñas, pertenecientes al régimen medio, cometiendo grandes errores en aquellos oleajes mayores pertenecientes a la rama superior del régimen de oleaje (cuantiles elevados).

Una vez obtenidos los pares de datos de  $H_s$  junto con las direcciones, se han agrupado por direcciones según sectores direccionales de 22.5º de amplitud y para cada subconjunto de pares de datos se ha procedido a realizar un ajuste cuantil-cuantil en base a 20 cuantiles equiespaciados en la escala de Gumbel de máximos. Esta discretización se emplea para tratar de dar el mismo peso a los datos en todo el rango de variación de la altura de ola, de forma que los regímenes medio-bajo, mucho más frecuentes, no enmascaren los temporales. La ecuación seleccionada para el ajuste es la siguiente:

$$H_{s,c} = \begin{cases} a(\theta) d(\theta)^{b(\theta)-1} H_s & \text{si } H_s \leq d(\theta) \\ a(\theta) H_s^{b(\theta)} & \text{si } H_s > d(\theta) \end{cases}$$

**DOCUMENTO FINAL**

donde  $H_{s,c}$  es la altura de ola significativa corregida,  $H_s$  es la altura de ola significativa de reanálisis,  $a(\theta)$  y  $b(\theta)$  son los coeficientes que dependen de la dirección de procedencia del oleaje y  $d(\theta)$  es la altura de ola límite, por debajo de la cual la calibración es lineal. Nótese que la calibración es lineal para el régimen medio bajo, y potencial a partir del umbral definido por el parámetro  $d(\theta)$  pero hay una continuidad en la calibración. Esto da más flexibilidad al modelo para calibrar mejor en todas las ramas del régimen de altura de ola.

La selección de los cuantiles en sectores de  $22.5^\circ$  se hace desplazando éstos grado a grado, de forma que se obtiene una variación suave de los cuantiles a lo largo de la circunferencia.

Las variaciones en los valores que van adoptando los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $d$  a lo largo de la rosa de direcciones posibles, se obtienen suponiendo que se produce una variación suave mediante un spline, de forma que una vez evaluados los coeficientes y alturas de ola límites de el tramo lineal cada  $22.5^\circ$  radios, los valores correspondientes a cualquier otra orientación se obtienen interpolando mediante una cúbica. De esta forma se puede expresar cada coeficiente como:

$$a(\theta_i) = a_j + x_j^a(\theta_i - \theta_j) + y_j^a(\theta_i - \theta_j)^2 + z_j^a(\theta_i - \theta_j)^3$$

$$b(\theta_i) = b_j + x_j^b(\theta_i - \theta_j) + y_j^b(\theta_i - \theta_j)^2 + z_j^b(\theta_i - \theta_j)^3$$

$$d(\theta_i) = d_j + x_j^d(\theta_i - \theta_j) + y_j^d(\theta_i - \theta_j)^2 + z_j^d(\theta_i - \theta_j)^3$$

donde  $\theta_i$  es el ángulo de procedencia del oleaje  $0 \leq \theta_i \leq 360$ , y  $\theta_j$  es la dirección en la que se conocen los parámetros  $a_j$ ,  $b_j$  y  $d_j$  del spline, y los demás parámetros son los necesarios para que la variación sea suave a lo largo de toda la circunferencia.

De este modo conociendo la dirección media de propagación de un estado de mar resultan conocidos los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $d$  que hay que aplicar a  $H_{s,GOW}$  para obtener  $H_{s,c}$ .

La gran ventaja de calibrar direccionalmente el oleaje radica en el hecho de que no todos los estados de mar del reanálisis necesitan la misma corrección, de esta manera se consigue que a lo largo del registro los errores y aciertos sean independientes de la dirección del oleaje.

### **3.3.4. Puntos de oleaje en profundidades indefinidas**

Dadas las dimensiones de la zona de estudio (aproximadamente 26 km), así como la variabilidad espacial del oleaje en el Mediterráneo, se han seleccionado 3 puntos en aguas profundas con información de la serie de espectros de oleaje de reanálisis del

**DOCUMENTO FINAL**

GOW 2.1. Dichos puntos aparecen localizados en la figura 3.46, indicándose sus coordenadas geográficas en la tabla 3.8.



Figura 3.46 Localización de los puntos de oleaje en profundidades indefinidas.

Punto	Longitud ° E	Latitud ° N
1	-0.125	39.375
2	0.125	39.625
3	0.375	39.875

Tabla 3.8. Localización de los puntos de oleaje en profundidades indefinidas (coordenadas geográficas en el WGS84).

### **3.3.5. Regímenes medios de oleaje en profundidades indefinidas**

La serie de reanálisis GOW 2.1 en cada uno de los 3 puntos indicados previamente ha sido calibrada siguiendo el proceso indicado en apartados previos. A partir de estos datos se han establecido los regímenes medios escalares y direccionales en profundidades indefinidas, así como las rosas de oleaje. Para la caracterización del oleaje direccional se han definido sectores de 22.5°.

**DOCUMENTO FINAL**

Los regímenes medios anuales de oleaje en profundidades indefinidas se han ajustado mediante una distribución lognormal, siendo  $\mu$  la media de dicha distribución, y  $\sigma$  la desviación típica de la misma.

En las figuras 3.47 a 3.49 se presenta el régimen medio escalar de la altura de ola significativa y en las figuras 3.50 a 3.52 el régimen medio escalar del período de pico para cada uno de los 3 puntos considerados en profundidades indefinidas. Dichos regímenes han sido ajustados en el rango de probabilidad acumulada 5%-99.5 %. En estas figuras se pueden observar puntuados los datos, así como el ajuste (línea) de los mismos a la distribución lognormal. Los parámetros de ajuste de la distribución lognormal aparecen también recogidos en las mencionadas figuras. Asimismo, sobre las figuras de regímenes medios se presentan las rosas de altura significativa (véase figuras 3.47 a 3.49) y de período de pico (véase figuras 3.50 a 3.52).

En las figuras 3.47 a 3.49 se puede observar que el 50% del tiempo los oleajes en profundidades indefinidas presentan una altura significativa inferior a 0.6 m y el 99 % del tiempo la altura significativa es inferior a 3 m . A efectos comparativos, en la figura 3.53 se muestra el régimen medio de altura de ola significativa para los 3 puntos, pudiéndose observar en la misma que aunque la altura de ola significativa es parecida en los 3 puntos, a medida que se avanza del punto 1 hacia el punto 3 el oleaje aumenta ligeramente.

Por otra parte, a partir de las figuras 3.50 a 3.52 se establece que el 50 % del tiempo los oleajes tienen un período de pico inferior a 5.6 s y el 99% del tiempo el período de pico es inferior a 9.6 s. A efectos comparativos en la figura 3.54 se presenta el régimen medio de período de pico para los 3 puntos, pudiéndose observar en la misma que aunque el período de pico es similar en los 3 puntos, en la rama alta del régimen a medida que se avanza del punto 1 hacia el punto 3 el período de pico aumenta ligeramente.

DOCUMENTO FINAL

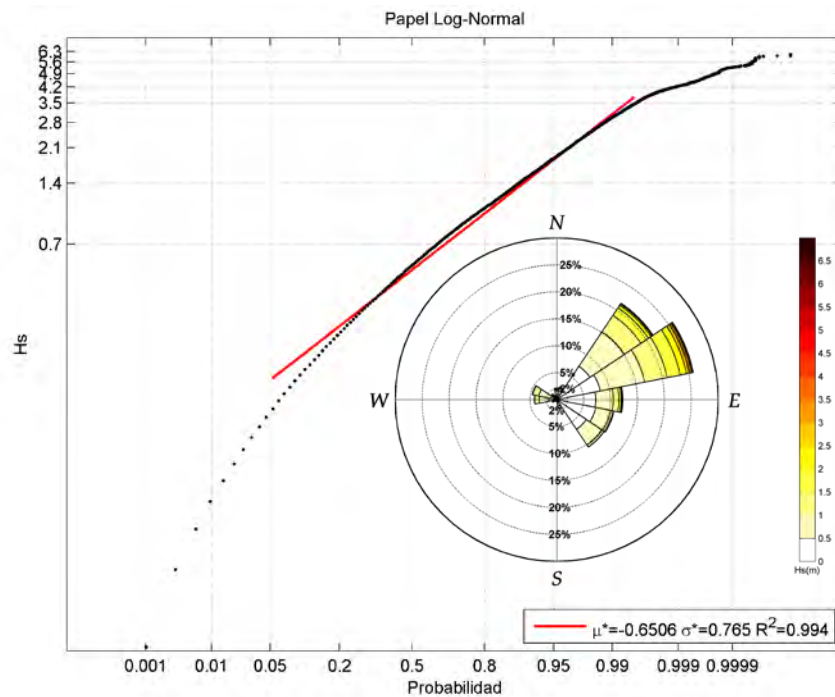


Figura 3.47. Régimen escalar medio y rosa de altura de ola significativa en el punto 1 de profundidades indefinidas.

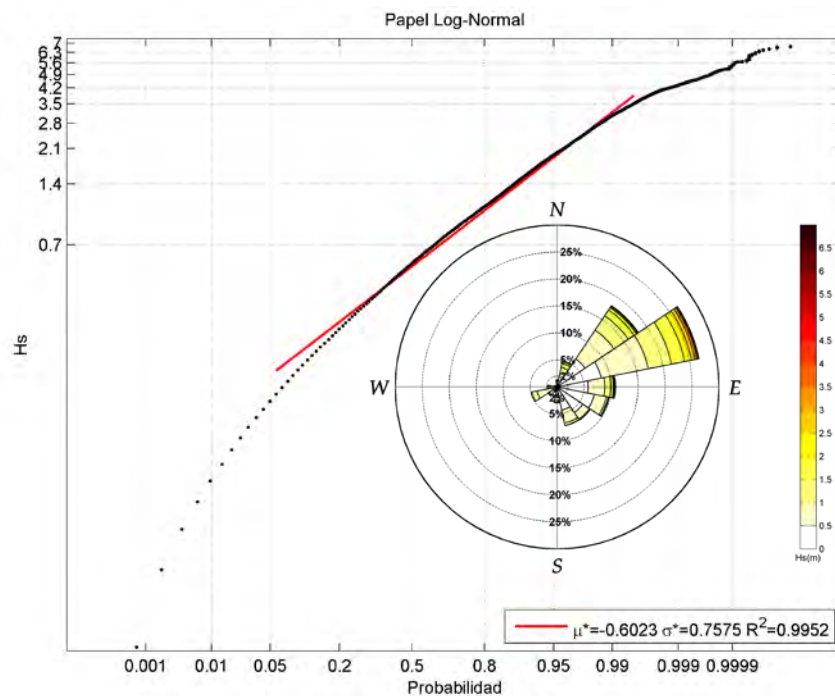


Figura 3.48. Régimen escalar medio y rosa de altura de ola significativa en el punto 2 de profundidades indefinidas.



DOCUMENTO FINAL

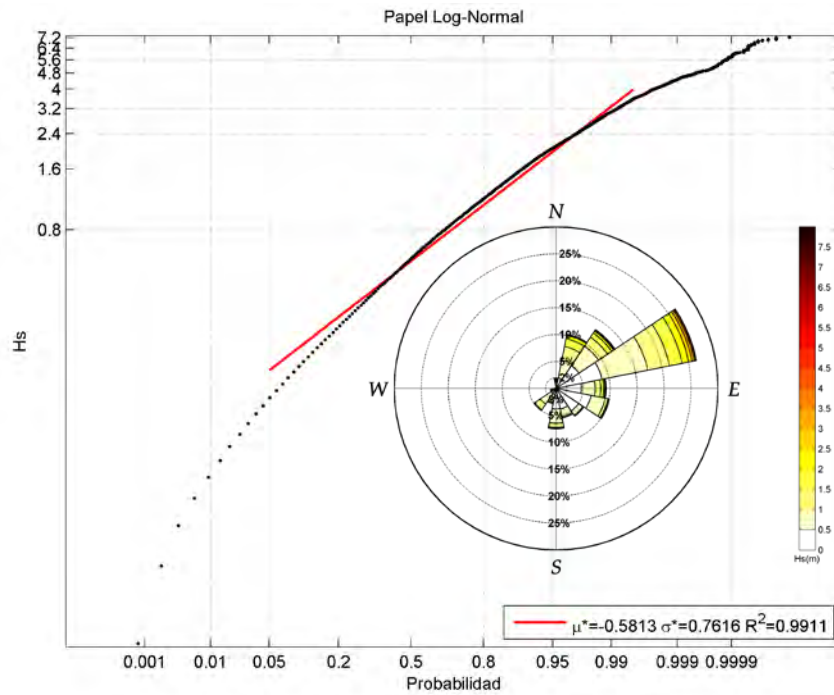


Figura 3.49. Régimen escalar medio y rosa de altura de ola significativa en el punto 3 de profundidades indefinidas.

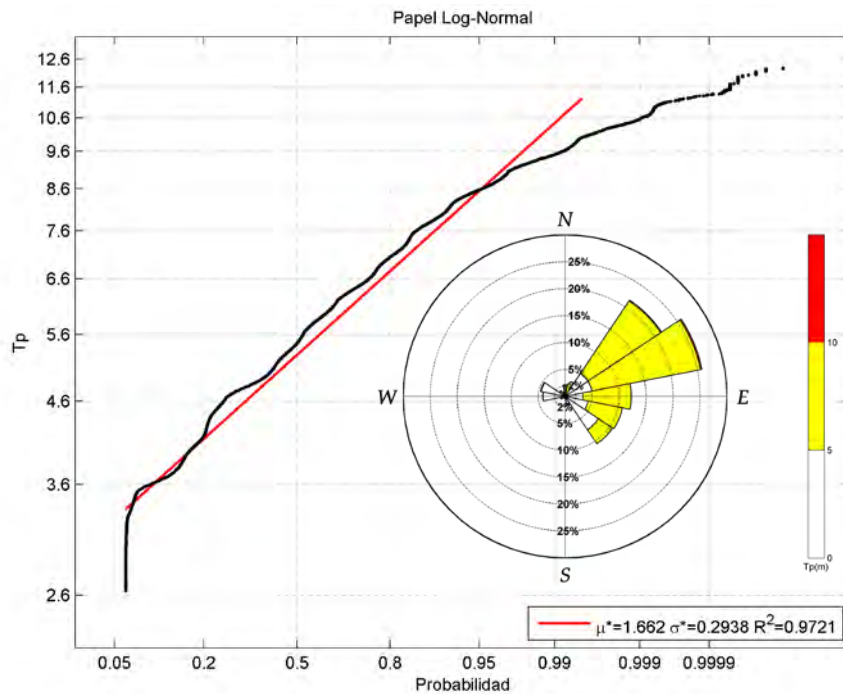


Figura 3.50. Régimen escalar medio y rosa de periodo de pico en el punto 1 de profundidades indefinidas.

DOCUMENTO FINAL

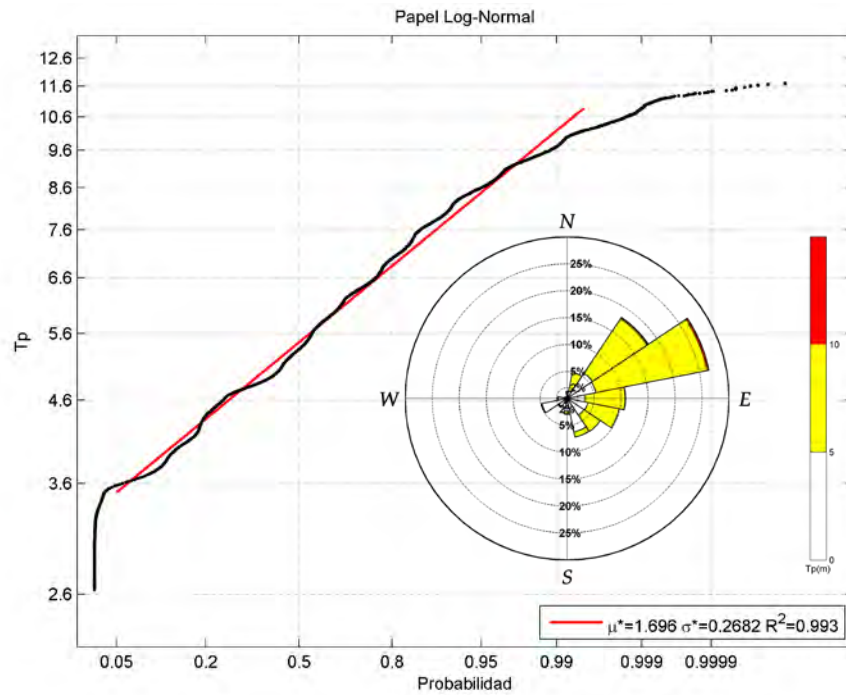


Figura 3.51. Régimen escalar medio y rosa de periodo de pico en el punto 2 de profundidades indefinidas.

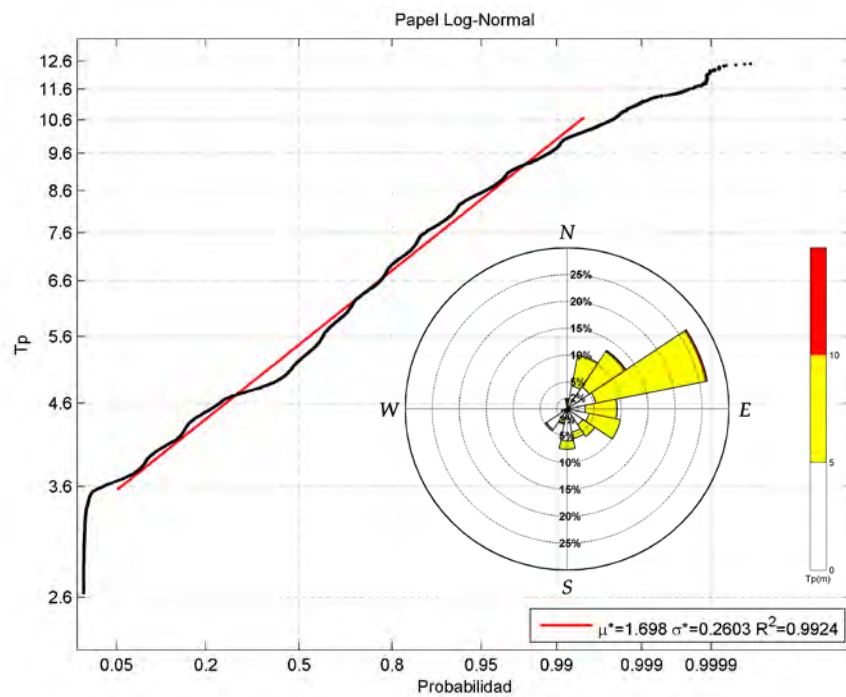


Figura 3.52. Régimen escalar medio y rosa de periodo de pico en el punto 3 de profundidades indefinidas.

DOCUMENTO FINAL

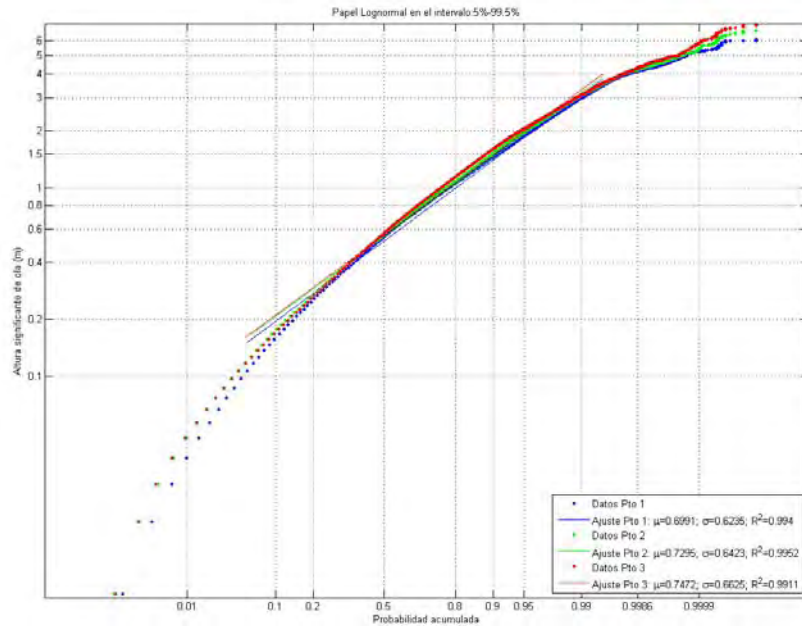


Figura 3.53. Comparación del régimen escalar medio de altura de ola significativa en los 3 puntos en profundidades indefinidas.

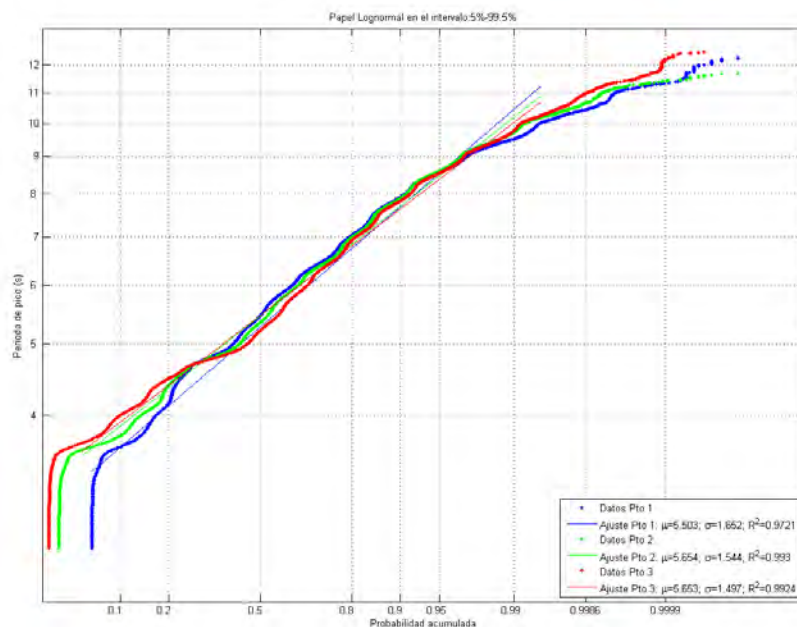


Figura 3.54. Comparación del régimen escalar medio de período de pico en los 3 puntos en profundidades indefinidas.

**DOCUMENTO FINAL**

A partir de las rosas de oleaje puede establecerse que los oleajes reinantes y dominantes en profundidades indefinidas provienen del sector ENE (en torno al 26% de presentación en los 3 puntos), seguido del NE. Comparando los 3 puntos analizados cabe destacar que en el punto 1 hay una mayor presencia de oleajes del sector E con más del 12% de presentación frente al 9% del punto 3, mientras que en el punto 3 hay más presencia de oleajes del NNE con más del 10 % de presentación frente al 2% del punto 1.

En la tabla 3.9 se muestra el porcentaje del tiempo en el que el oleaje incide de cada uno de los sectores de procedencia para los 3 puntos.

Dirección	Sector	Punto 1 (% tiempo)	Punto 2 (% tiempo)	Punto 3 (% tiempo)
<b>N</b>	$\theta > 348.75^\circ \theta \leq 11.25^\circ$	2.13	1.28	1.91
<b>NNE</b>	$11.25^\circ < \theta \leq 33.75^\circ$	2.39	4.92	10.25
<b>NE</b>	$33.75^\circ < \theta \leq 56.25^\circ$	21.48	18.08	13.10
<b>ENE</b>	$56.25^\circ < \theta \leq 78.75^\circ$	25.82	26.77	26.50
<b>E</b>	$78.75^\circ < \theta \leq 101.25^\circ$	12.26	10.79	9.25
<b>ESE</b>	$101.25^\circ < \theta \leq 123.75^\circ$	10.81	9.79	10.05
<b>SE</b>	$123.75^\circ < \theta \leq 146.25^\circ$	10.56	7.38	6.16
<b>SSE</b>	$146.25^\circ < \theta \leq 168.75^\circ$	1.65	7.31	5.60
<b>S</b>	$168.75^\circ < \theta \leq 191.25^\circ$	0.38	2.92	7.49
<b>SSW</b>	$191.25^\circ < \theta \leq 213.75^\circ$	0.38	0.97	2.88
<b>SW</b>	$213.75^\circ < \theta \leq 236.25^\circ$	0.39	2.01	4.90
<b>WSW</b>	$236.25^\circ < \theta \leq 258.75^\circ$	0.88	4.85	1.09
<b>W</b>	$258.75^\circ < \theta \leq 281.25^\circ$	4.15	1.78	0.32
<b>WNW</b>	$281.25^\circ < \theta \leq 303.75^\circ$	4.64	0.51	0.15
<b>NW</b>	$303.75^\circ < \theta \leq 326.25^\circ$	1.30	0.37	0.14
<b>NNW</b>	$326.25^\circ < \theta \leq 348.75^\circ$	0.85	0.29	0.22

Tabla 3.9. Porcentaje de tiempo de presentación de oleaje por sectores en los 3 puntos de profundidades indefinidas.

Asimismo se han determinado los regímenes medios direccionales diferenciados por sectores de  $22,5^\circ$  y agrupados por cuadrantes en los 3 puntos considerados. En las figuras 3.55 a 3.60 se presentan estos regímenes, así como los ajustes de los mismos a la distribución lognormal y sus parámetros de ajuste. De la observación de estas figuras se comprueba que los oleajes procedentes del primer y segundo cuadrante son los más energéticos, en especial los procedentes de los sectores ENE y NE. Mientras que en el caso de los oleajes del tercer y cuarto cuadrante las alturas de ola son más reducidas.

DOCUMENTO FINAL

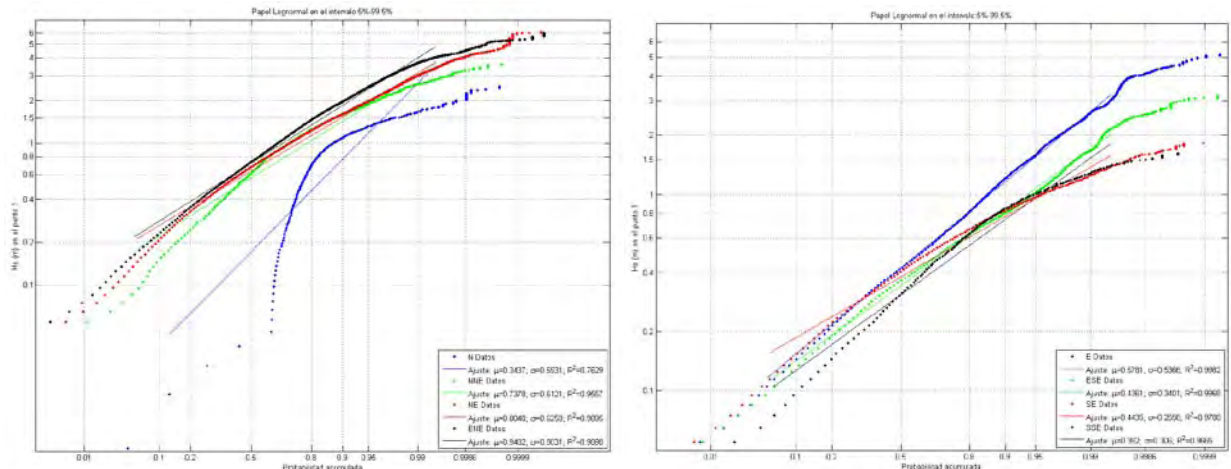


Figura 3.55. Régimen direccional medio de altura significativa de ola en los cuadrantes 1 y 2 para el punto 1.

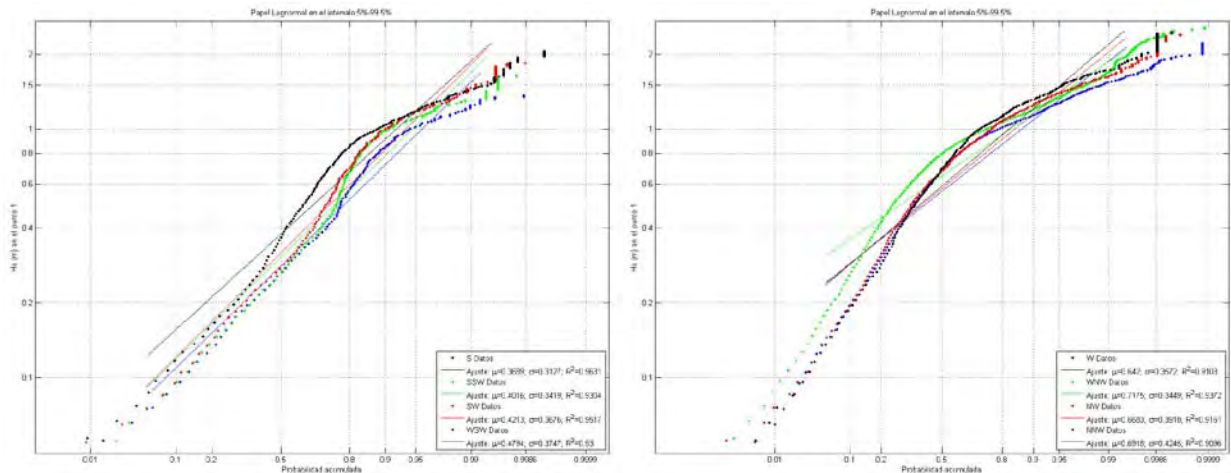


Figura 3.56. Régimen direccional medio de altura significativa de ola en los cuadrantes 3 y 4 para el punto 1.

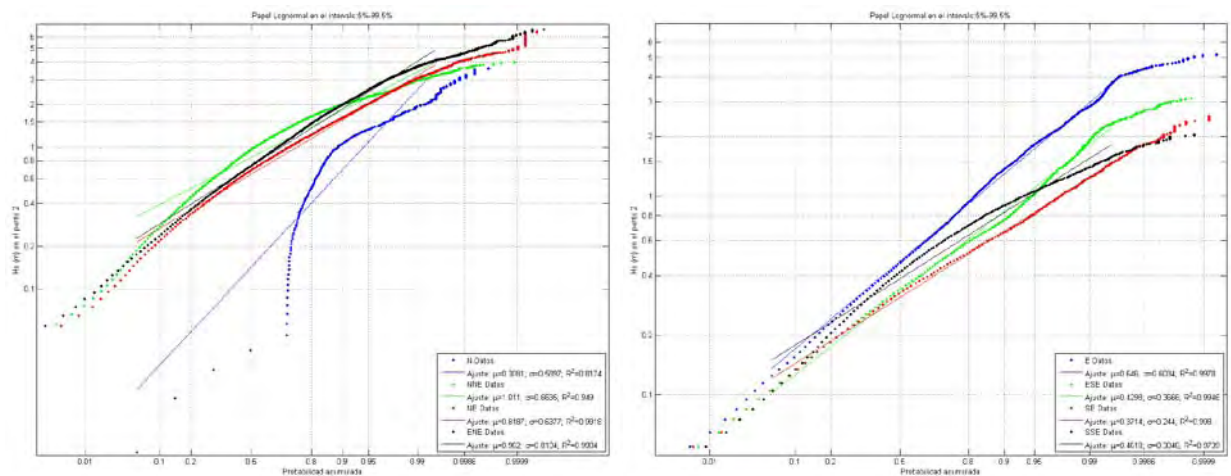


Figura 3.57. Régimen direccional medio de altura significativa de ola en los cuadrantes 1 y 2 para el punto 2.

DOCUMENTO FINAL

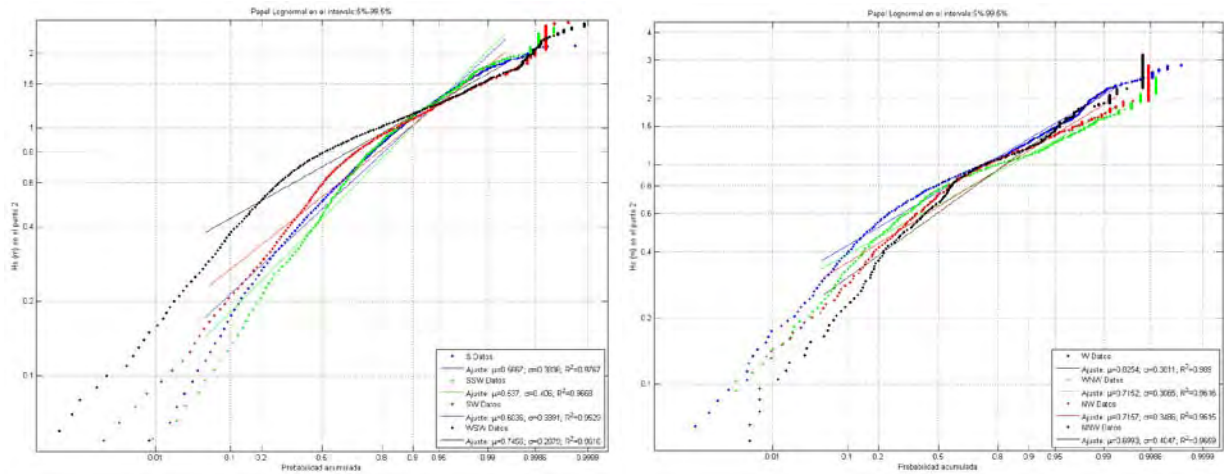


Figura 3.58. Régimen direccional medio de altura significativa de ola en los cuadrantes 3 y 4 para el punto 2.

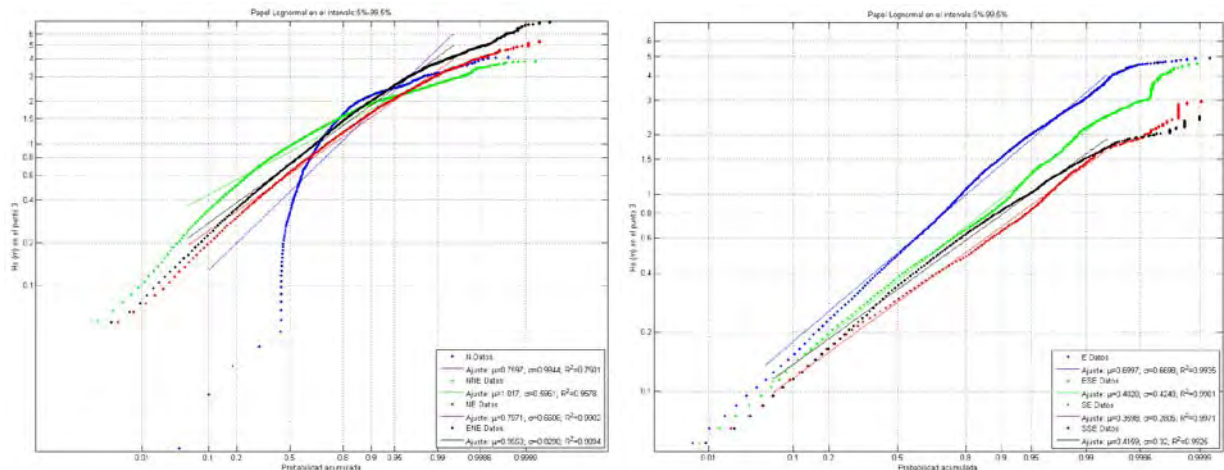


Figura 3.59. Régimen direccional medio de altura significativa de ola en los cuadrantes 1 y 2 para el punto 3.

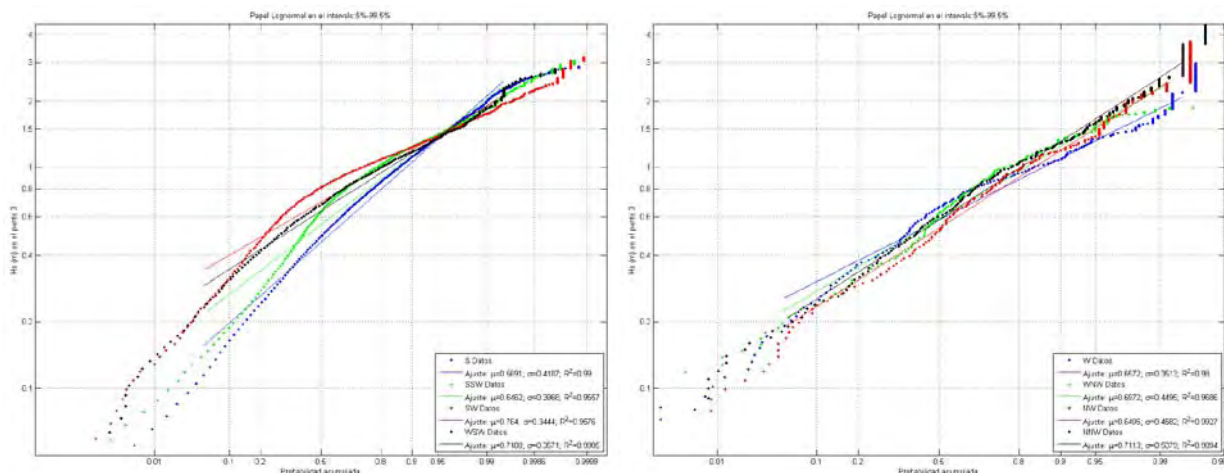


Figura 3.60. Régimen direccional medio de altura significativa de ola en los cuadrantes 3 y 4 para el punto 3.

Al igual que para la altura de ola significativa, en las figuras 3.61 a 3.66 se muestran los regímenes medios direccionales del período de pico en los diferentes sectores. Estos

**DOCUMENTO FINAL**

regímenes también han sido ajustados a una distribución lognormal, cuyos parámetros se pueden consultar en las correspondientes figuras.

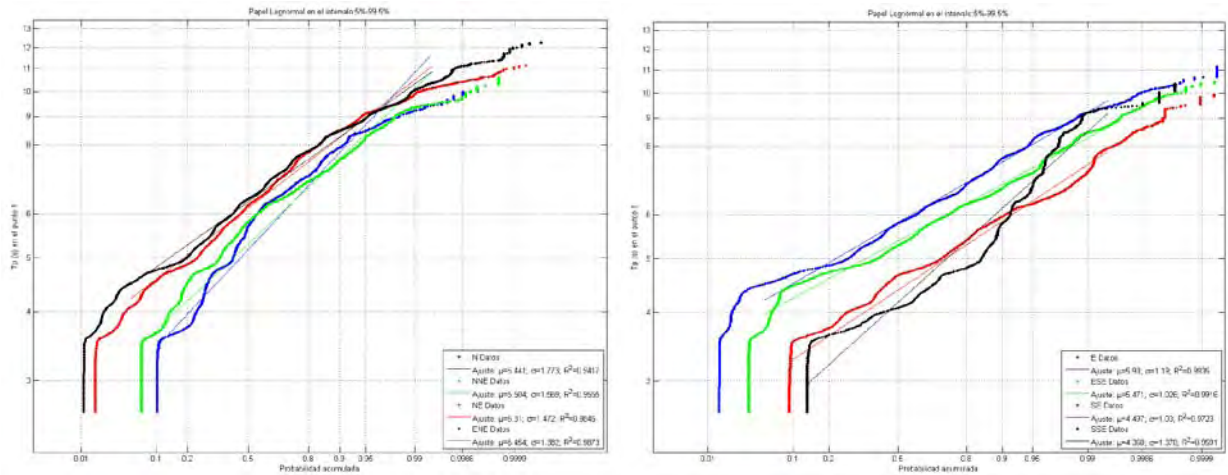


Figura 3.61. Régimen direccional medio de periodo de pico en los cuadrantes 1 y 2 para el punto 1.

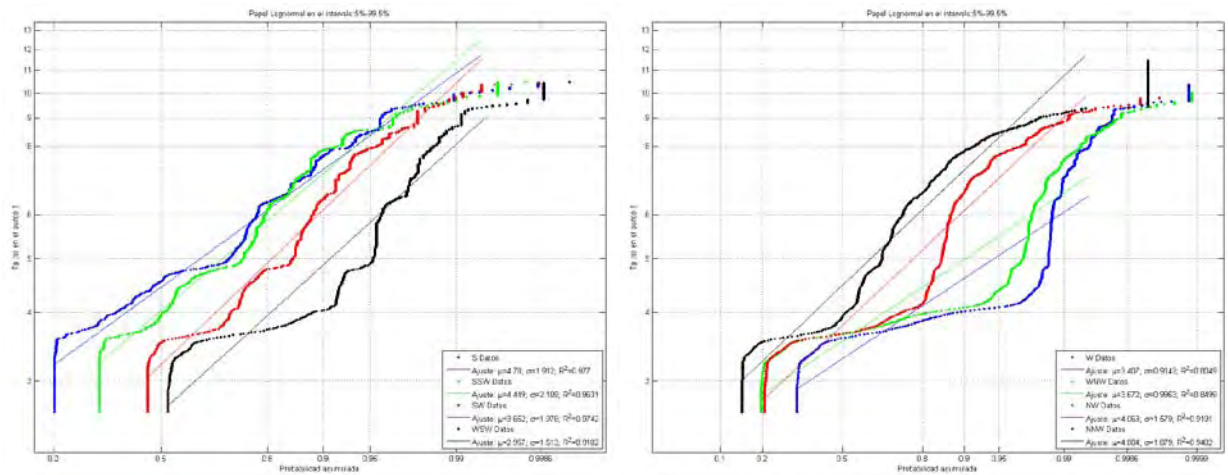


Figura 3.62. Régimen direccional medio de periodo de pico en los cuadrantes 3 y 4 para el punto 1.

DOCUMENTO FINAL

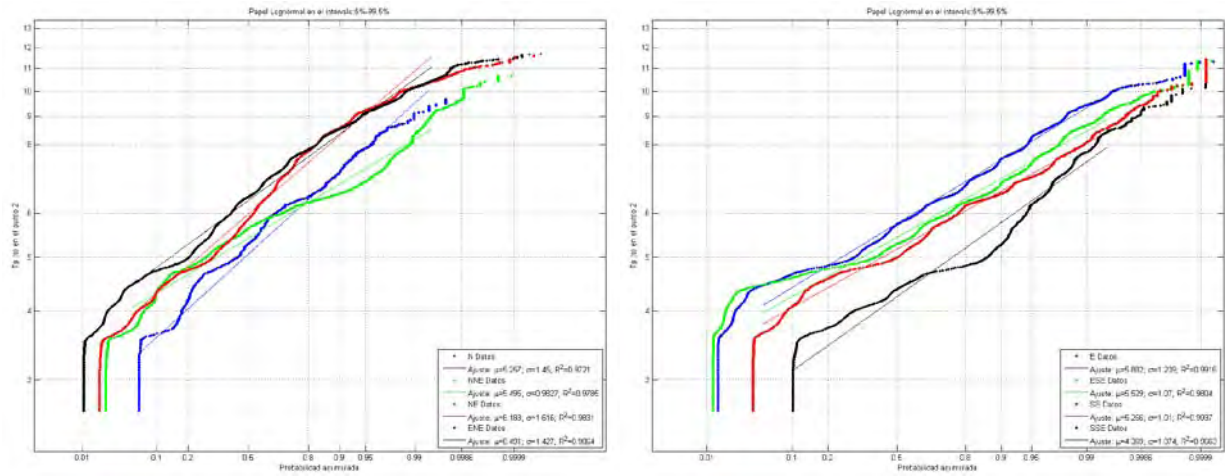


Figura 3.63. Régimen direccional medio de periodo de pico en los cuadrantes 1 y 2 para el punto 2.

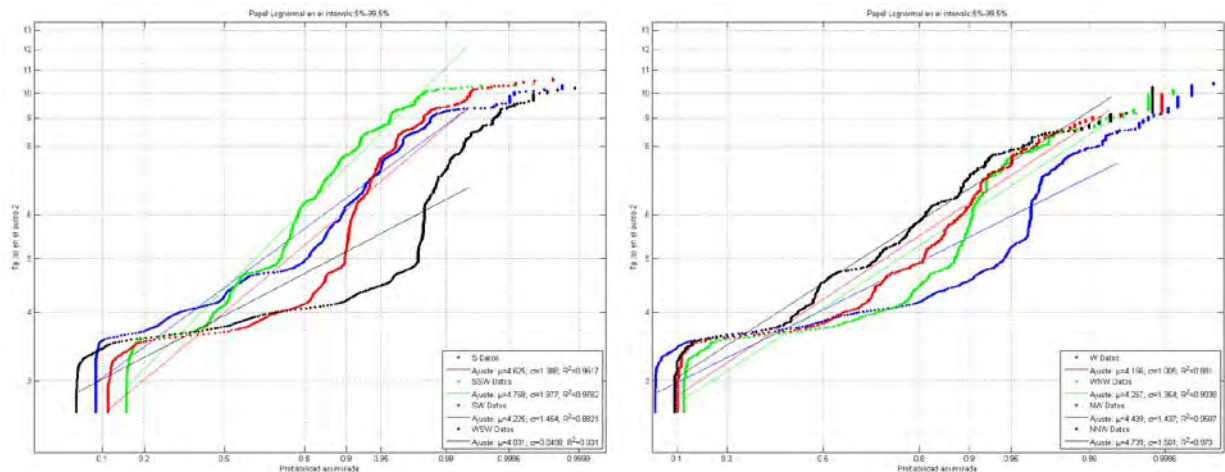


Figura 3.64. Régimen direccional medio de periodo de pico en los cuadrantes 3 y 4 para el punto 2.

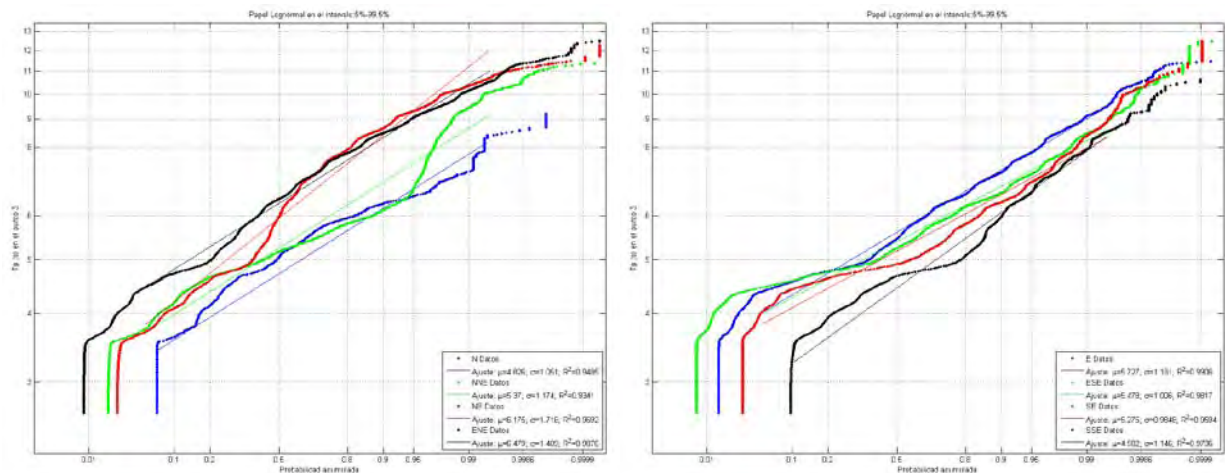


Figura 3.65. Régimen direccional medio de periodo de pico en los cuadrantes 1 y 2 para el punto 3.



**DOCUMENTO FINAL**

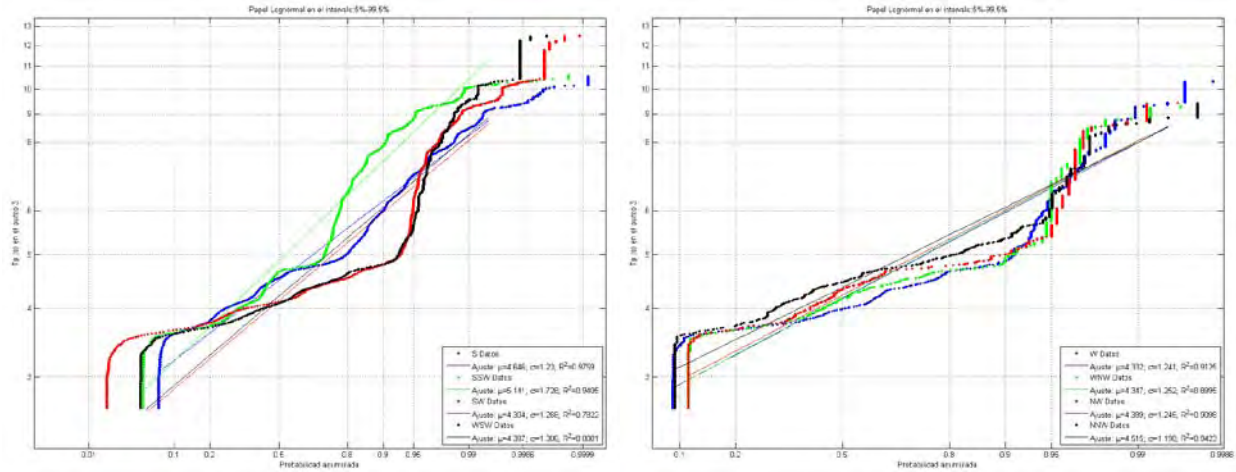


Figura 3.66. Régimen direccional medio de periodo de pico en los cuadrantes 3 y 4 para el punto 3.

**3.3.6. Regímenes extremales de oleaje en profundidades indefinidas**

Con el fin de obtener los regímenes extremales, se debe tener en cuenta que los valores extremos se ajustan a una de estas tres distribuciones, Gumbel, Fréchet y Weibull, según el teorema de las tres colas (Fisher y Tippett, 1928). Estos tres tipos pueden ser combinados en una única expresión denominada distribución de valores extremos generalizados (GEV) con la siguiente expresión:

$$F(x) = \exp \left[ - \left( 1 - \frac{\xi(x - \mu)}{\psi} \right)^{1/\xi} \right]$$

donde:

- μ: es el parámetro de localización.
- ψ: es el parámetro de escala.
- ξ: es el parámetro de forma.

Cuando  $-0.05 < \xi < 0.05$  resulta la distribución de Gumbel.  
 Cuando  $\xi > 0.05$  resulta la distribución de Fréchet.  
 Cuando  $\xi < -0.05$  resulta la distribución de Weibull.

Para determinar los regímenes extremales, la distribución de extremos generalizada se ha aplicado al valor máximo anual.

**DOCUMENTO FINAL**

En la figura 3.67 se presenta el régimen extremal escalar de la altura de ola significativa en los tres puntos considerados, así como los parámetros de ajuste a la distribución GEV, pudiéndose observar punteados los datos, así como el ajuste (línea) de los mismos a una distribución Weibull en los dos primeros puntos y Gumbel en el tercero.

A partir de la figura 3.67 se establece que la altura de ola significativa con periodo de retorno de 2 años (probabilidad de no-excedencia del 50 %) corresponde a 4.7 m en el punto 1, 4.7 m en el punto 2 y 4.8 m en el punto 3, la altura de ola significativa con periodo de retorno de 10 años (probabilidad de no-excedencia del 90 %) corresponde a 5.4 m en el punto 1, 5.7 m en el punto 2 y 5.9 m en el punto 3.

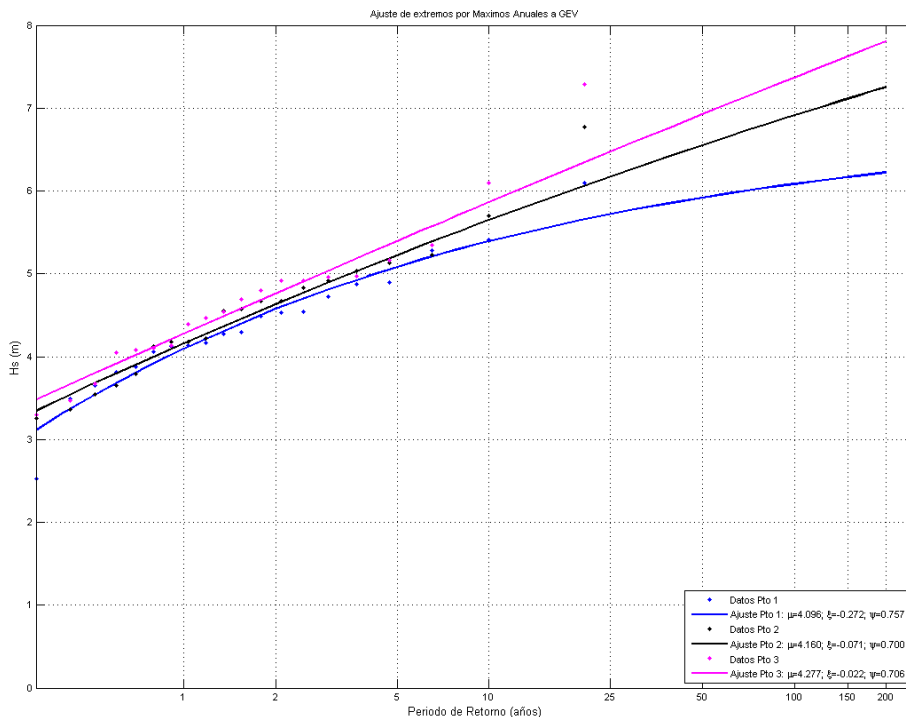


Figura 3.67. Régimen extremal escalar de la altura de ola significativa en los 3 puntos de profundidades indefinidas.

En la figura 3.68 se presenta el régimen extremal escalar del período de pico en los tres puntos considerados, así como los parámetros de ajuste a la distribución GEV, pudiéndose observar punteados los datos, así como el ajuste (línea) de los mismos a una distribución Fréchet en el primer punto, Weibull en el segundo y Gumbel en el tercero.

A partir de la figura 3.68 se establece que el periodo de pico con periodo de retorno de 2 años es del orden de los 11 s (10.7 s para el punto 1, 11 s para el punto 2 y 11,3 s para el punto 3), mientras que el período de pico con período de retorno de 10 años es del orden de los 11.5 s (11.5 s para los puntos 1 y 2 y 12.1 s para el punto 3).

**DOCUMENTO FINAL**

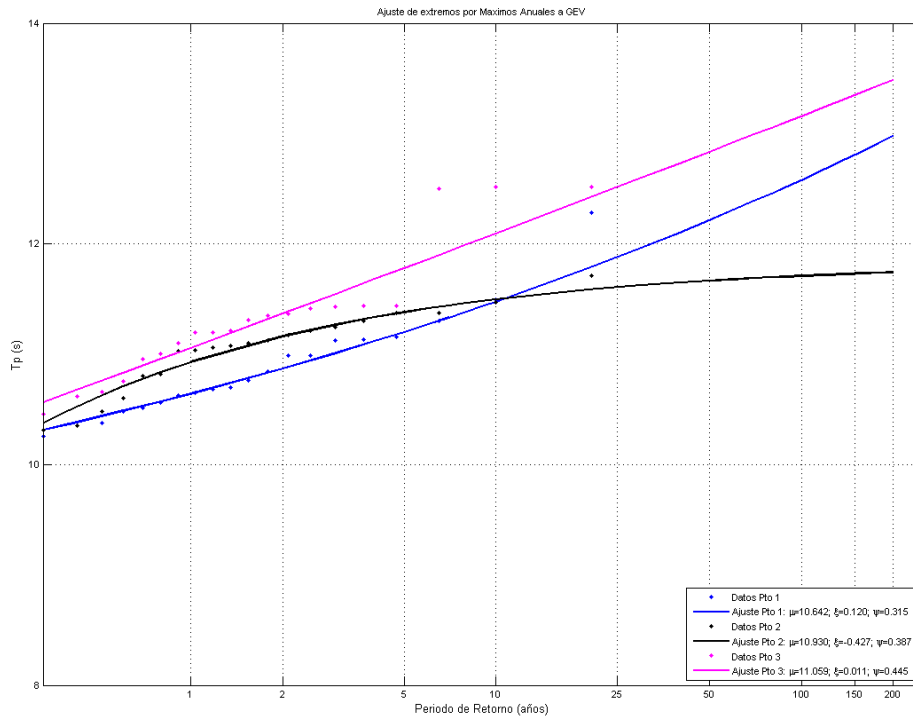


Figura 3.68. Régimen extremal escalar del período de pico en los 3 puntos de profundidades indefinidas.

Asimismo se han determinado los regímenes extremales direccionales diferenciados por sectores de  $22,5^\circ$ . En las figuras 3.69 a 3.74 se muestra el régimen extremal direccional de la altura de ola significativa en todos los sectores agrupados por cuadrantes para cada uno de los 3 puntos. En estas figuras también se presentan los ajustes de cada uno de estos regímenes a la distribución GEV, indicándose los parámetros de ajuste.

A partir de las figuras 3.69 a 3.74 se puede realizar una comparación de las características del oleaje extremal por direcciones de procedencia. Así por ejemplo, se observa que las mayores alturas de olas se producen en general para los oleajes provenientes del sector ENE y NE, aunque cabe destacar que en el punto 3 también los oleajes del E toman relevancia.

La mayor altura de ola significativa con periodo de retorno de 10 años (probabilidad de no-excedencia del 90 %) se produce para el sector ENE y corresponde a 5.3 m, 5.7 m y 5.9 m en los puntos 1, 2 y 3, respectivamente. Para el sector NE se alcanzan alturas de ola significativa de periodo de retorno de 10 años de 5 m, 5.1 m y 4.6 m en los puntos 1, 2 y 3, respectivamente. Cabe destacar que el resto de sectores muestran alturas de ola menores salvo el sector E en el punto 3 en el que se alcanza una altura de ola significativa de 4.6 m para un periodo de retorno de 10 años.

DOCUMENTO FINAL

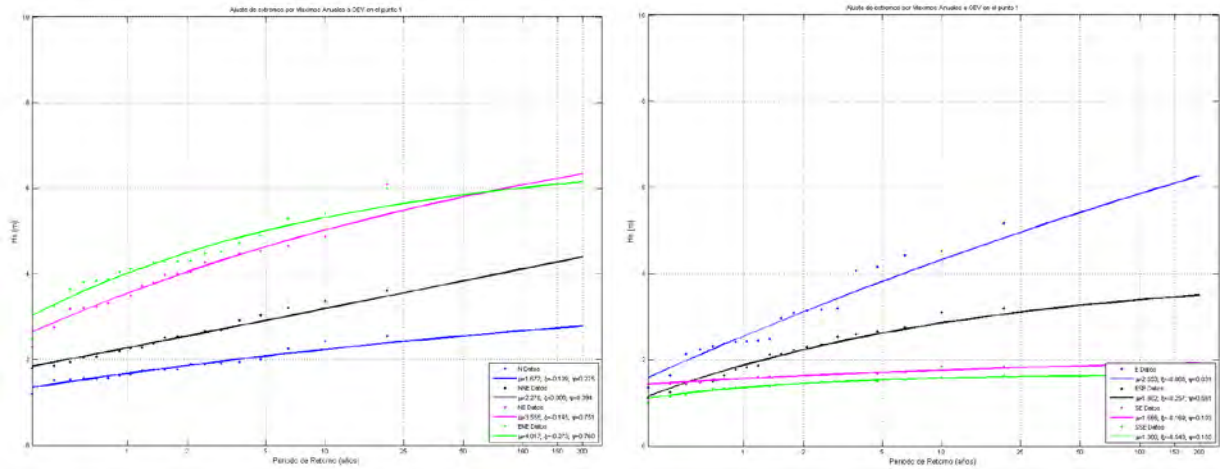


Figura 3.69. Régimen direccional extremal de altura significativa de ola en los cuadrantes 1 y 2 para el punto 1.

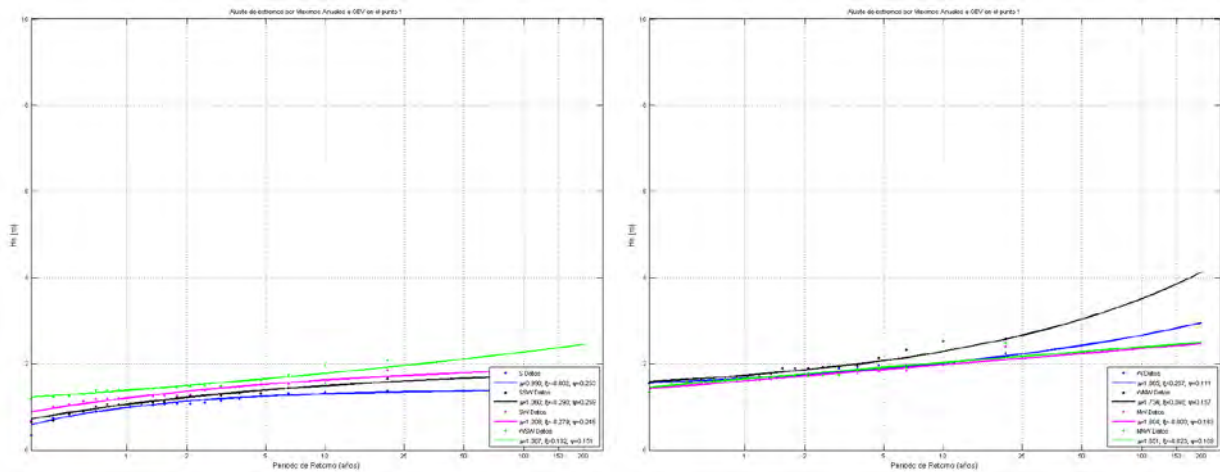


Figura 3.70. Régimen direccional extremal de altura significativa de ola en los cuadrantes 3 y 4 para el punto 1.

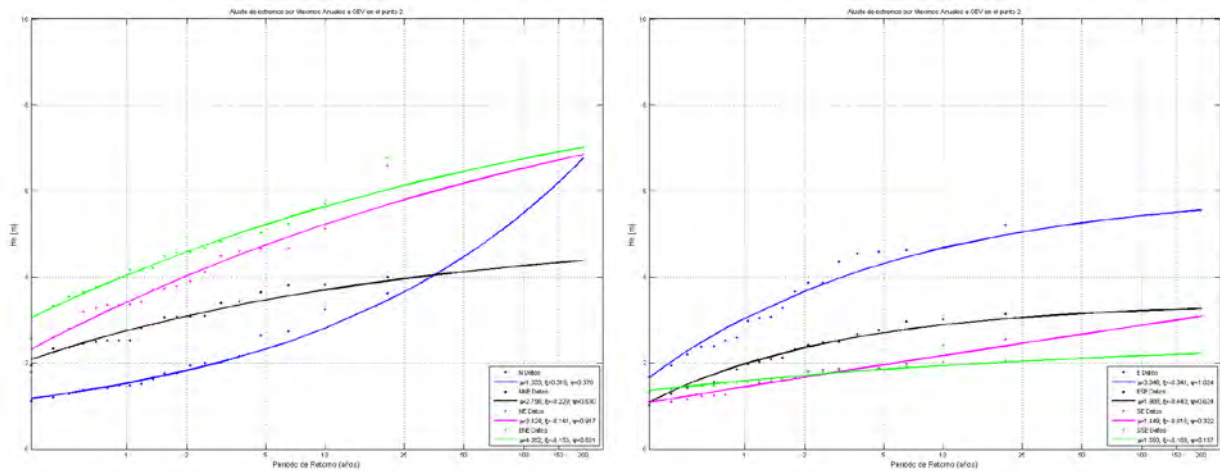


Figura 3.71. Régimen direccional extremal de altura significativa de ola en los cuadrantes 1 y 2 para el punto 2.

DOCUMENTO FINAL

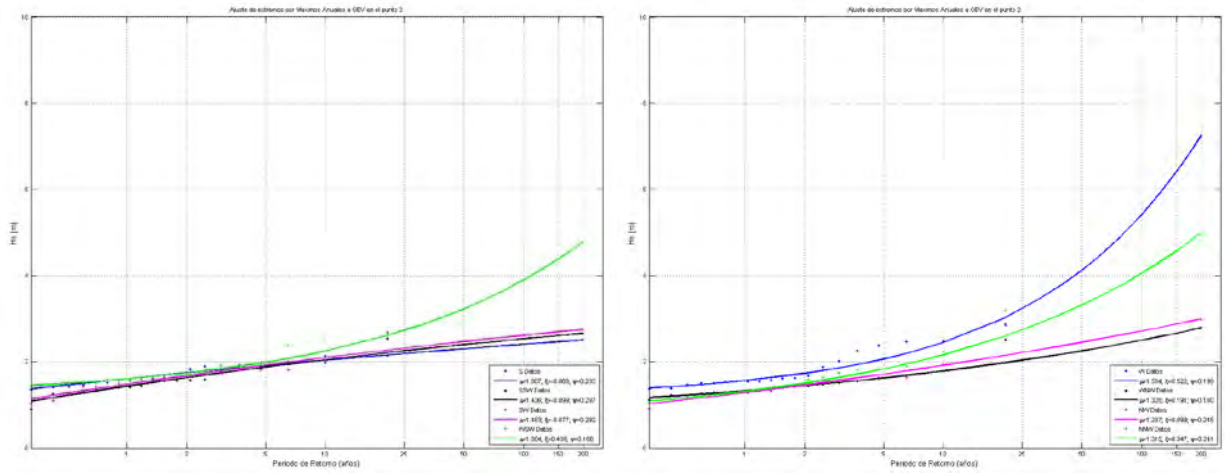


Figura 3.72. Régimen direccional extremal de altura significativa de ola en los cuadrantes 3 y 4 para el punto 2.

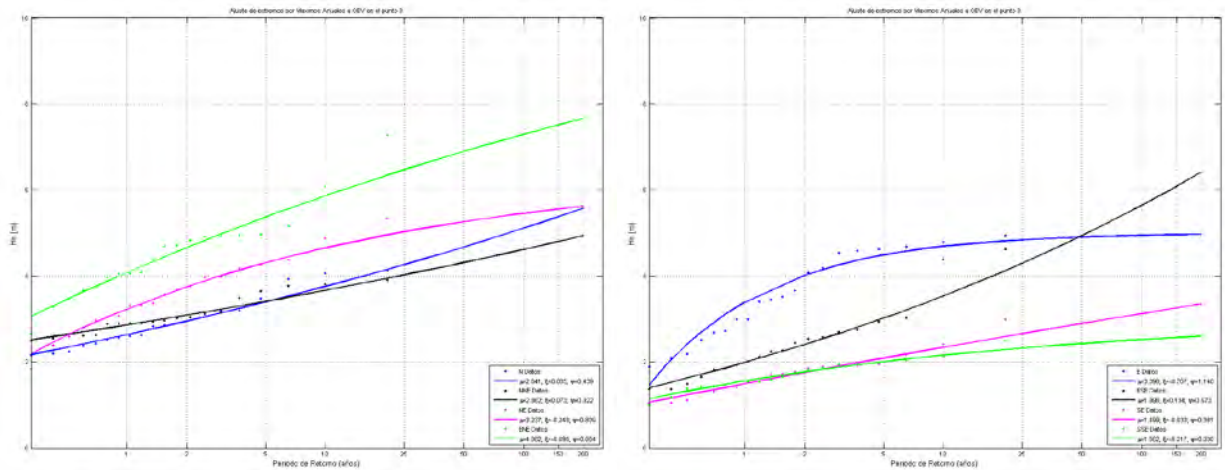


Figura 3.73. Régimen direccional extremal de altura significativa de ola en los cuadrantes 1 y 2 para el punto 3.

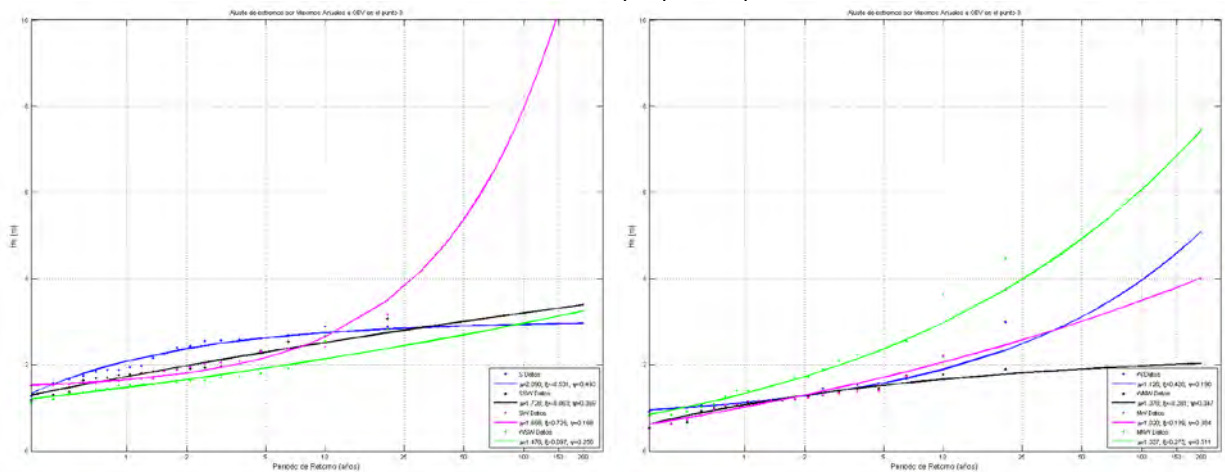


Figura 3.74. Régimen direccional extremal de altura significativa de ola en los cuadrantes 3 y 4 para el punto 3.

DOCUMENTO FINAL

Al igual que para la altura de ola significativa, en las figuras 3.75 a 3.80 se muestran los regímenes extremales direccionales del período de pico, los cuales han sido ajustados a una distribución GEV, cuyos parámetros se pueden consultar en las correspondientes figuras.

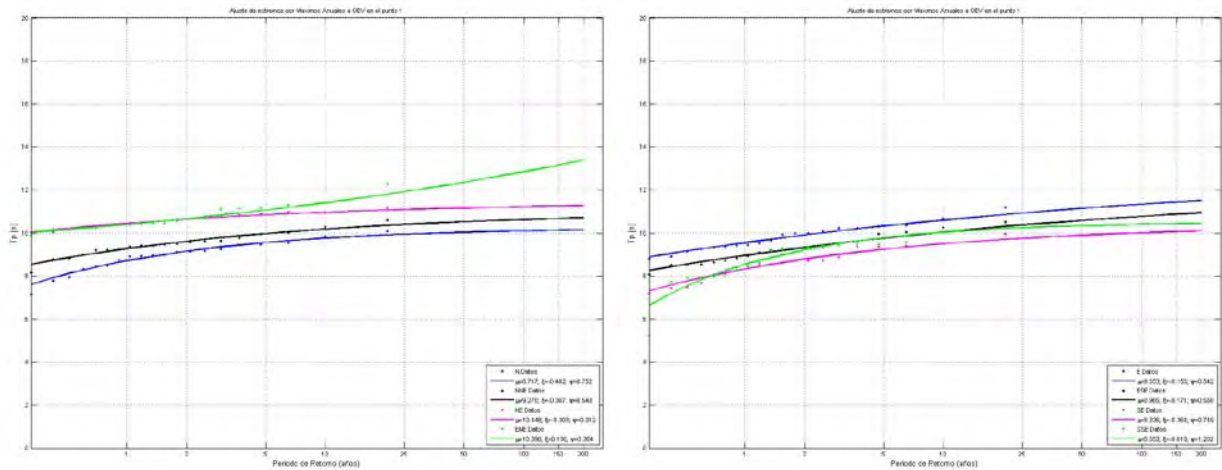


Figura 3.75. Régimen direccional extremal de periodo de pico en los cuadrantes 1 y 2 para el punto 1.

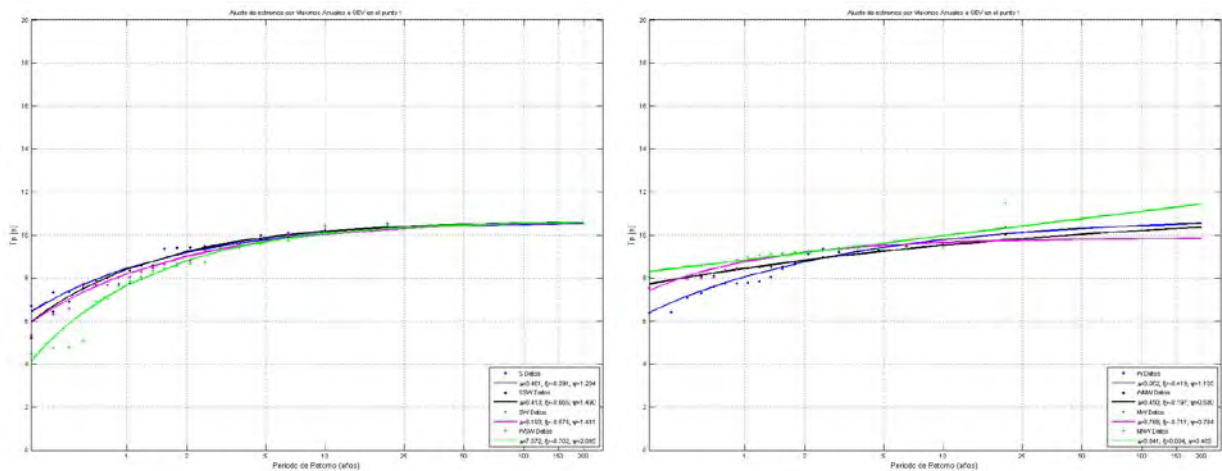


Figura 3.76. Régimen direccional extremal de periodo de pico en los cuadrantes 3 y 4 para el punto 1.

DOCUMENTO FINAL

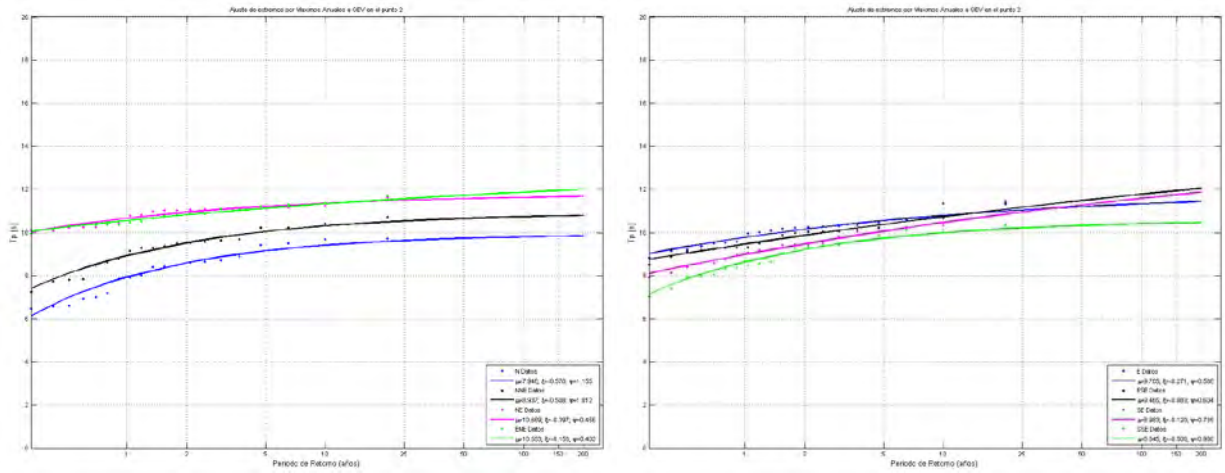


Figura 3.77. Régimen direccional extremal de periodo de pico en los cuadrantes 1 y 2 para el punto 2.

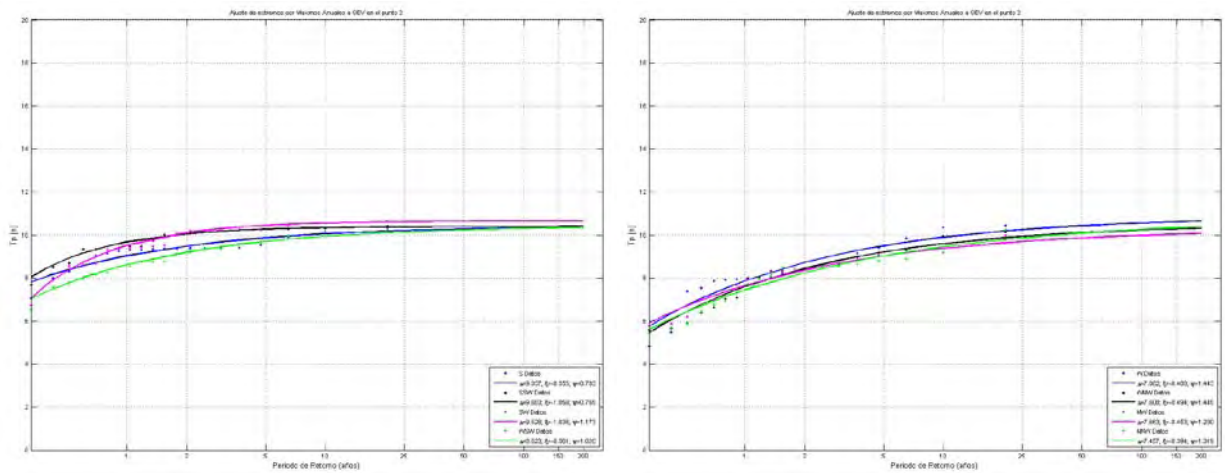


Figura 3.78. Régimen direccional extremal de periodo de pico en los cuadrantes 3 y 4 para el punto 2.

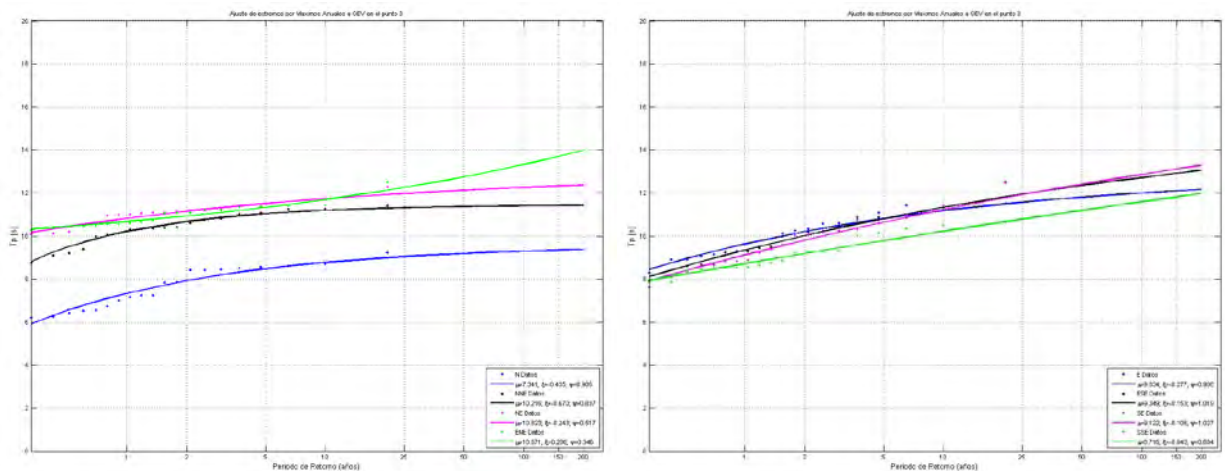


Figura 3.79. Régimen direccional extremal de periodo de pico en los cuadrantes 1 y 2 para el punto 3.

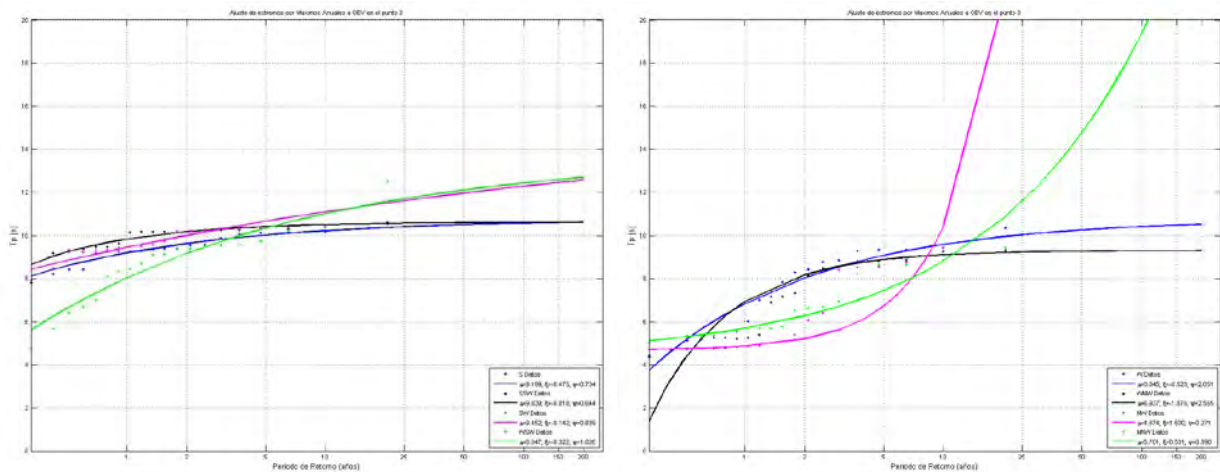
**DOCUMENTO FINAL**


Figura 3.80. Régimen direccional extremal de periodo de pico en los cuadrantes 3 y 4 para el punto 3.

### 3.4. Transferencia del oleaje hacia la costa

#### 3.4.1. Introducción

Una vez establecido el oleaje en profundidades indefinidas en este apartado se lleva a cabo la transferencia del mismo hacia la costa partiendo de unas condiciones de contorno del oleaje definidas por los espectros direccionales indicados en apartados previos y mediante el anidamiento de un modelo de propagación del oleaje. La aplicación de un modelo de propagación requiere la definición de una malla de computación que se extiende desde la posición de los datos del oleaje en aguas profundas hasta la costa, en este caso en los puntos en los que se dispone de los espectros de la base de datos GOW 2.1. Una vez calibrado el oleaje tal y como ha sido indicado en apartados previos, se deben seleccionar los casos representativos a propagar para posteriormente reconstruir las series de oleaje en puntos próximos a la costa. Este proceso es el que se va a detallar en el presente apartado, describiéndose en primer lugar el modelo de propagación utilizado, posteriormente se indicará el método de clasificación empleado para la selección de casos a propagar y finalmente se llevará a cabo la reconstrucción de las series en puntos cercanos a la costa.



### **3.4.2. El modelo numérico para la propagación del oleaje S2O (Swan-to-Oluca)**

#### **3.4.2.1. Descripción del modelo**

En líneas generales se pueden diferenciar dos familias de modelos numéricos para la propagación del oleaje hacia la costa, aquellos que resuelven la fase (basados en las ecuaciones de balance de cantidad de movimiento y flujo de masa) se limitan a áreas relativamente pequeñas mientras que los que promedian la fase (resolviendo las ecuaciones de balance de energía espectral o acción de onda) requieren una menor resolución espacial siendo posible su aplicación a áreas mayores.

En la zona objeto de estudio ha sido necesario, por todas las razones que se indican a continuación en el presente apartado, el acoplamiento de los dos tipos de modelos indicados previamente, utilizándose el sistema de propagación **Swan-to-Oluca (S2O)**. El modelo S2O engloba dos modelos pertenecientes a las familias antes mencionadas: el SWAN y el OLUCA. Cada uno de estos modelos presenta una serie de ventajas respecto al otro que les hace ser útiles para aplicaciones en ámbitos distintos.

El modelo **SWAN** (*Simulating WAVes Nearshore*), desarrollado por Delf University of Technology, se trata de un modelo espectral de propagación del oleaje que resuelve la ecuación de transporte de la densidad de acción de onda espectral.

De los procesos que el oleaje experimenta en su propagación, el modelo SWAN comprende la generación local de oleaje por viento, refracción, reflexión, asomeramiento, disipación de energía por fondo, disipación por white-capping, interacciones no lineales entre componentes y rotura. Sin embargo, no reproduce la difracción en un sentido estricto, sino mediante la incorporación del término de tasa de giro direccional (Holthuijsen et al., 2003). A este respecto, estudios de IH Cantabria han comprobado que la difracción en geometrías complejas no proporciona resultados adecuados, por lo que sólo debe ser utilizado donde se produzcan variaciones importantes en altura de ola dentro de una escala horizontal de varias longitudes de onda.

El modelo **OLUCA-SP** (en adelante simplemente OLUCA) se trata de un modelo espectral no dispersivo de propagación del oleaje que resuelve la fase a partir de la ecuación de la pendiente suave en su aproximación parabólica mediante un modelo de diferencias finitas. Este modelo numérico incorpora procesos fundamentales a asociados a la propagación del oleaje (refracción, difracción, asomeramiento y rotura), además de términos no lineales, simulación de la capa límite turbulenta o laminar y rugosidad por fondo, entre otros. Sin embargo, los efectos de la reflexión en el sentido opuesto al de propagación deben ser despreciables. Esto es asumible si se trata de propagaciones en la costa (zonas costeras y playas) donde se produce la rotura del oleaje y la mayoría de la energía es disipada (GIOC, 2002a).

La ecuación de la pendiente suave en su forma parabólica es la más extendida en el estudio combinado de la refracción y la difracción en grandes dominios, además el

**DOCUMENTO FINAL**

modelo OLUCA es apto para la resolución de problemas de propagación que cubran múltiples longitudes de onda, como es el caso de las propagaciones de este sistema. La principal ventaja es que la resolución numérica puede realizarse desde profundidades indefinidas hasta la costa, sin especificar las condiciones de contorno en la misma.

El modelo OLUCA fue desarrollado inicialmente en la Universidad de Delaware, E.E.U.U., y mejorado posteriormente por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC) de la Universidad de Cantabria. Entre estas mejoras se encuentra su capacidad para la propagación de oleaje irregular, definido mediante la expresión de un espectro bidimensional (frecuencial y direccional), en el borde exterior de la malla de propagación. El modelo OLUCA requiere como dato de entrada en cada nodo del contorno exterior de la malla el estado de mar direccional, caracterizado por un espectro bidimensional, discretizado en componentes frecuenciales y direccionales, las cuales son propagadas de manera simultánea (GIOC, 2000).

En resumen, debido a la naturaleza de las distintas ecuaciones en las que se basan, cada uno de los modelos de propagación planteados es capaz de reproducir adecuadamente sólo algunos de los procesos que experimenta el oleaje en su propagación desde aguas profundas hasta la costa. Así, SWAN resuelve la refracción y el asomeramiento satisfactoriamente, mientras que OLUCA es capaz de tratar, además, la difracción adecuadamente.

Por el contrario, OLUCA requiere una determinada resolución espacial por longitud de onda, lo cual hace inviable su utilización para propagaciones en extensos dominios, en los que SWAN resulta altamente eficiente. Además, SWAN puede considerar la interacción viento-oleaje lo cual, junto con la poca resolución requerida, hacen de él una herramienta eficaz para modelar la transformación del oleaje en grandes áreas de propagación como la del caso estudiado en el presente trabajo.

Para llevar a cabo una propagación del oleaje mixta en la que se emplea el modelo SWAN para la propagación de los oleajes desde los puntos de reanálisis en profundidades indefinidas hasta zonas de aguas más someras donde la difracción comienza a tomar relevancia, punto a partir del cual se emplea el modelo OLUCA hasta la línea de costa, se ha desarrollado la aplicación **S2O** (*Swan-To-Oluca*).

La aplicación S2O obtiene los datos necesarios de las propagaciones del modelo SWAN, para transformarlos y adecuarlos a los requisitos de entrada del modelo OLUCA (véase figura 3.81).

**DOCUMENTO FINAL**

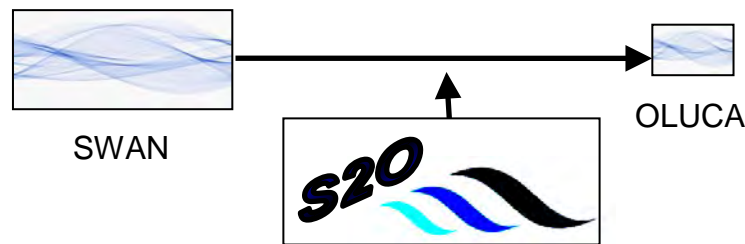


Figura 3.81. Sistema mixto de propagación S20.

Dado que el espectro resultado de la propagación con SWAN tiene componentes angulares entre 0 y 360° y frecuenciales entre 1 y 29 s de periodo y, por tanto, el programa OLUCA es incapaz de propagar toda la energía contenida en él. Es por esto que se ha tenido que recortar dicho espectro resultado de SWAN en direcciones y frecuencias, obteniendo para cada malla de OLUCA un espectro de entrada compatible con las limitaciones del modelo OLUCA.

Así pues, en direcciones se recorta una ventana de ángulos de  $\pm 60^\circ$ , simétrica respecto a la dirección principal de propagación de la malla. De esta forma, se seleccionan sólo las bandas de energía que afectan a la zona de influencia, ya que las componentes despreciadas se dirigen hacia zonas exteriores al dominio de propagación eliminándose las componentes que hacen fallar al modelo, debido a que el modelo OLUCA se vuelve inestable con las componentes que viajan hacia los contornos laterales al encontrar batimetría no decreciente en ellos. Para minimizar este problema se han separado los contornos lo más posible de la zona de estudio.

Por otra parte, en frecuencias se definen las frecuencias máxima y mínima del oleaje de entrada a OLUCA como aquellas que dejan por debajo menos del 5% y por encima más del 95% de energía, limitándose la frecuencia máxima absoluta a  $0.25 \text{ s}^{-1}$  (4 s de periodo mínimo). La energía recortada en las colas del espectro se asigna a las frecuencias máxima y mínima, es decir, no se pierde energía en la propagación sino que se asume que todas las componentes de frecuencia inferior a la mínima o superior a la máxima se propagan como la mínima o la máxima respectivamente.

### 3.4.2.2. Batimetría

La propagación del oleaje con el modelo S20 se realiza sobre una batimetría, la cual se muestra en la figura 3.82. Dicha batimetría ha sido obtenida mediante la combinación de las siguientes fuentes:

- Batimetría de detalle para la zona de Castellón suministrada por la Dirección General de la Sostenibilidad de la Costa y del Mar del año 2009.

**DOCUMENTO FINAL**

- Batimetría de detalle para la zona de Valencia proporcionada también por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar del año 2006.
- Batimetría global "General Bathymetric Chart of the Oceans" (GEBCO) para la zona de aguas profundas. La batimetría GEBCO es una batimetría global con resolución de 1 minuto disponible en el British Oceanographic Data Centre (BDOC). Ha sido realizada a partir de la combinación de datos de calidad contrastada procedentes de sondas de barcos y satélite.
- Cartas náuticas del litoral español del Instituto Hidrográfico de la Marina.

**3.4.2.3. Mallas para el modelo Swan**

Como primera fase en la ejecución del modelo S20 es necesario la definición de la malla computacional para el modelo Swan. En la tabla 3.10 se indican las coordenadas geográficas de las 4 esquinas de la malla (en el WGS84). La malla utilizada posee unas dimensiones aproximadas de 70 kilómetros en dirección longitudinal a la costa y de 44 kilómetros en la dirección transversal hacia la costa, se encuentra orientada al SE y comienza a una profundidad aproximada de 100 m. En la figura 3.82 se presenta la malla utilizada en la propagación, indicándose además la batimetría de la zona de estudio. Asimismo en esta figura aparecen ubicados los puertos de Sagunto y de Burriana con el fin de delimitar la zona objeto de interés de este trabajo.

Punto	Longitud ° E	Latitud ° N
1	-0.125	39.375
2	50.375	39.875
3	0.0625	40.1875
4	-0.4375	39.6875

Tabla 3.10. Coordenadas geográficas de la malla de cálculo para el modelo Swan en el WGS84.

Los forzamientos que se han introducido para la ejecución del modelo Swan han sido:

- Por una parte los espectros de oleaje del reanálisis GOW 2.1 calibrado siguiendo el proceso indicado en apartados previos. Precisamente la malla computacional del Swan se ha establecido ubicando su contorno en aguas profundas en donde existe información de los espectros del reanálisis GOW 2.1. En concreto, en dicho contorno se ha contado con la serie de espectros en 3 puntos. Estos 3 puntos son los ya descritos en el apartado de oleaje en profundidades indefinidas, apareciendo detalladas las coordenadas de los mismos en la tabla 3.8. En la figura 3.83 aparecen localizados estos puntos de oleaje sobre la malla computacional del modelo Swan.

**DOCUMENTO FINAL**

- Por otra parte el campo de vientos de la base de datos Era-Interim / Seawind de la Universidad de Cantabria. En apartados previos se ha caracterizado el régimen de vientos de la zona a partir de 6 puntos, cuyas coordenadas fueron indicadas en la tabla 3.4. En la figura 3.83 también aparecen ubicados estos 6 puntos de viento sobre la malla computacional del modelo Swan.

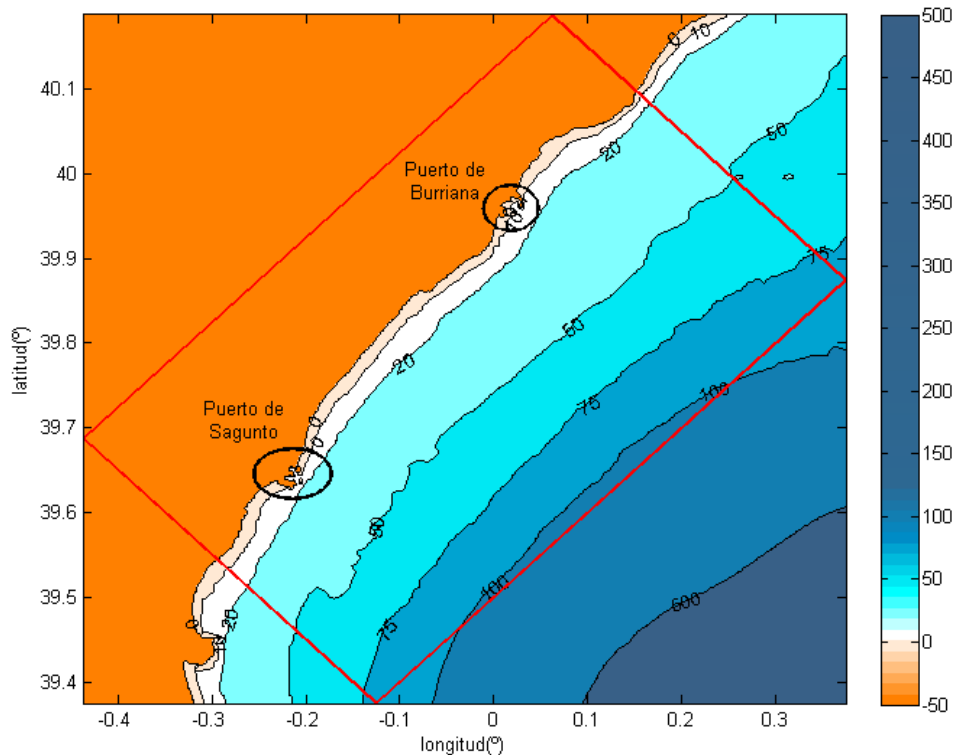


Figura 3.82. Malla computacional del modelo Swan y batimetría.

**DOCUMENTO FINAL**

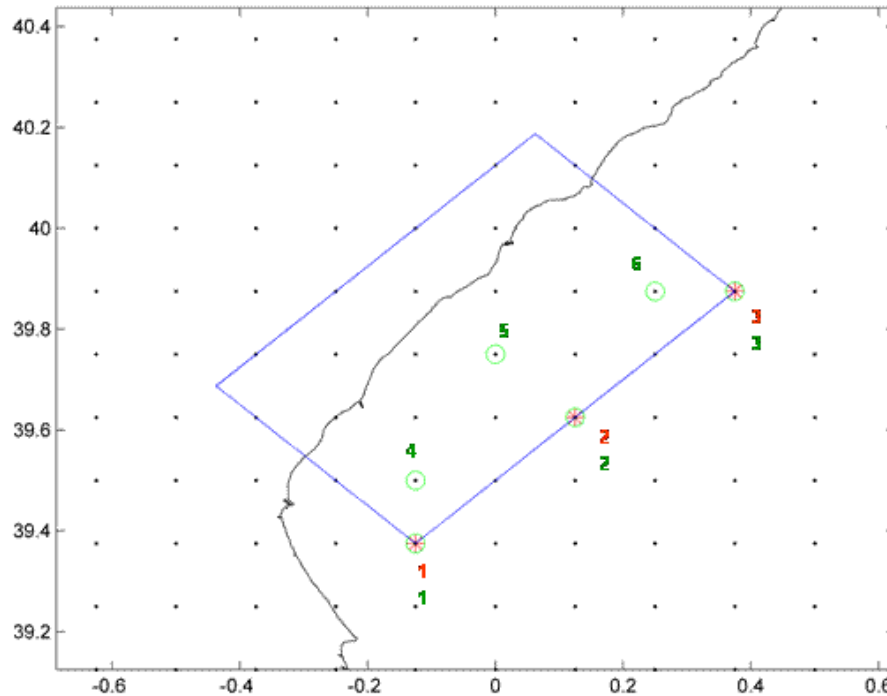


Figura 3.83. Malla computacional del modelo Swan (en color azul), puntos de oleaje (en color rojo) y puntos de viento (en color verde).

**3.4.2.4. Mallas para el modelo Oluca**

En la proximidad de la costa el oleaje se calcula con el modelo Oluca, para lo cual se han diseñado una serie de mallas. Debido a la gran extensión de la zona objeto de estudio (unos 26 km) ha sido necesario dividirla en 7 zonas, siendo la Zona 1 la más al Norte y la Zona 7 la más al Sur. Asimismo, para cada una de las zonas se ha definido un abanico de mallas para poder cubrir las diferentes posibilidades de entrada del oleaje en las mallas del Oluca con diferentes direcciones de procedencia. La información que se introduce en cada nodo de las mallas del Oluca son los espectros direccionales calculados con el modelo Swan y recortados tal y como ha sido detallado en el apartado de descripción del modelo S20.

Las 7 zonas indicadas quedan definidas de la siguiente forma:

- ZONA 1 (El Serradal): del Puerto de Burriana a la Gola de La Ratlla.
- ZONA 2 (Nules): de la Gola de la Ratlla a la Playa de Pedra Rotja.
- ZONA 3 (Moncofar): de la Playa de Pedra Rotja a la Playa de La Torre.
- ZONA 4 (Chilches): de la Playa de El Estanyol a la Gola de La Llosa.

**DOCUMENTO FINAL**

- ZONA 5 (Almenara): de la Gola de La Llosa a la Gola del Estany de Quartell.
- ZONA 6 (Almardá y Canet d'en Berenguer): de la Gola del Estany de Quartell al Puerto de Siles.
- ZONA 7 (Sagunto): del Puerto de Siles al Puerto de Sagunto.

Las características de las mallas del Oluca diseñadas para cada una de las zonas se presentan en las tablas 3.11 a 3.17.

Zona 1		Coordenadas (UTM)	Orientación (°)	Dimensiones (m)	Resolución (m)
E2	X	751576.14	E	5650	10
	Y	4417122.52		6950	10
M2	X	751928.1	ESE	2400	10
	Y	4417438.86		6800	10
P2	X	751945.49	SE	1410	10
	Y	4416760.07		5700	10
S2	X	753152.9	SSE	3600	10
	Y	4414890.53		5700	10

Tabla 3.11. Características de las mallas Oluca para la Zona 1.

Zona 2		Coordenadas (UTM)	Orientación (°)	Dimensiones (m)	Resolución (m)
E2	X	749088.12	E	4500	10
	Y	4414956.44		6950	10
M2	X	749095.56	ESE	1100	10
	Y	4414964.41		5500	10
P2	X	751238.68	SE	2200	10
	Y	4414930.3		6590	10
S2	X	752539.31	SSE	5000	10
	Y	4412702.28		6500	10

Tabla 3.12. Características de las mallas Oluca para la Zona 2.

**DOCUMENTO FINAL**

Zona 3		Coordenadas (UTM)	Orientación (°)	Dimensiones (m)	Resolución (m)
E3	X	747525.82	E	4370	10
	Y	4412077.14		6990	10
M3	X	747522.22	ESE	1300	10
	Y	4411949.98		6990	10
P3	X	749369.99	SE	2500	10
	Y	4411279.72		6950	10
S3	X	750850.27	SSE	6200	10
	Y	4408979.74		6990	10

Tabla 3.13. Características de las mallas Oluca para la Zona 3.

Zona 4		Coordenadas (UTM)	Orientación (°)	Dimensiones (m)	Resolución (m)
E4	X	745405.82	E	4500	10
	Y	4408392.18		6990	10
M4	X	745401.44	ESE	1290	10
	Y	4408267.19		6850	10
P4	X	747210.45	SE	2400	10
	Y	4407445.18		6990	10
S4	X	748656.61	SSE	6150	10
	Y	4405108.35		6990	10

Tabla 3.14. Características de las mallas Oluca para la Zona 4.

Zona 5		Coordenadas (UTM)	Orientación (°)	Dimensiones (m)	Resolución (m)
E5	X	743455.82	E	3500	10
	Y	4404383.76		6990	10
M5	X	743418.29	ESE	800	10
	Y	4404655.33		6850	10
P5	X	745738.39	SE	3150	10
	Y	4403432.51		6990	10
S5	X	747220.06	SSE	6990	10
	Y	4401024.29		6990	10

Tabla 3.15. Características de las mallas Oluca para la Zona 5.



**DOCUMENTO FINAL**

Zona 6		Coordenadas (UTM)	Orientación (°)	Dimensiones (m)	Resolución (m)
E6	X	741205.82	E	2500	10
	Y	4400258.65		6950	10
M6	X	742642.07	ESE	1750	10
	Y	4400340.39		6990	10
P6	X	744934.86	SE	4630	10
	Y	4399279.72		6990	10
S6	X	744412.31	SSE	6990	10
	Y	4396232.46		4770	10

Tabla 3.16. Características de las mallas Oluca para la Zona 6.

Zona 7		Coordenadas (UTM)	Orientación (°)	Dimensiones (m)	Resolución (m)
E7	X	740555.82	E	2850	10
	Y	4396828.35		6500	10
M7	X	742802.89	ESE	2800	10
	Y	4397189.54		6950	10
P7	X	744961.49	SE	6100	10
	Y	4395608.34		6990	10
S7	X	742996.9	SSE	6990	10
	Y	4391999.23		3300	10

Tabla 3.17. Características de las mallas Oluca para la Zona 7.

En las figuras 3.84 a 3.90 se muestra el abanico de mallas diseñadas para cada una de las zonas, así como la batimetría de la zona de estudio.

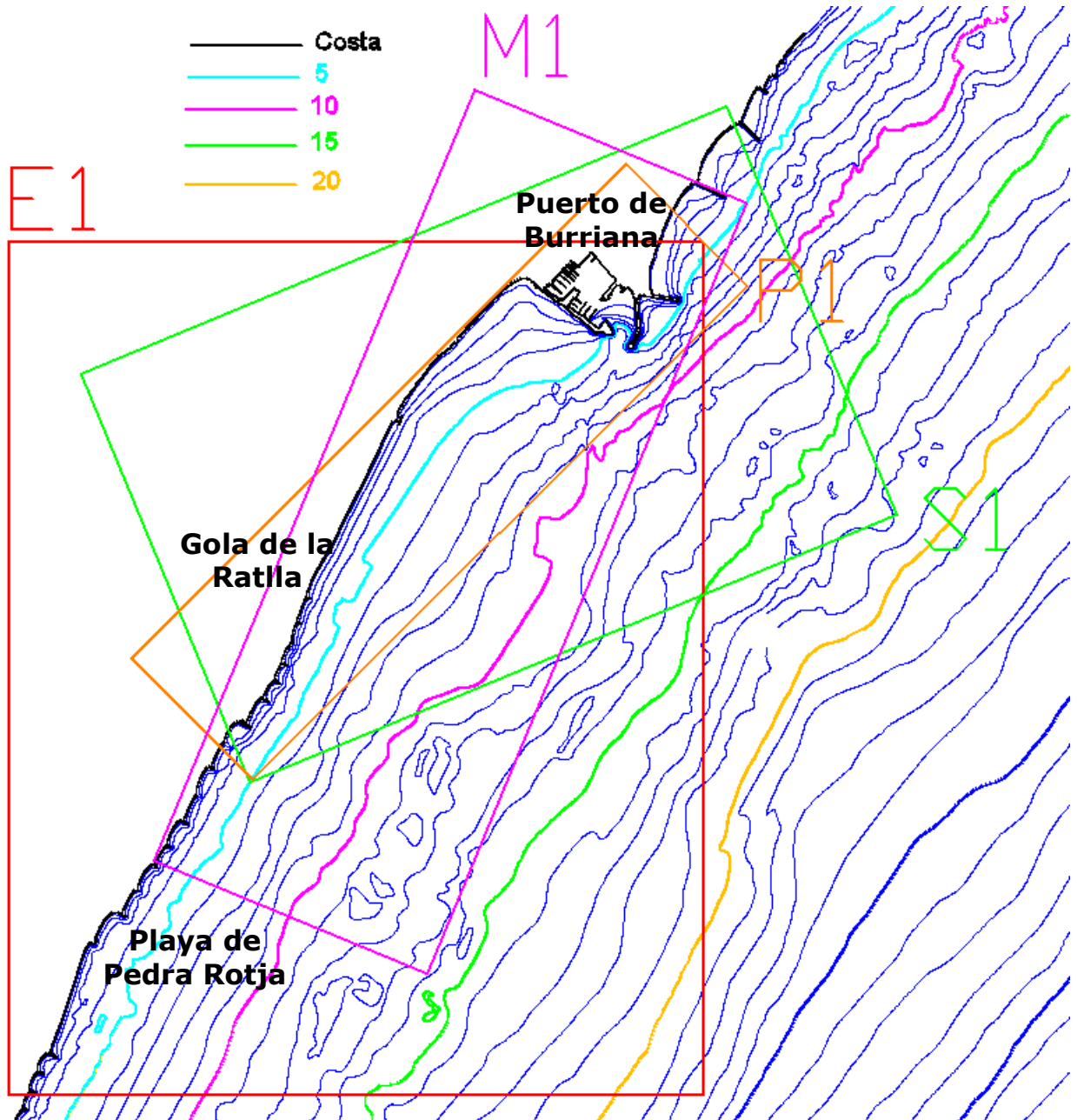


Figura 3.84. Abanico de mallas para la Zona 1.

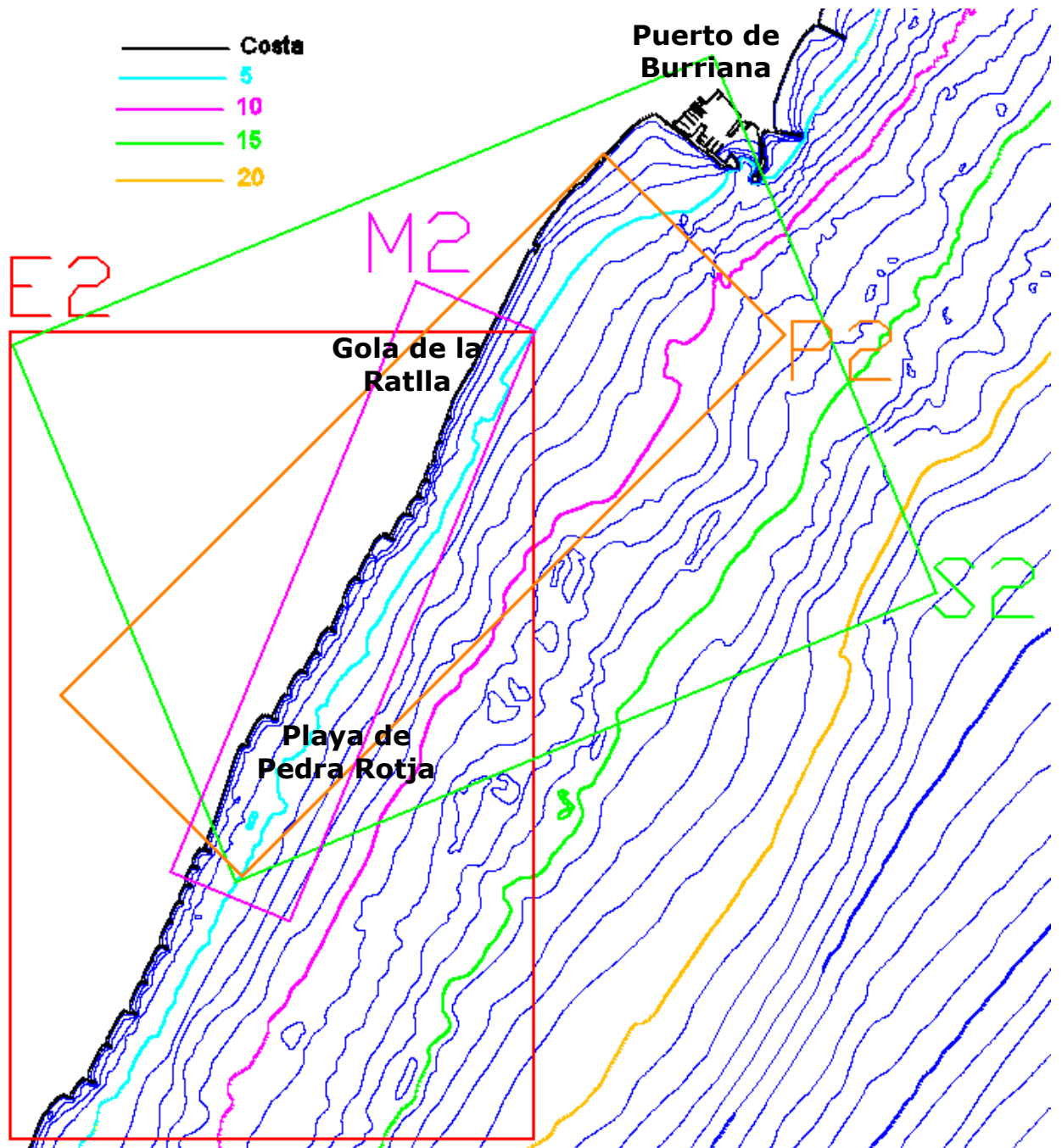


Figura 3.85. Abanico de mallas para la Zona 2.

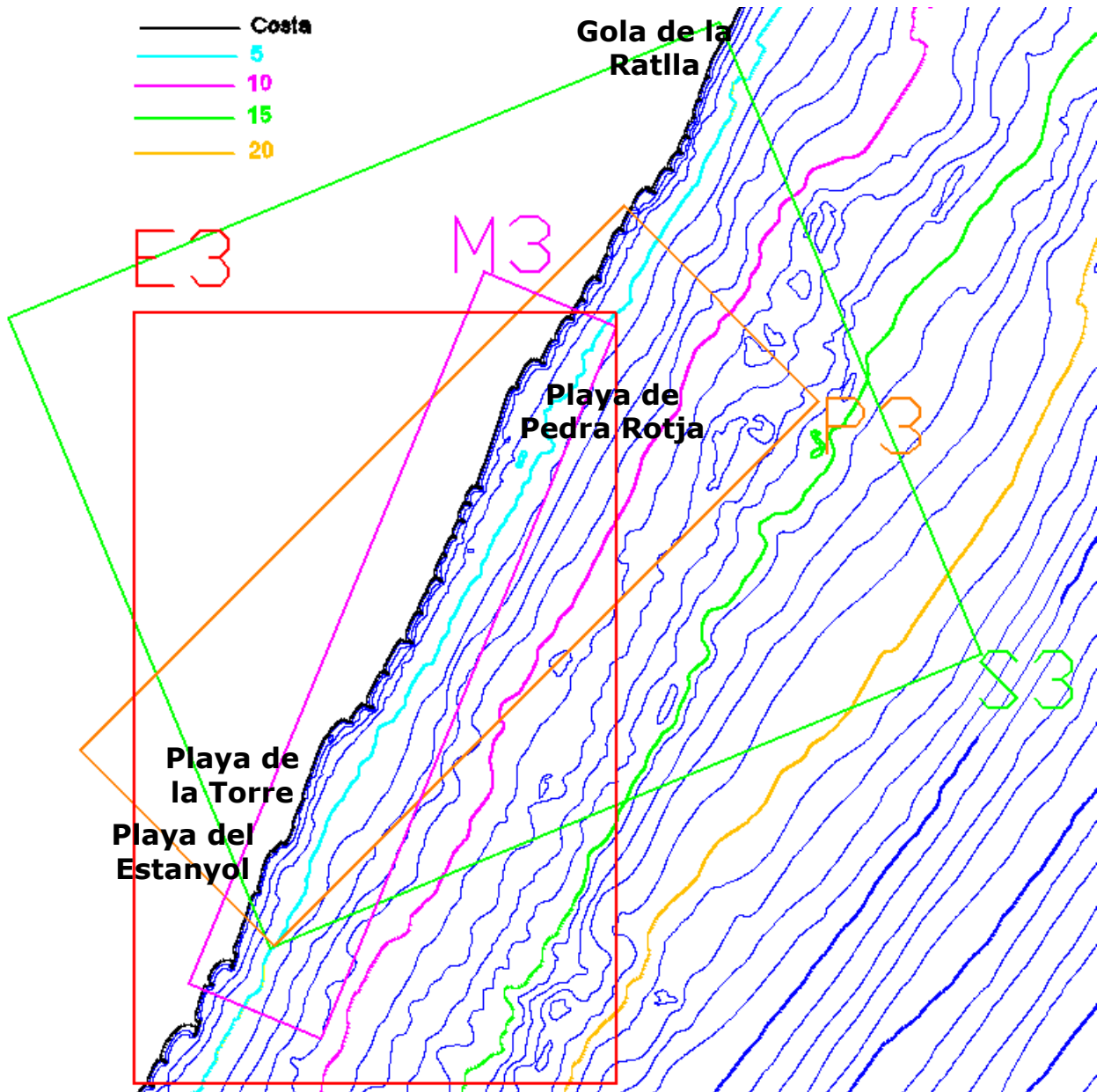


Figura 3.86. Abanico de mallas para la Zona 3.

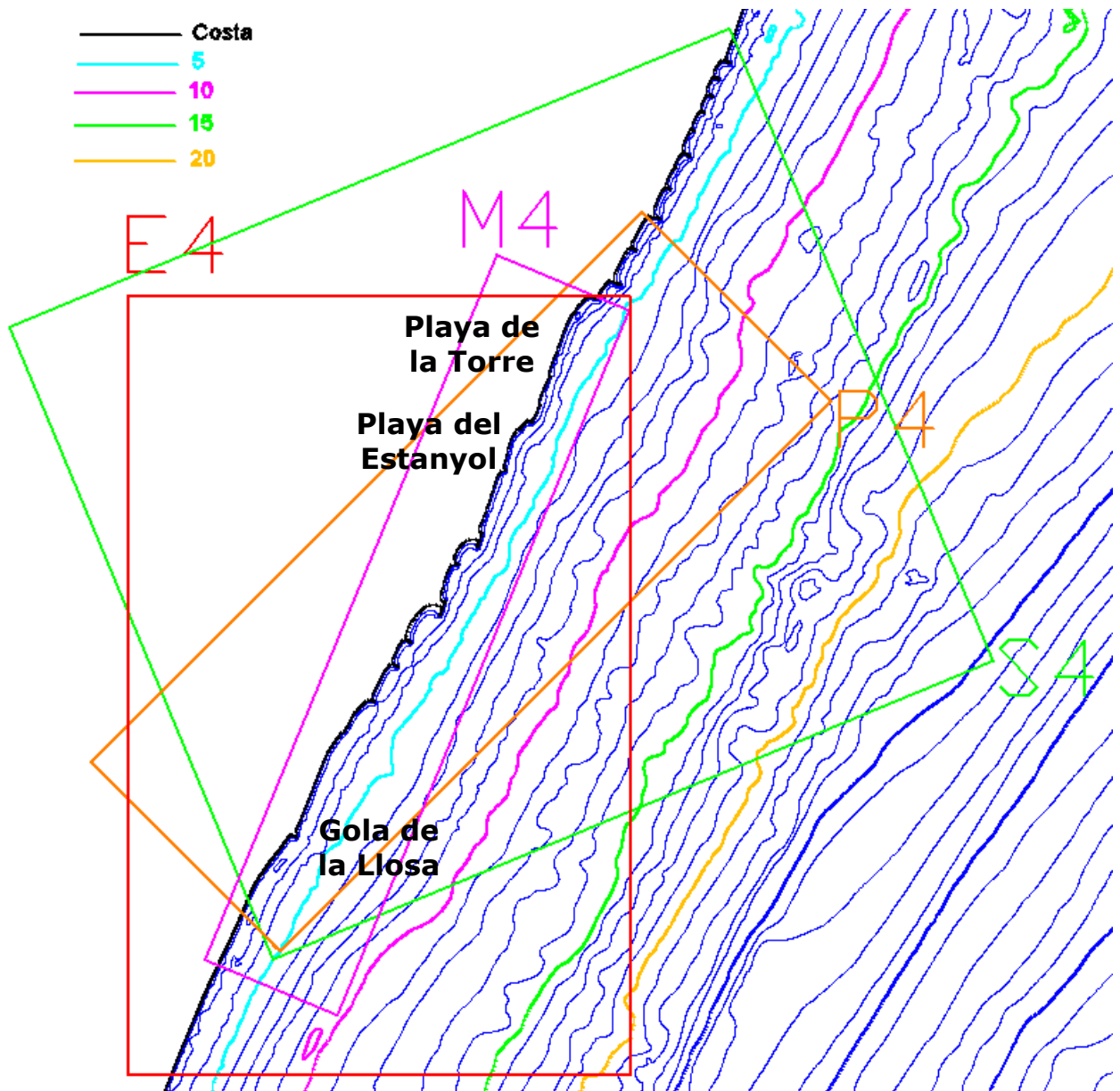


Figura 3.87. Abanico de mallas para la Zona 4.

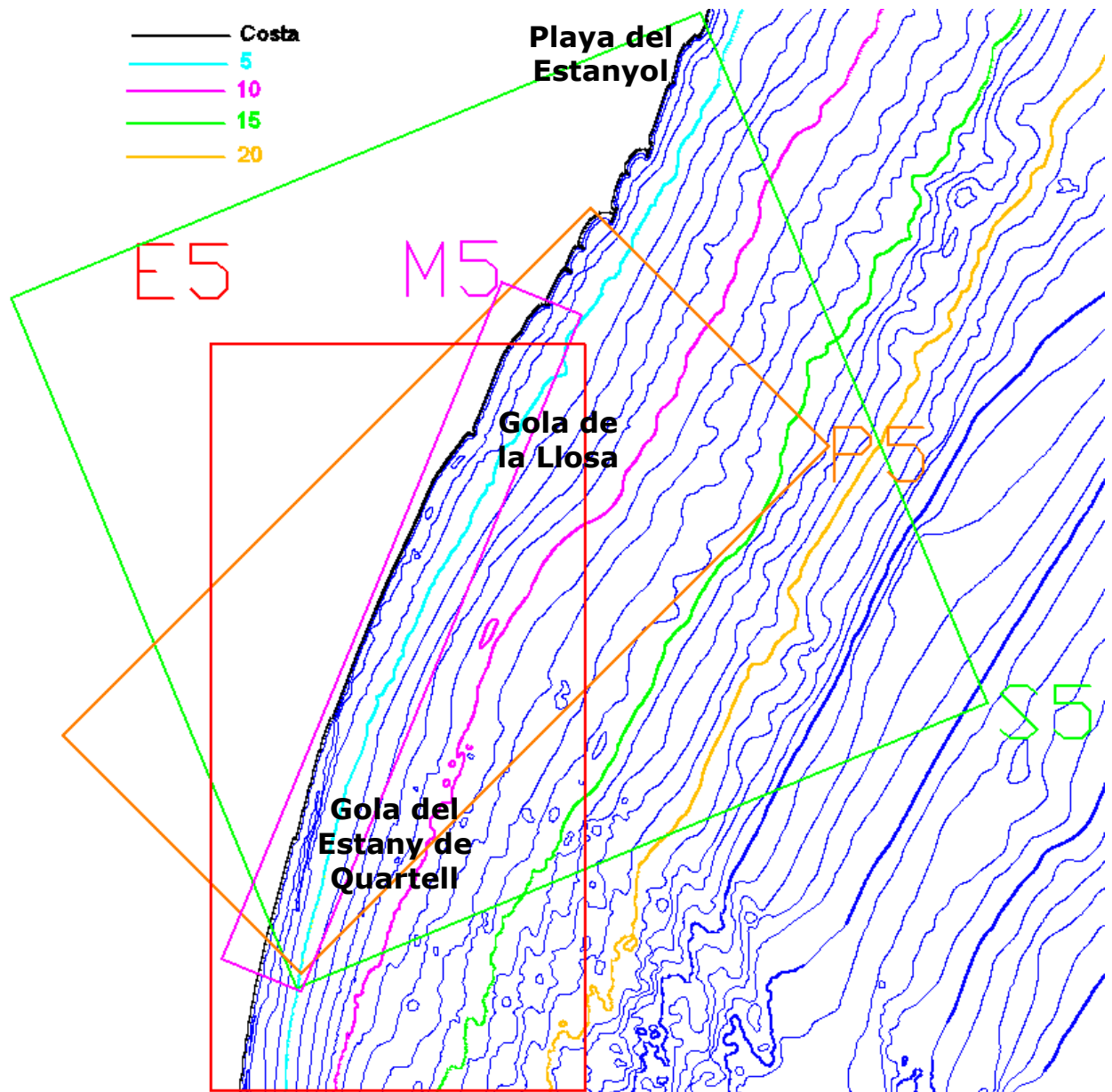


Figura 3.88. Abanico de mallas para la Zona 5.

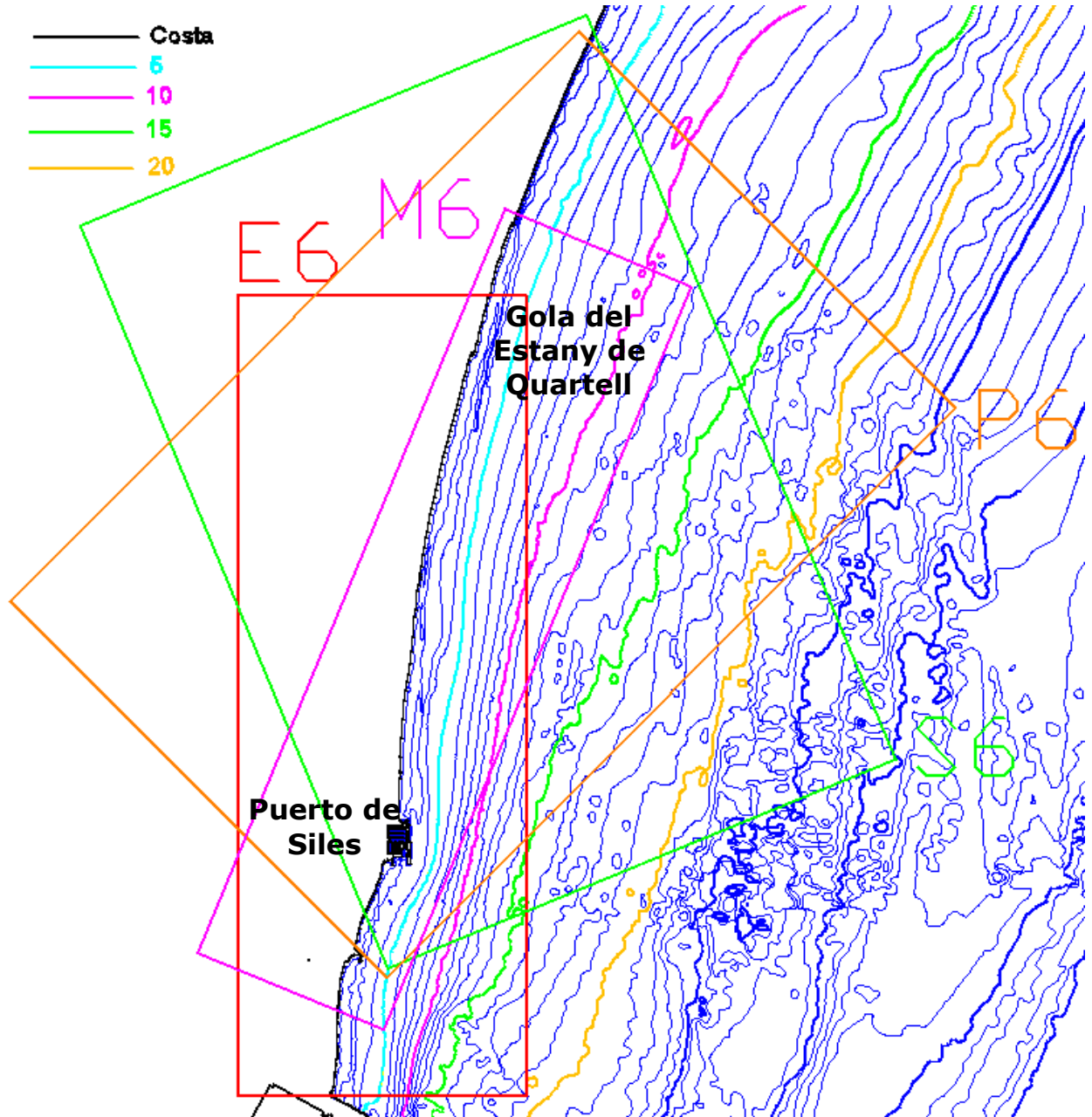


Figura 3.89. Abanico de mallas para la Zona 6.

**DOCUMENTO FINAL**

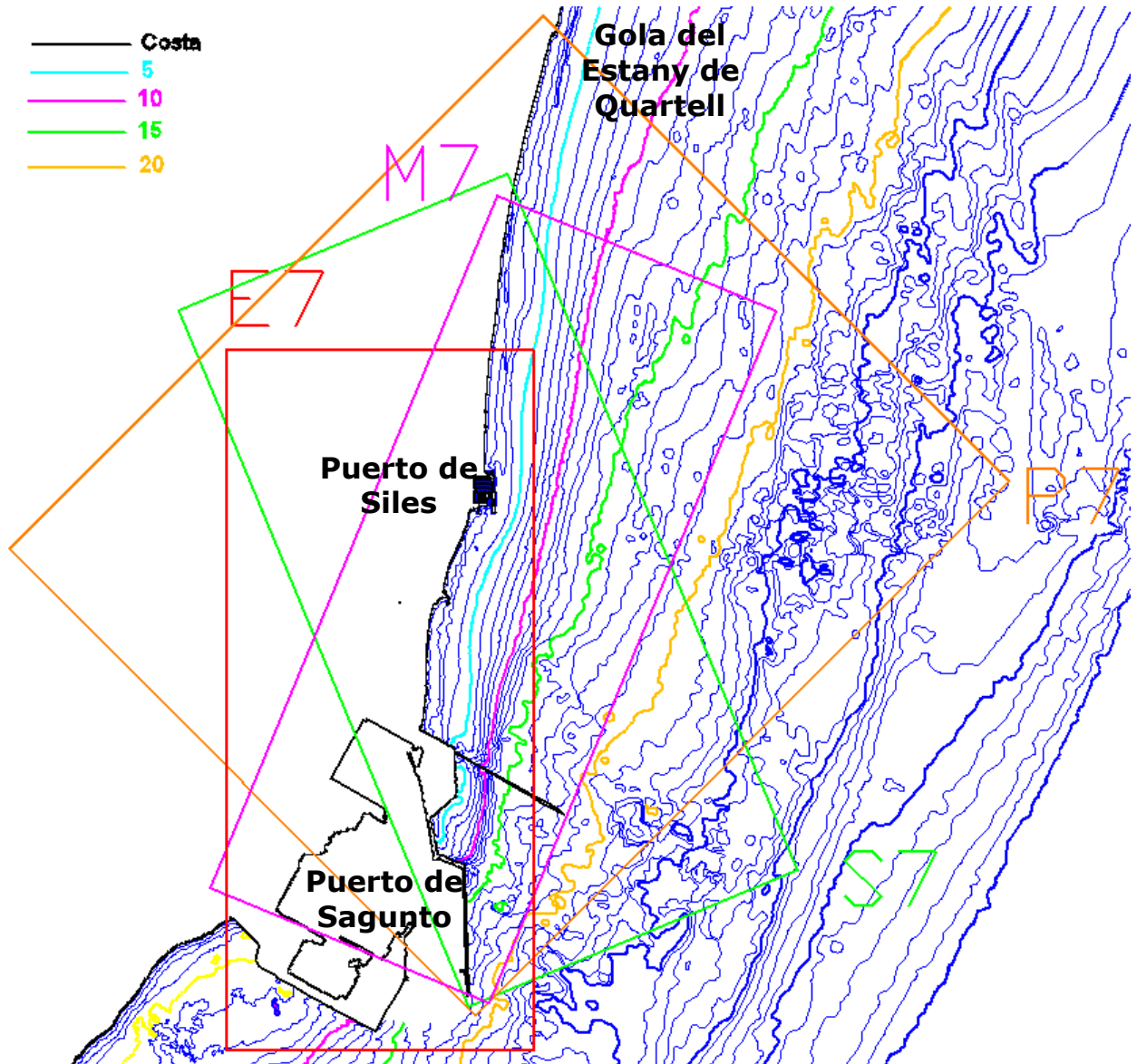


Figura 3.90. Abanico de mallas para la Zona 7.

### **3.4.3. Clasificación de los estados de mar**

El siguiente paso para el establecimiento de las series de oleaje en la proximidad de la costa es la selección de una serie reducida de casos representativos del oleaje en profundidades indefinidas. La selección de los estados de mar a propagar se realiza



**DOCUMENTO FINAL**

mediante el algoritmo de máxima disimilitud (MaxDiss) que permite la identificación de aquel subconjunto  $M$  con la mayor diversidad posible del total de la base de  $N$  datos (Camus et al, 2010). Este algoritmo comienza con la inicialización del subconjunto mediante la elección de un dato de la base original. Los siguientes elementos del subconjunto seleccionados se corresponden con los datos aún pertenecientes a la base de datos de partida que presenta la mayor disimilitud con respecto al subconjunto seleccionado.

El oleaje a clasificar está definido por las series horarias de los parámetros espectrales en los tres puntos en indefinidas indicados en apartados previos de la base de datos de reanálisis GOW 2.1 en los que se dispone de los espectros direccionales en la condición de contorno en la malla de propagación del Swan.

### **3.4.3.1. Algoritmos de máxima disimilitud (MaxDiss)**

Los algoritmos de máxima disimilitud consisten en la selección de un subconjunto de datos representativo de la muestra de datos de partida. Por tanto, si se dispone de una muestra de datos  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  compuesta por  $N$  vectores  $n$ -dimensionales, el objetivo de este algoritmo consiste en obtener un número  $M$  de vectores  $\{v_1, \dots, v_M\}$  de los datos de partida que representen la diversidad de estos datos. El algoritmo comienza con la inicialización del subconjunto  $\{v_1\}$  mediante la transferencia de un dato de la base de partida. La selección del resto de elementos se realiza iterativamente, y en cada ciclo se transfiere al subconjunto aquel dato perteneciente a la base de datos de partida con la mayor disimilitud respecto al subconjunto seleccionado.

Este algoritmo fue descrito por Kennard y Stone (1969) y admite distintas versiones dependiendo del criterio considerado en la inicialización del subconjunto y en el criterio de selección del resto de datos del subconjunto. En este trabajo el elemento inicial del subconjunto  $\{v_1\}$  es el estado de mar con la mayor altura de ola significativa.

Una vez seleccionado el primer elemento del subconjunto, la selección del resto de elementos se realiza en dos fases. En primer lugar, para cada dato aún perteneciente a la base de datos de partida, se calcula la distancia o disimilitud con todos los elementos del subconjunto y se define una única distancia entre este dato y el subconjunto, según distintos criterios. En segundo lugar, una vez que se dispone de la distancia entre cada dato de la muestra de partida y el subconjunto, se elige aquel dato con el máximo valor de esta distancia.

Por ejemplo, si en el subconjunto ya existen  $R$  ( $R \leq M$ ) datos seleccionados, primero se calcula la disimilitud entre el dato  $i$  de la muestra de datos  $N-R$  y los  $j$  elementos pertenecientes al subconjunto  $R$ :

**DOCUMENTO FINAL**

$$d_{ij} = \|x_i - v_j\|; i = 1, \dots, N - R; j = 1, \dots, R$$

Posteriormente se calcula la disimilitud  $d_{i,subconjunto}$  entre el dato  $i$  y el subconjunto  $R$ , esta definición admite varios criterios (Willet et al., 1996). Después de diversas pruebas, el subconjunto de casos seleccionados más representativo de los datos de partida se consigue definiendo la distancia  $d_{i,subconjunto}$  como:

$$d_{i,subconjunto} = \min \{ \|x_i - v_j\|; i = 1, \dots, N - R; j = 1, \dots, R \}$$

En segundo lugar, una vez calculadas las  $N-R$  disimilitudes según el criterio elegido, el dato con la máxima disimilitud es seleccionado para ser incluido en el subconjunto.

Los algoritmos de máxima disimilitud presentan un tiempo de cálculo de  $O(m^2N)$  para la selección de un subconjunto de  $M$  datos a partir de una base de datos de  $N$  elementos. En este trabajo se ha aplicado una versión simplificada (Polinsky et al., 1996) que permite reducir el tiempo de computación a  $O(mN)$ .

En esta versión, el cálculo de la distancia  $d_{i,subconjunto}$ , definida como el mínimo de las distancias entre el elemento  $i$  y los  $R$  elementos pertenecientes al subconjunto, no supone determinar cada una de las distancias entre los diferentes elementos,  $d_{ij}$ . Por ejemplo, en la selección del elemento  $r$ , la definición de la distancia  $d_{i,subconjunto}$  se define como el mínimo de la distancia entre el dato  $i$  de la muestra de datos de partida (compuesta en este ciclo del algoritmo por  $N-(R-1)$  elementos) y el último dato añadido al subconjunto  $R$ , y la distancia mínima entre el dato  $i$  y los datos del subconjunto  $R-1$  calculada en el paso anterior.

$$d_{i,subconjunto}^{\min} = \min [d_{i,R}, d_{i,subconjunto(R-1)}^{\min}]$$

**3.4.3.2. Metodología para la selección de los estados de mar a propagar**

En la metodología que se aplica en este trabajo se considera la variabilidad espacial del clima marítimo en profundidades indefinidas. Esto significa que cada situación horaria del clima marítimo se define a partir de las condiciones del oleaje en el contorno del área de estudio y el campo de vientos sobre toda el área.

En primer lugar es necesario determinar el número de nodos de reanálisis que se van a considerar en la definición del clima marítimo en profundidades indefinidas. En el caso de la malla computacional del Swan se disponen los espectros en una serie de puntos en el contorno de la malla, en concreto en 3 puntos, los cuales aparecen marcados en color verde en la figura 3.91. Para la definición de la variabilidad espacial del clima marítimo y la selección de un conjunto de casos representativos del clima en aguas profundas se han considerado estos 3 puntos (Oleaje MaxDiss), utilizándose los parámetros

**DOCUMENTO FINAL**

espectrales  $H_s$ ,  $T_m$  y  $\theta_m$  para cada punto. Por otro lado, para definir las características del viento simultáneas al oleaje se han empleado los parámetros  $W_x$  (componente de la velocidad del viento en dirección x) y  $W_y$  (componente de la velocidad del viento en dirección y) de los 6 puntos indicados en color rojo en la figura 3.91 (Viento MaxDiss), perteneciente a la malla de vientos Era-Interim / Seawind. La numeración empleada para identificar los puntos de oleaje y los puntos de viento es la que se muestra en la figura 3.83 (puntos de oleaje en color rojo y puntos de viento en color verde).

Por tanto, los datos de oleaje en el contorno se definen como:

$$X_i = \{H_{s,1}, T_{m,1}, \theta_{m,1}, \dots, H_{s,3}, T_{m,3}, \theta_{m,3}, W_{x,1}, W_{y,1}, \dots, W_{x,6}, W_{y,6}\}_i \quad i = 1, \dots, N$$

donde  $N$  es el número total de datos,  $N=174.576$  en el caso de la base de datos GOW 2.1, y  $n$  la dimensión de los datos, en este caso  $n=21$ .

En la zona objeto de estudio no es necesario incluir el efecto del nivel del mar en la propagación del oleaje debido a que las variaciones de dicho nivel son pequeñas. Así que todas las propagaciones se realizan con un único nivel.

Generalmente, las distintas componentes de los espacios de alta dimensionalidad suelen estar correlacionadas, lo que supone que existe información redundante. La técnica del análisis de las componentes principales permite reducir la dimensionalidad de una muestra de datos mediante la proyección en un nuevo espacio de menor dimensión conservando el máximo de la varianza de los datos. En el caso del clima marítimo en profundidades indefinidas, la reducción de la dimensionalidad facilita la posterior aplicación de la técnica de selección MaxDiss.

Este método estadístico descompone una determinada variable numérica espacio-temporal  $R(x,t)$  en una combinación lineal de modos o funciones ortogonales numéricas (EOFs). Estos modos espaciales definen la nueva base de proyección y representan aquellas direcciones del espacio donde los datos tienen la mayor varianza. Las proyecciones sobre esta nueva base son las componentes principales (PCs). Por tanto, una variable numérica espacio temporal se puede expresar como:

$$R(x,t) = \overline{R(x)} + \sum_{i=1}^n EOF_i(x) \cdot PC_i(t)$$

donde  $\overline{R(x)}$  es la media de la variable,  $EOF_i(x)$  son los modos espaciales o vectores de proyección,  $PC_i(t)$  son las componentes temporales y  $n$  es la dimensión espacial de los datos de partida. La proyección de los datos sobre cada modo temporal explica una determinada varianza de los mismos. Los EOFs están numerados de mayor a menor en función de la cantidad de varianza. Como el objetivo es proyectar los datos en un espacio de menor dimensión, se suele considerar un número  $d$  de EOFs, tal que  $d \ll n$ .

DOCUMENTO FINAL

$$R(x, t) \approx \overline{R(x)} + \sum_{i=1}^d EOF_i(x) \cdot PC_i(t)$$

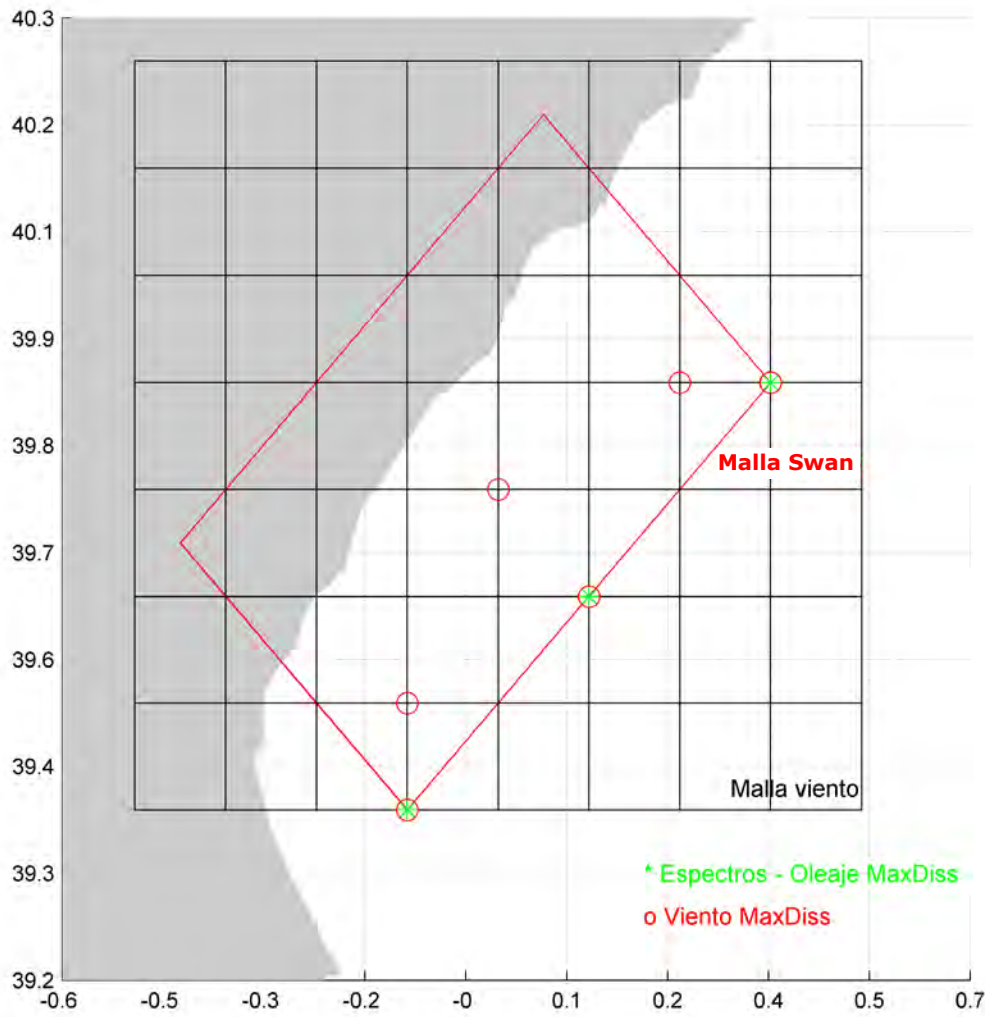


Figura 3.91. Puntos de oleaje y viento utilizados en la selección de los casos representativos del clima marítimo en profundidades indefinidas mediante MaxDiss.

La aplicación de esta técnica requiere, en primer lugar, la descomposición de las direcciones del oleaje y del viento en sus componentes zonal y meridional ( $x$  y  $y$ ), y en segundo lugar, la estandarización de todas las variables para evitar problemas debido a la diferencia de escalas. De tal manera que los datos quedan definidos de la siguiente forma:

$$X'_i = \{H_{s,1}, T_{m,1}, \theta_{mx,1}, \theta_{my,1}, \dots, H_{s,3}, T_{m,3}, \theta_{mx,3}, \theta_{my,3}, W_{x,1}, W_{y,1}, \dots, W_{x,6}, W_{y,6}\}_i \quad i = 1, \dots, N$$

**DOCUMENTO FINAL**

y una vez estandarizados:

$$X_i^* = \{H_1, T_1, \theta_{x,1}, \theta_{y,1}, \dots, H_3, T_3, \theta_{x,3}, \theta_{y,3}, W_{x,1}, W_{y,1}, \dots, W_{x,6}, W_{y,6}\}_i \quad i = 1, \dots, N$$

Posteriormente se aplica la técnica de componentes principales a los datos del clima marítimo e estandarizados. La media temporal de cada variable es cero debido a la estandarización, por lo que:

$$X^*(x, t) = \sum_{i=1}^d EOF_{X^*_i}(x) \cdot PC_{X^*_i}(t)$$

A mayor número de EOFs considerados mayor es la varianza total explicada y mayor la aproximación a los datos espacio-temporales originales.

Una vez definido el clima marítimo multidimensional y reducida su dimensionalidad mediante la proyección en la base formada por las EOFs, se aplica el algoritmo MaxDiss a las componentes principales  $PC_{X^*_i}(t)$  del espacio reducido para seleccionar los  $M$  casos representativos que se van a propagar mediante un modelo numérico. Se ha considerado un número de componentes principales  $d=15$  que explican un 99.0% de la varianza total de los datos originales.

El primer caso seleccionado se corresponde con aquel dato que presenta la mayor altura de ola significativa en el contorno del área considerada. El subconjunto seleccionado con el algoritmo MaxDiss en el espacio de proyección de los EOFs no se reconstruye por medio de los  $d$  modos espaciales  $EOF_{X^*_i}$  considerados para volver al espacio original. Los casos seleccionados se buscan en la base de datos de partida, de esta forma se dispone de situaciones reales a propagar.

En este trabajo se han considerado 60 casos, siendo por tanto,  $M=60$ . El subconjunto formado por  $M=60$  casos en el espacio de proyección de las EOFs se define como:

$$D_j^{EOF} = \{PC_{X^*_1}^D, \dots, PC_{X^*_d}^D\}_j \quad j = 1, \dots, M$$

que en el espacio original de los datos se define como:

$$D_j = \{H_{s,1}^D, T_{m,1}^D, \theta_{m,1}^D, \dots, H_{s,3}^D, T_{m,3}^D, \theta_{m,3}^D, W_{x,1}^D, W_{y,1}^D, \dots, W_{x,6}^D, W_{y,6}^D\}_j \quad j = 1, \dots, M$$

Dada la elevada dimensión de los datos seleccionados, en la figura 3.92 se muestran la distribución de los 60 casos seleccionados (en verde) sobre los datos de partida (en rojo) para los tres parámetros  $\{H_s, T_m, \theta_m\}$  del punto 2 de oleaje indicado en la figura 3.83 y los dos parámetros  $\{W_x, W_y\}$  del punto 2 de viento localizado en la figura 3.83.

DOCUMENTO FINAL

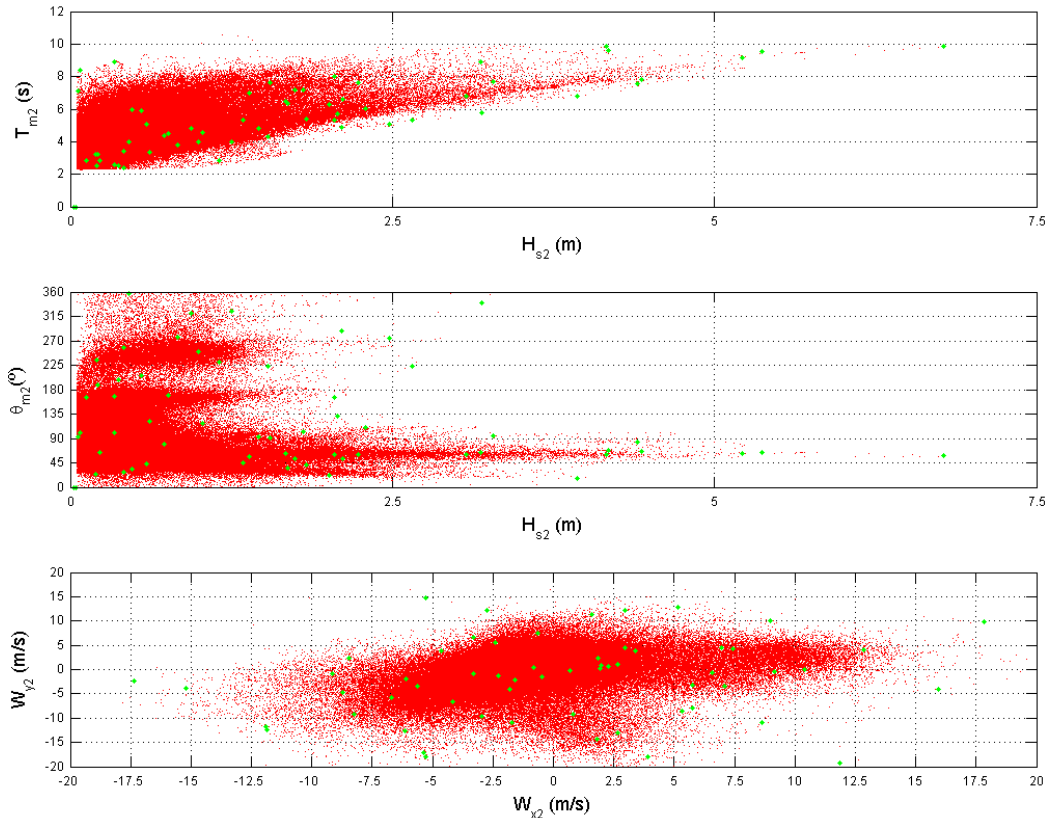


Figura 3.92. Distribución de los 60 casos seleccionados con MaxDiss correspondientes a los datos del punto 2 de oleaje y punto 2 de viento (véase figura 3.83 en la que se identifica cada punto).

Cada uno de los casos seleccionados está definido según se muestra en la figura 3.93 para los 4 primeros casos. En esta figura se puede observar para cada uno de los 4 primeros casos la información de oleaje (en color azul) y de viento (en color verde) para los puntos indicados (3 puntos de oleaje y 6 puntos de viento). En el caso del oleaje las flechas indican la dirección media de procedencia de éste y la magnitud de las mismas hacen referencia a un valor de altura de ola significativa más elevado o más pequeño. Por otra parte, en el caso del viento las flechas indican la dirección de procedencia del viento y la magnitud de las mismas hacen referencia a un valor de intensidad de viento más elevado o más pequeño.

Tal y como puede ser observado en la figura 3.93, el Caso 1 es un caso en el que el viento y la dirección media del oleaje proceden del primer cuadrante, el Caso 2 es un caso en el que el viento y la dirección media del oleaje provienen del tercer cuadrante, el Caso 3 es un caso con vientos del primer cuadrante pero con oleaje de escasa magnitud y, por último, el Caso 4 es un caso en el que el viento y la dirección media del oleaje proceden del cuarto cuadrante. Merece la pena comentar que en el Mediterráneo los espectros de oleaje pueden ser bimodales, enmascarando el parámetro de dirección media este hecho.

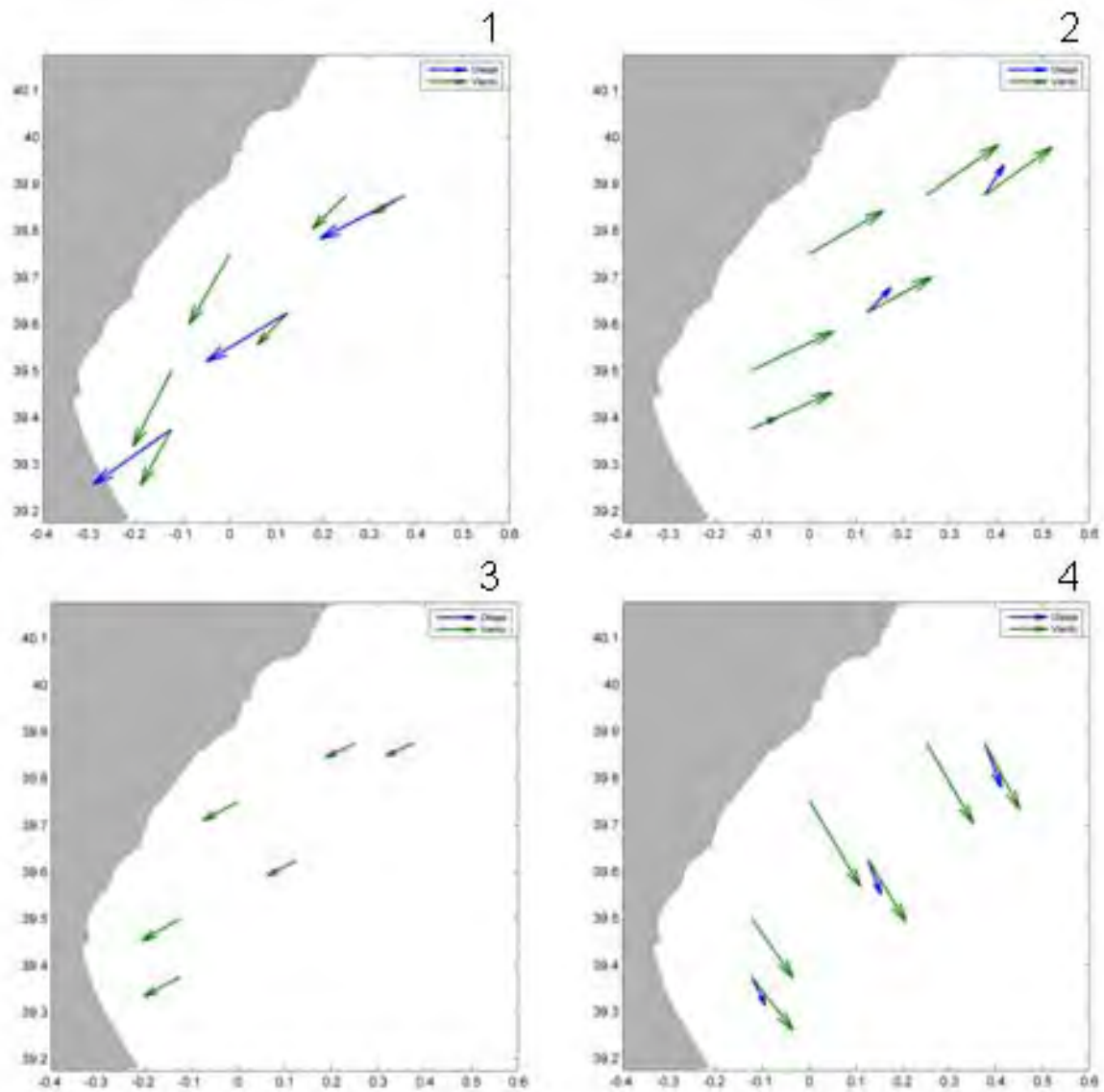


Figura 3.93. 4 primeros casos seleccionados con el algoritmo MaxDiss.

### **3.4.4. Resultados de las propagaciones de oleaje y corrientes de rotura**

A medida que el oleaje se aproxima a la costa el efecto del fondo empieza a hacerse palpable. La batimetría de la zona de estudio y la orientación de la costa respecto a los oleajes incidentes condiciona los fenómenos más relevantes que sufre el oleaje. Como consecuencia de esta interacción de las ondas con el fondo, el oleaje se transforma. Estos procesos de transformación se traducen fundamentalmente en variaciones de la altura de ola y en la dirección de propagación.

#### DOCUMENTO FINAL

Los fenómenos más importantes que sufre el oleaje cuando se acerca a la costa son: la refracción y el asomeramiento, debido a la batimetría y las corrientes, la difracción, como consecuencia de la presencia de cabos o islas, la pérdida de energía debido a la disipación con el fondo. Además, parte de esta energía se refleja y vuelve a aguas profundas. En aguas más someras, la amplitud de olas aumenta mientras que la longitud de onda se reduce, generando un peraltamiento del perfil de las olas. En estas profundidades, la celeridad de ola es proporcional a la raíz cuadrada de la profundidad, de manera que la cresta de la ola viaja a mayor velocidad produciéndose el vuelco sobre la base de la ola, se produce la rotura del oleaje, que genera una gran pérdida de energía y una gran turbulencia.

Con el objetivo de observar todos los procesos indicados previamente que sufre el oleaje en su propagación hacia la costa, a continuación se van a presentar una serie de gráficos de resultados del oleaje en la proximidad de la zona objeto de interés para cada una de las 7 zonas en las que se ha dividido la zona de estudio (véase figuras 3.96 a 3.123).

En la caracterización de la dinámica marina de una zona es importante determinar el sistema de corrientes existente en la misma. Con este fin, en este trabajo a partir de los resultados de oleaje obtenidos con el Oluca se ha establecido el sistema de corrientes asociado a la rotura del oleaje con el modelo Copla del IH Cantabria. En el presente apartado también se muestran los resultados de corrientes para los mismos casos de oleaje.

Así pues, se ha seleccionado un par de casos representativos del oleaje en la zona de estudio. En concreto se ha elegido el Caso 33 y el Caso 38 de la clasificación de MaxDiss. El Caso 38 (véase figura 3.95) es un caso representativo de los oleajes más frecuentes y más energéticos en la zona de estudio, los oleajes del primer cuadrante. Por otra parte, el Caso 33 (véase figura 3.94) es un caso representativo de los oleajes que generan un sistema de corrientes opuesto al anterior. Estos dos casos se han elegido para ilustrar la existencia de un sistema de corrientes en la zona de estudio con sentidos radicalmente opuestos.

Para los dos anteriores casos de oleaje (Caso 33 y Caso 38) se van a presentar dos gráficos. El primero de ellos correspondiente al oleaje y el segundo a las corrientes. Tal y como podrá ser observado en los gráficos, el modelo S2O selecciona para cada zona de todo el abanico de mallas existentes cuál es la mejor malla para la propagación de cada caso de oleaje, presentándose los resultados para esta malla.

La información que contiene el gráfico de oleaje es, por una parte la magnitud de la altura de ola significativa, mostrándose con la escala de colores que aparece en el gráfico y, por otra parte, la dirección media de procedencia del oleaje indicándose con las flechas.

La información que contiene el gráfico de corrientes es, por una parte la magnitud de las mismas, mostrándose con la escala de colores que aparece en el gráfico y, por otra parte, la dirección de estas corrientes indicándose con las flechas. Asimismo, en este



**DOCUMENTO FINAL**

gráfico se indica con una línea en color rojo la batimétrica 5 y con una línea en color negro la línea de costa.

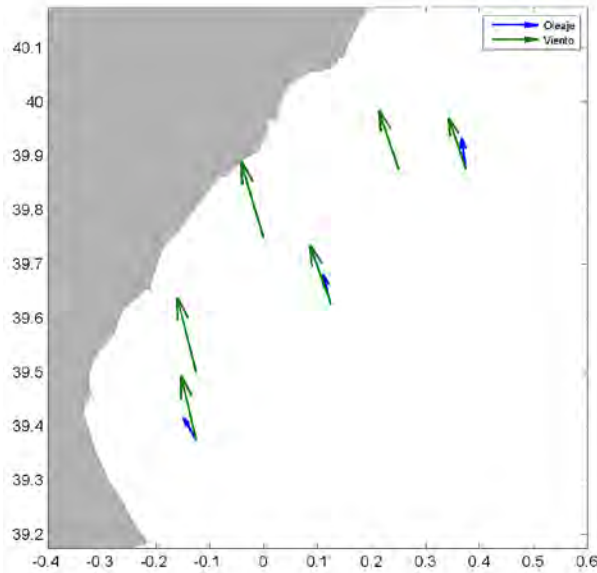


Figura 3.94. Caso 33 con el algoritmo MaxDiss (caso representativo de oleajes con sistema de corrientes de Sur a Norte).

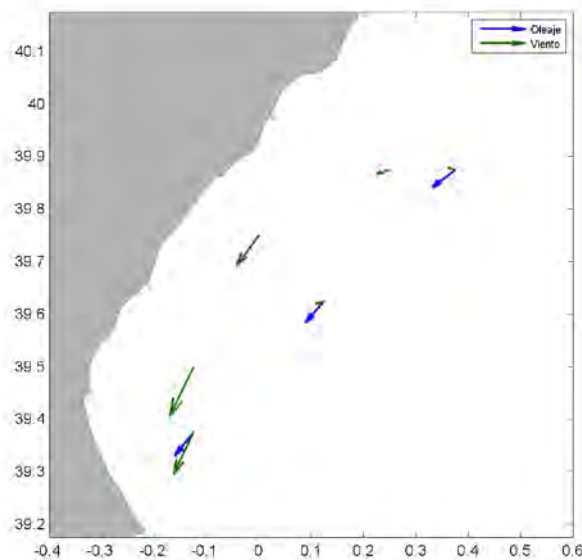


Figura 3.95. Caso 38 con el algoritmo MaxDiss (caso representativo de oleajes con sistema de corrientes de Norte a Sur).

### 3.4.4.1. Resultados en la Zona 1

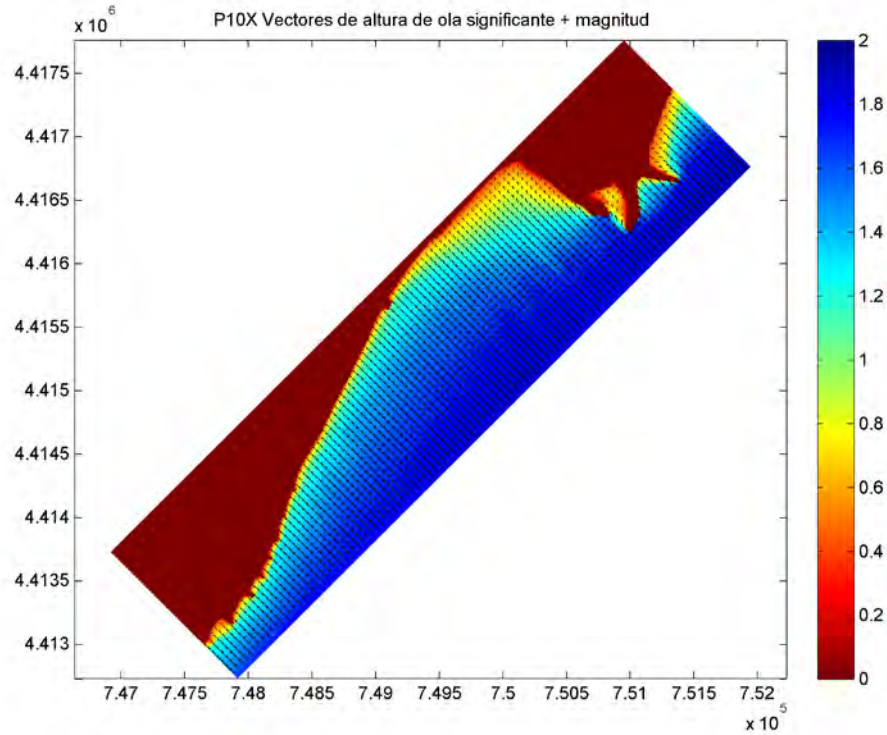


Figura 3.96. Propagación del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 1.

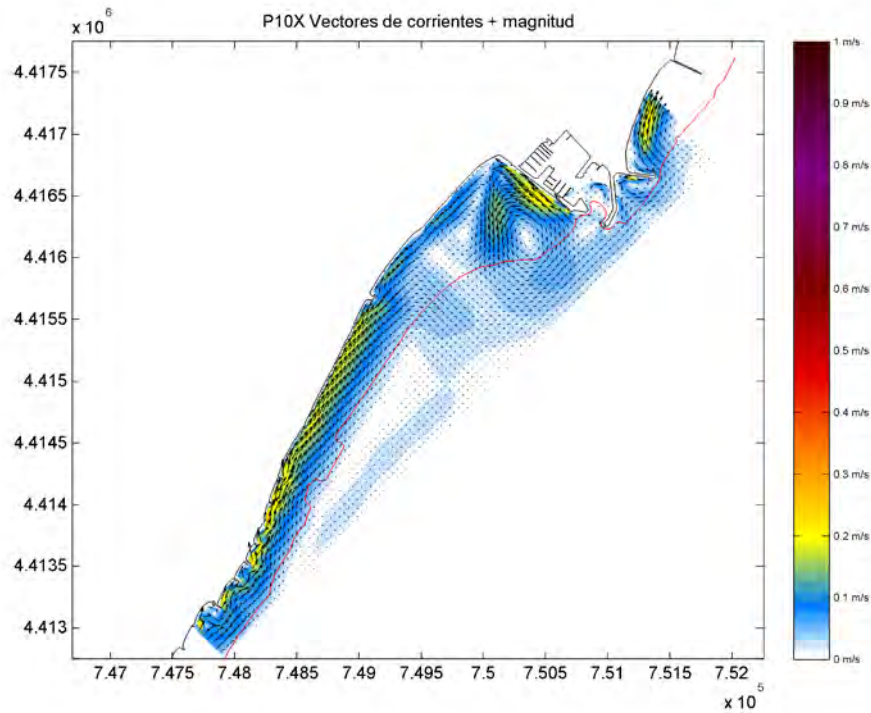


Figura 3.97. Corrientes del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 1.

DOCUMENTO FINAL

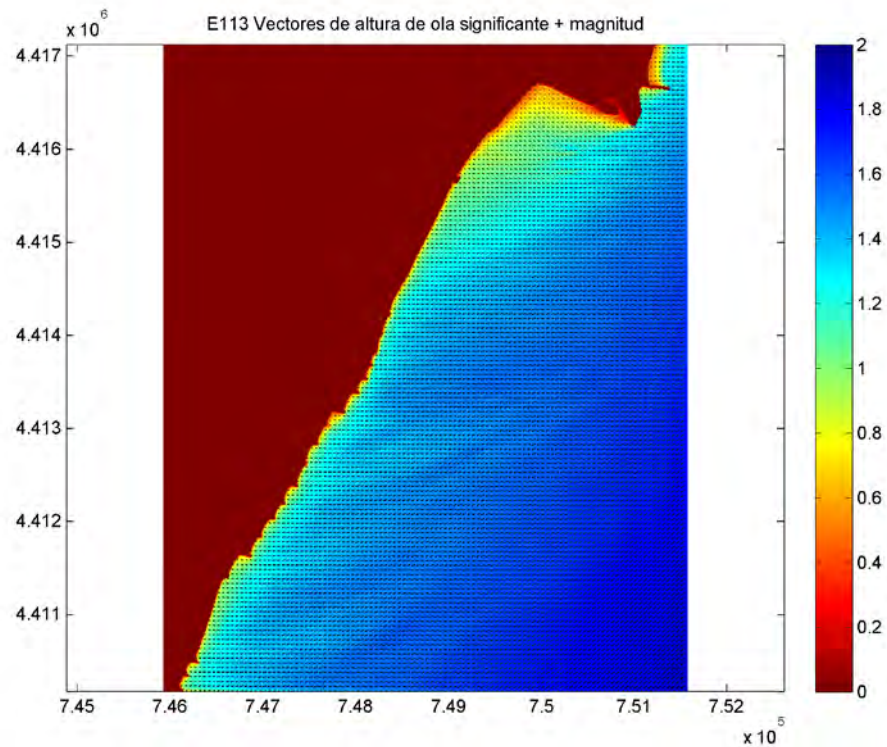


Figura 3.98. Propagación del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 1.

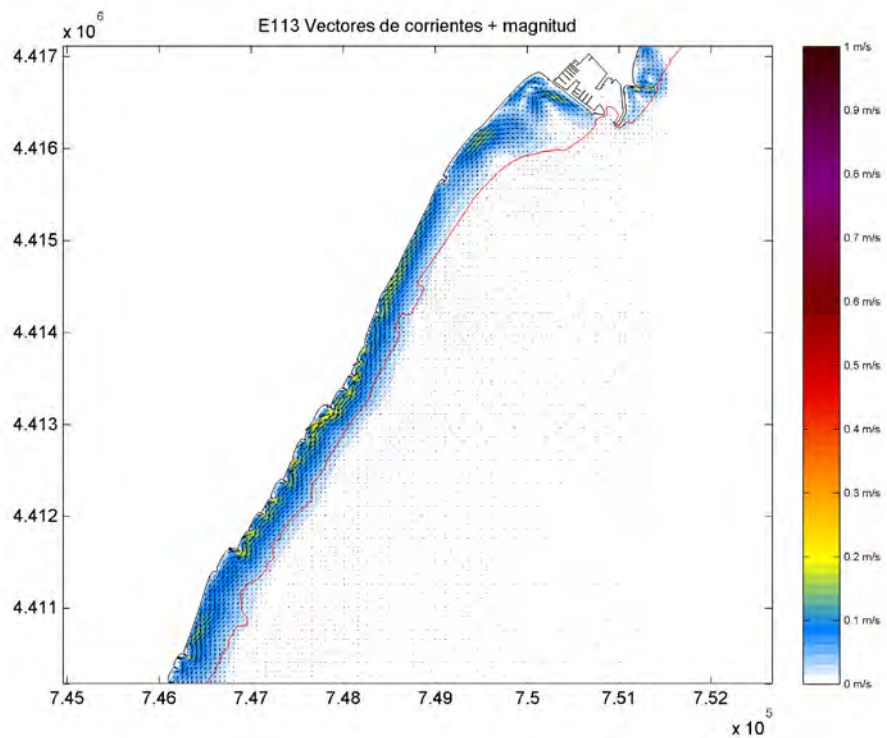


Figura 3.99. Corrientes del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 1.

DOCUMENTO FINAL

**3.4.4.2. Resultados en la Zona 2**

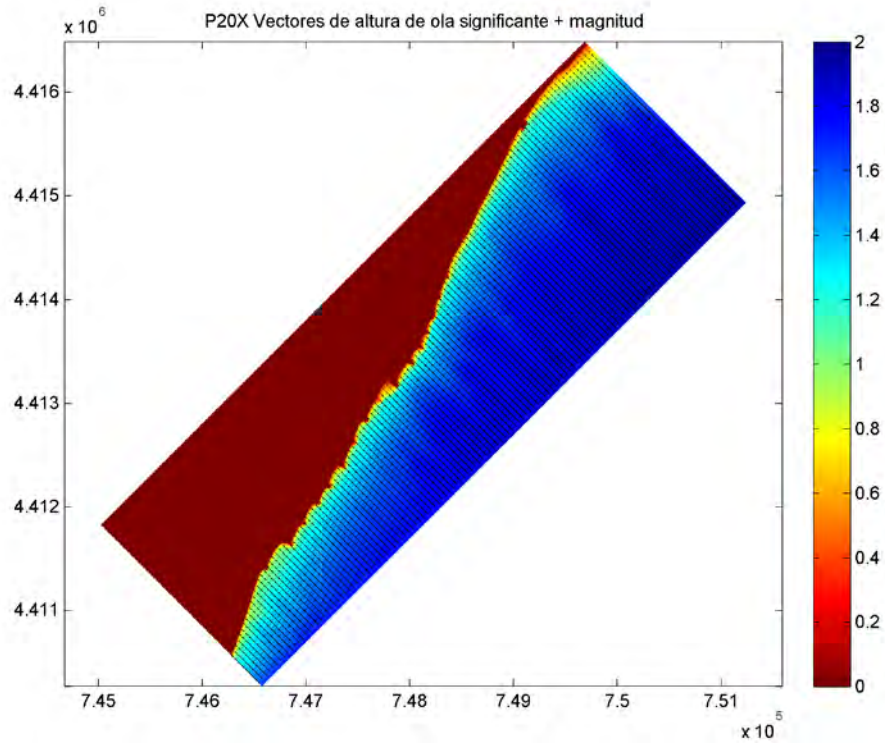


Figura 3.100. Propagación del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 2.

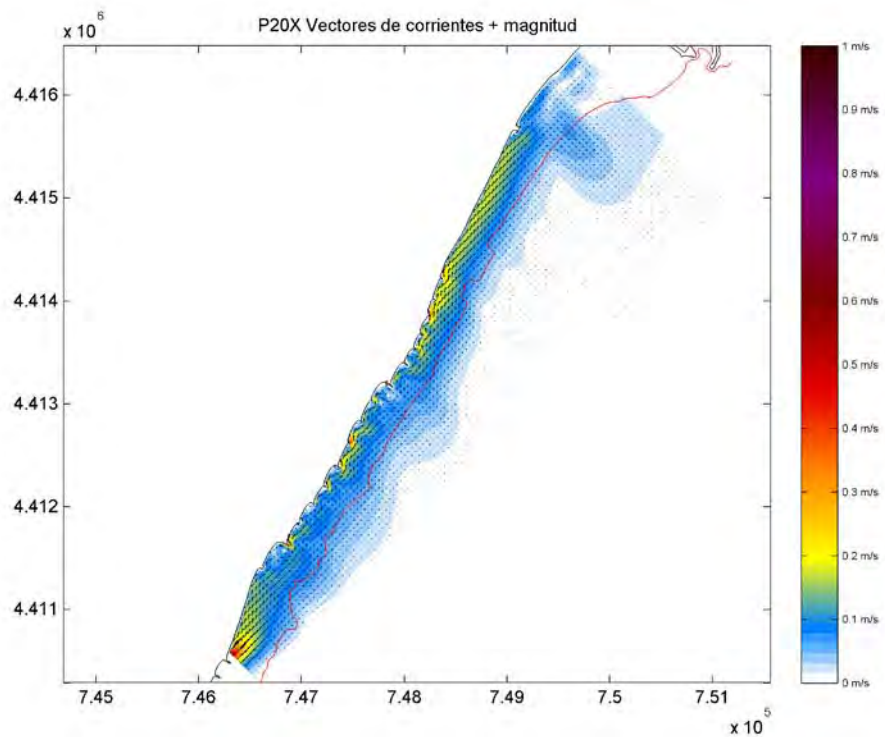


Figura 3.101. Corrientes del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 2.

DOCUMENTO FINAL

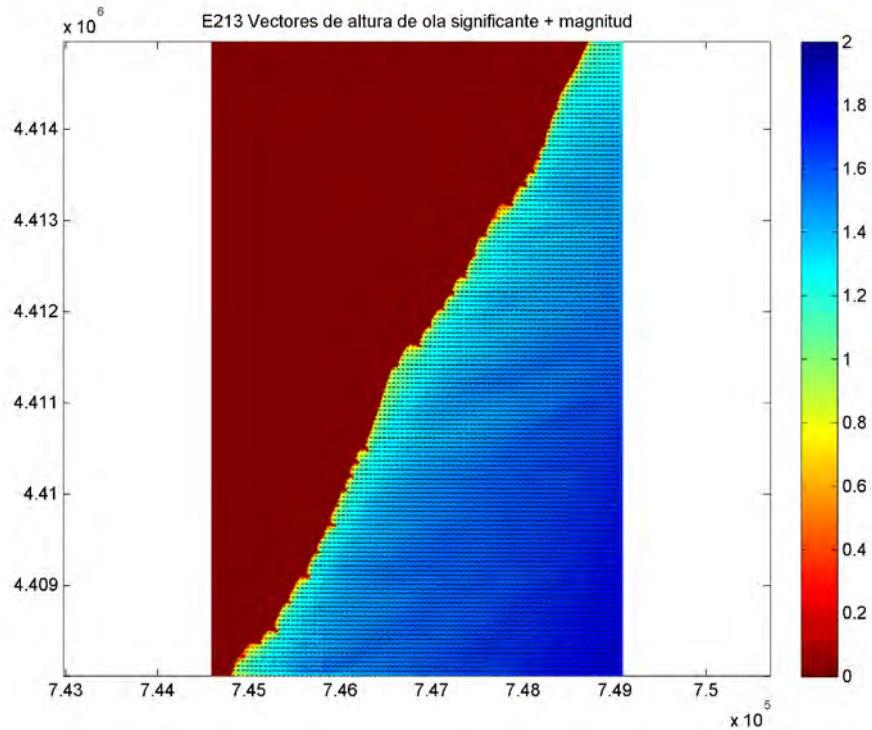


Figura 3.102. Propagación del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 2.

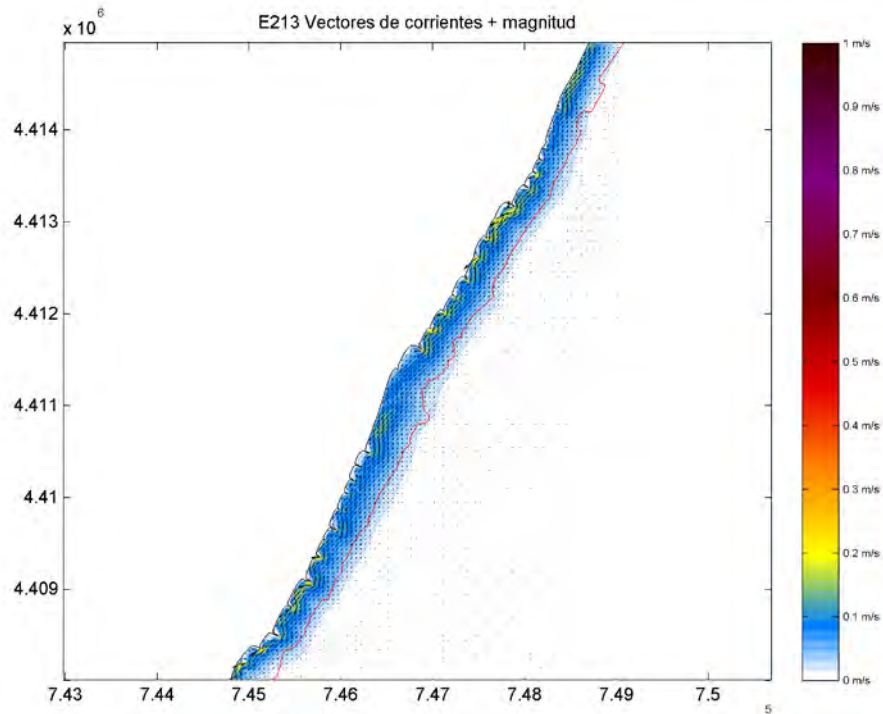


Figura 3.103. Corrientes del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 2.

### 3.4.4.3. Resultados en la Zona 3

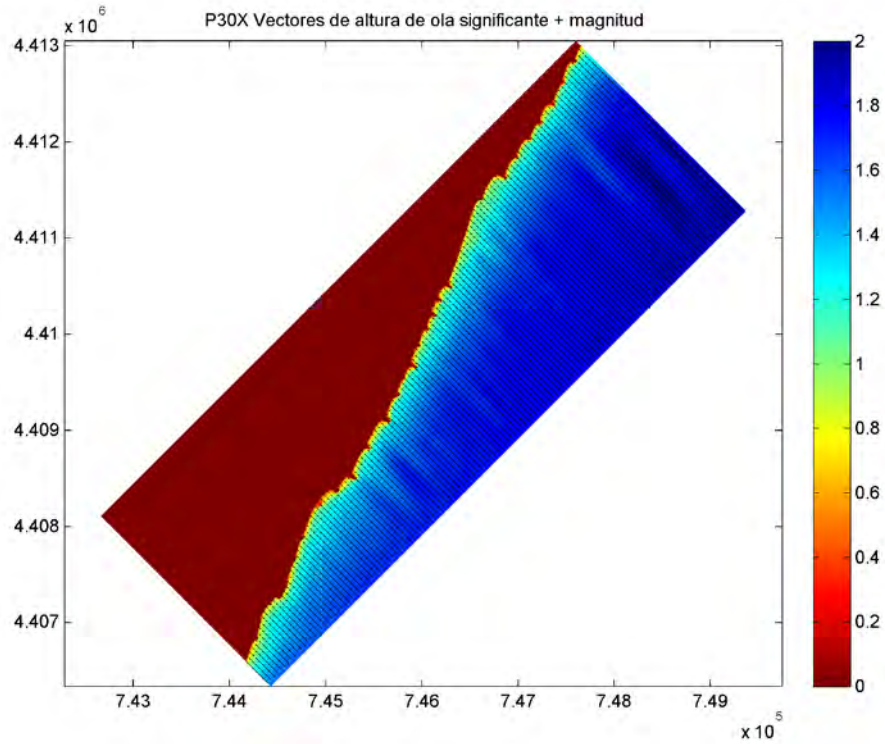


Figura 3.104. Propagación del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 3.

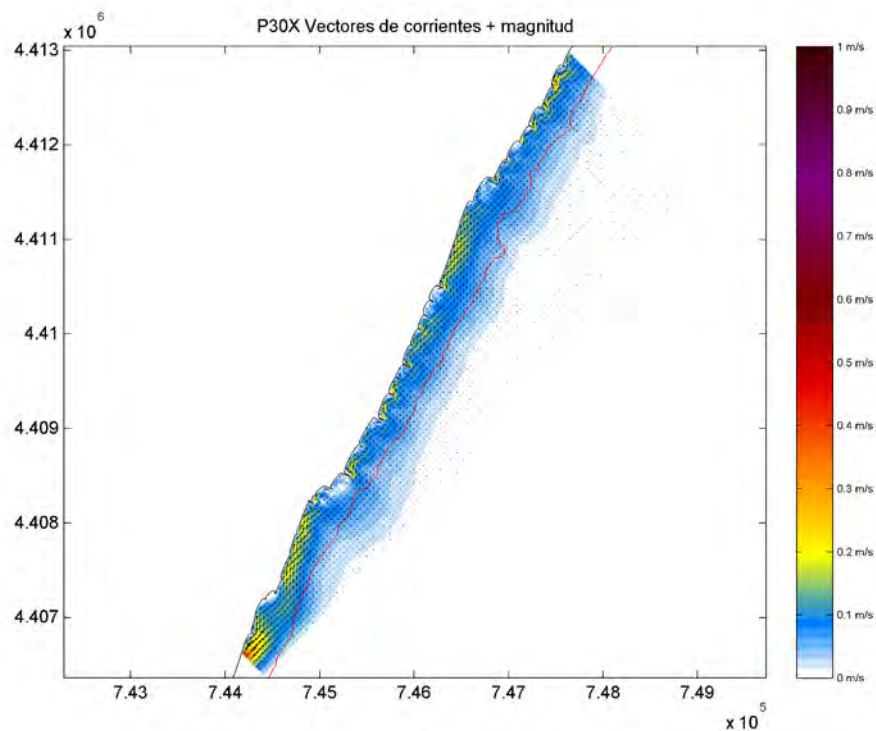


Figura 3.105. Corrientes del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 3.

**DOCUMENTO FINAL**

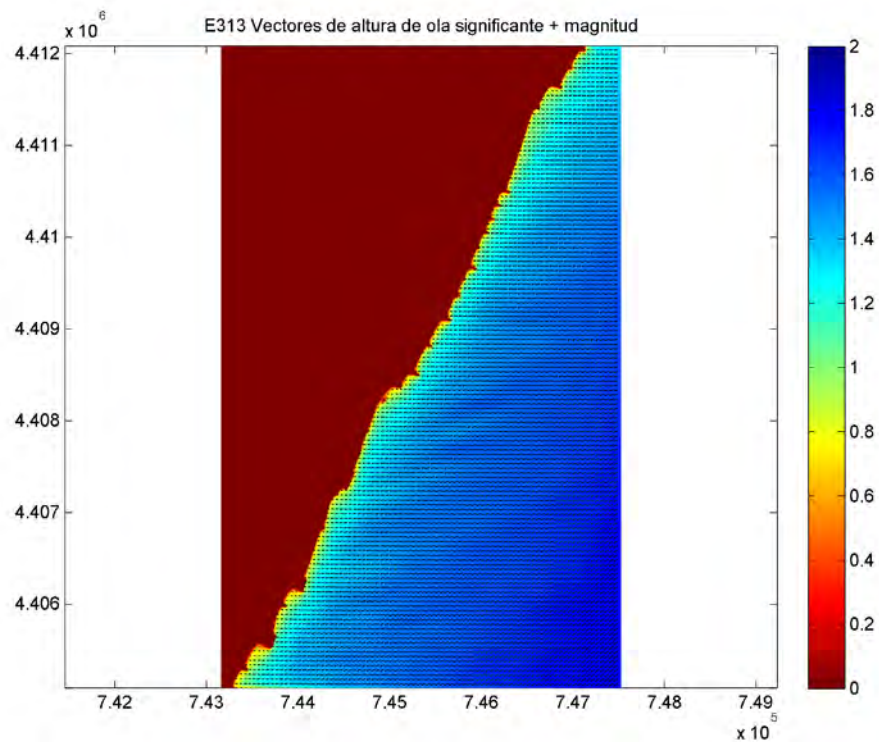


Figura 3.106. Propagación del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 3.

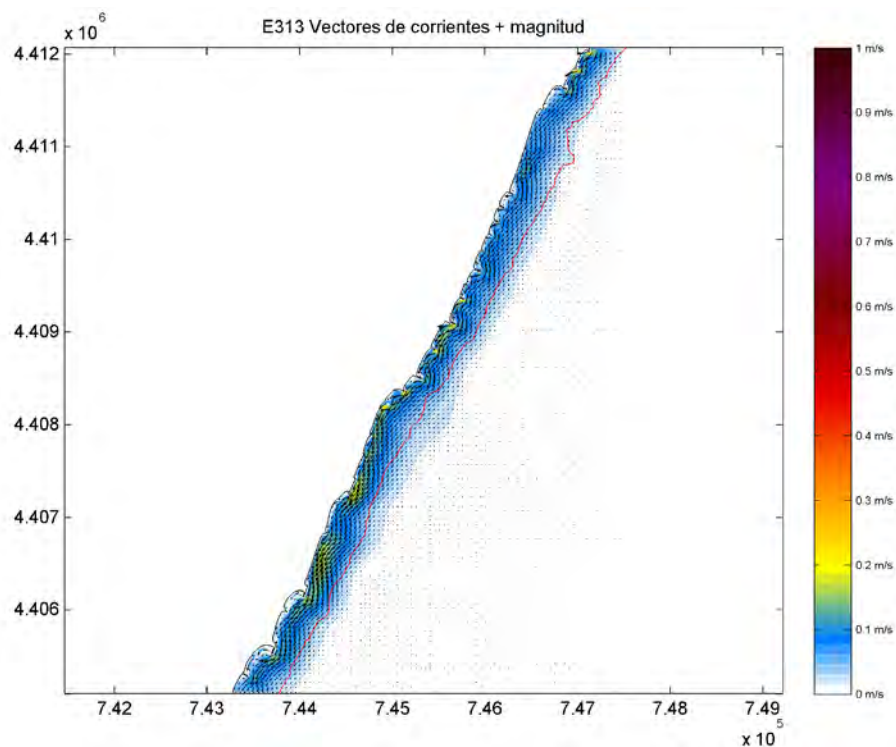


Figura 3.107. Corrientes del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 3.

### 3.4.4.4. Resultados en la Zona 4

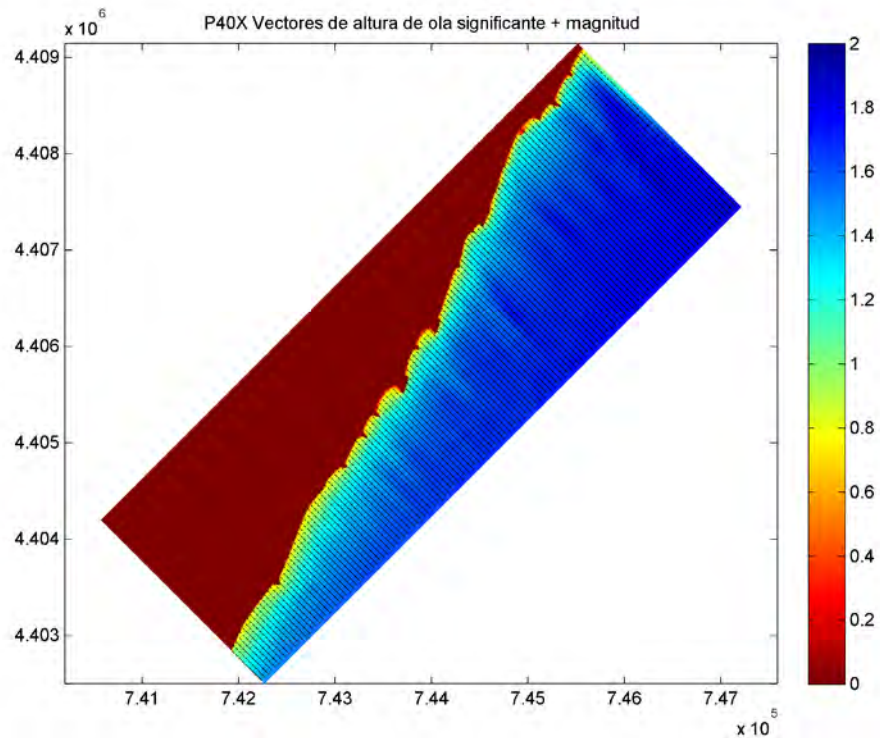


Figura 3.108. Propagación del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 4.

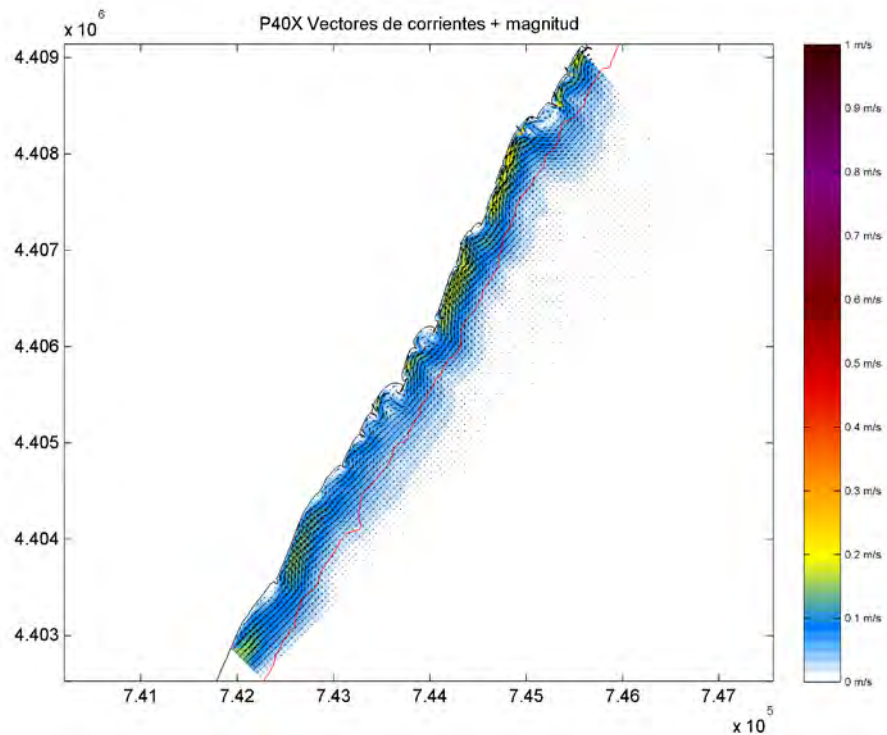


Figura 3.109. Corrientes del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 4.



DOCUMENTO FINAL

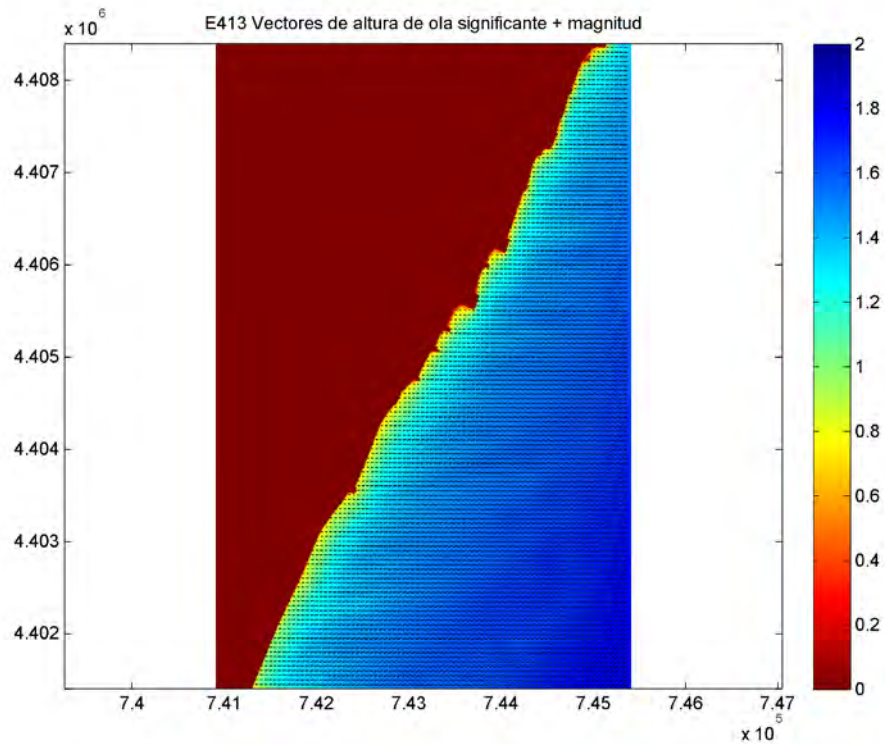


Figura 3.110. Propagación del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 4.

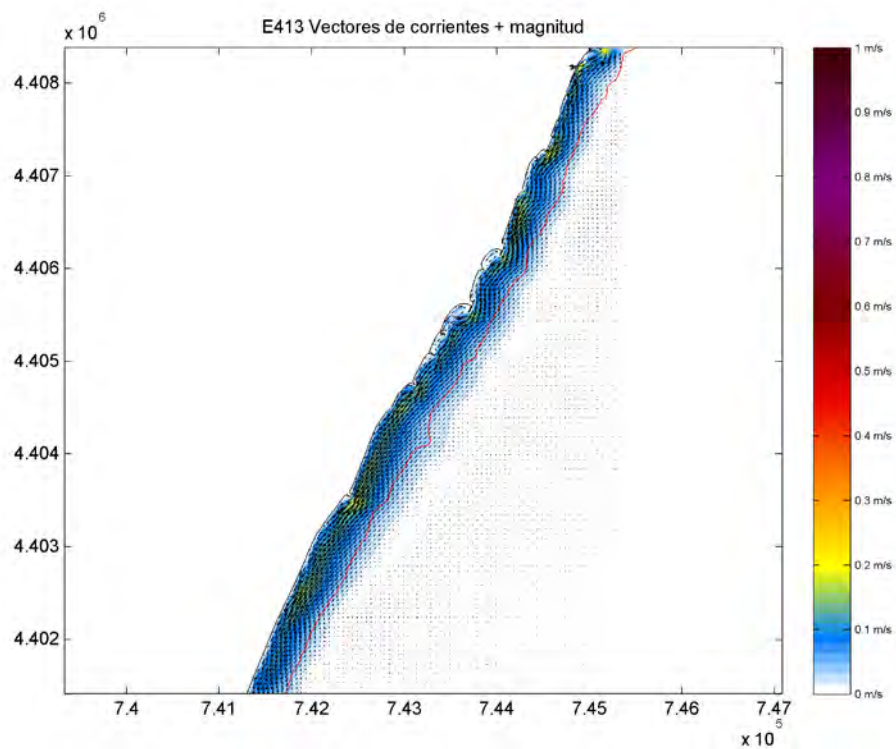


Figura 3.111. Corrientes del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 4

DOCUMENTO FINAL

**3.4.4.5. Resultados en la Zona 5**

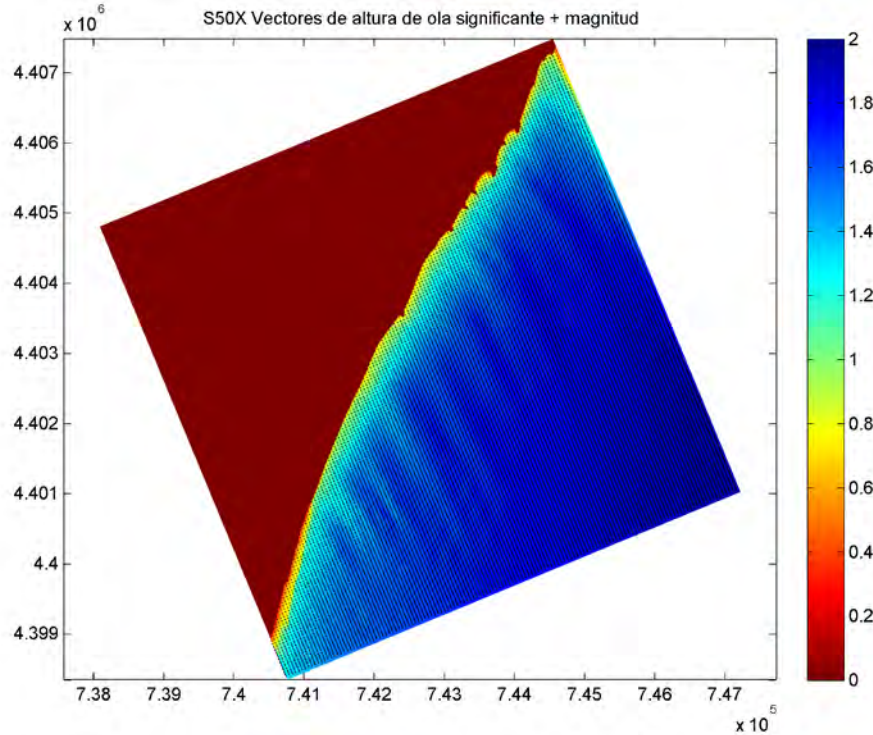


Figura 3.112. Propagación del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 5.

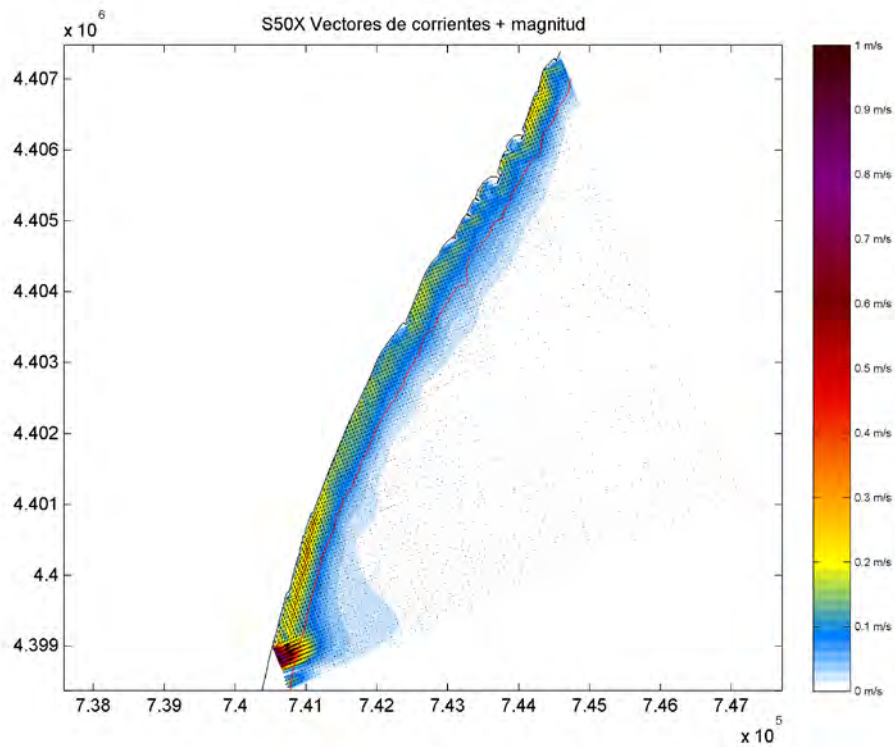


Figura 3.113. Corrientes del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 5.

**DOCUMENTO FINAL**

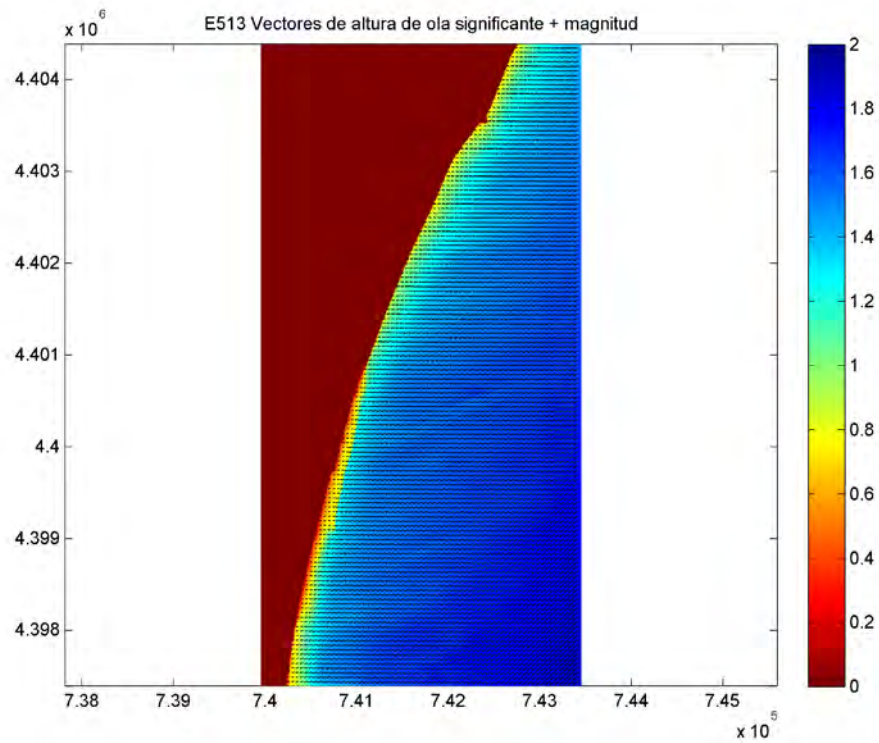


Figura 3.114. Propagación del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 5.

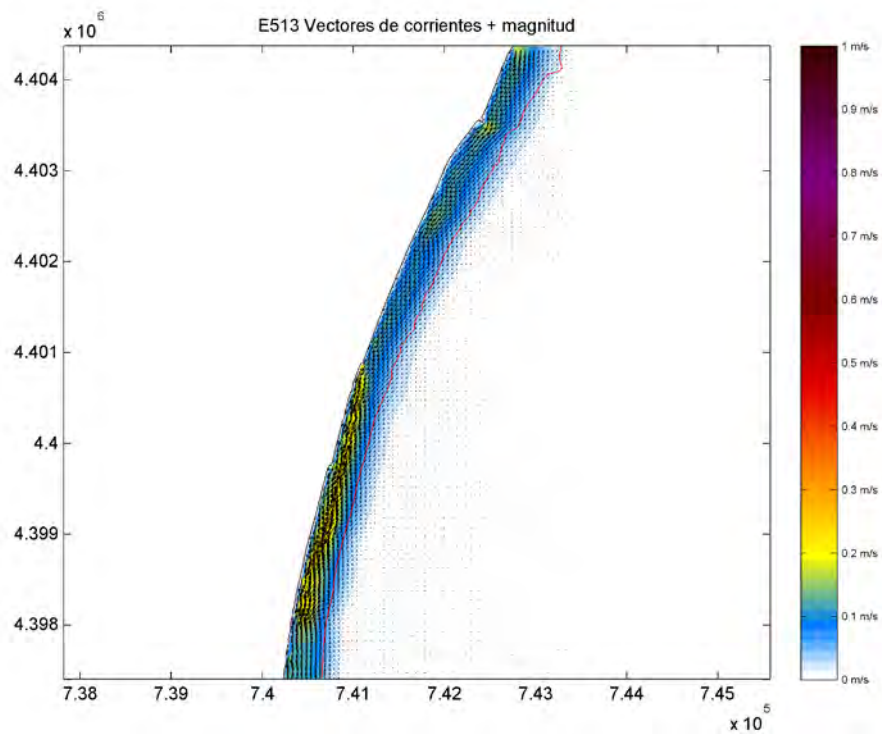


Figura 3.115. Corrientes del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 5.

DOCUMENTO FINAL

**3.4.4.6. Resultados en la Zona 6**

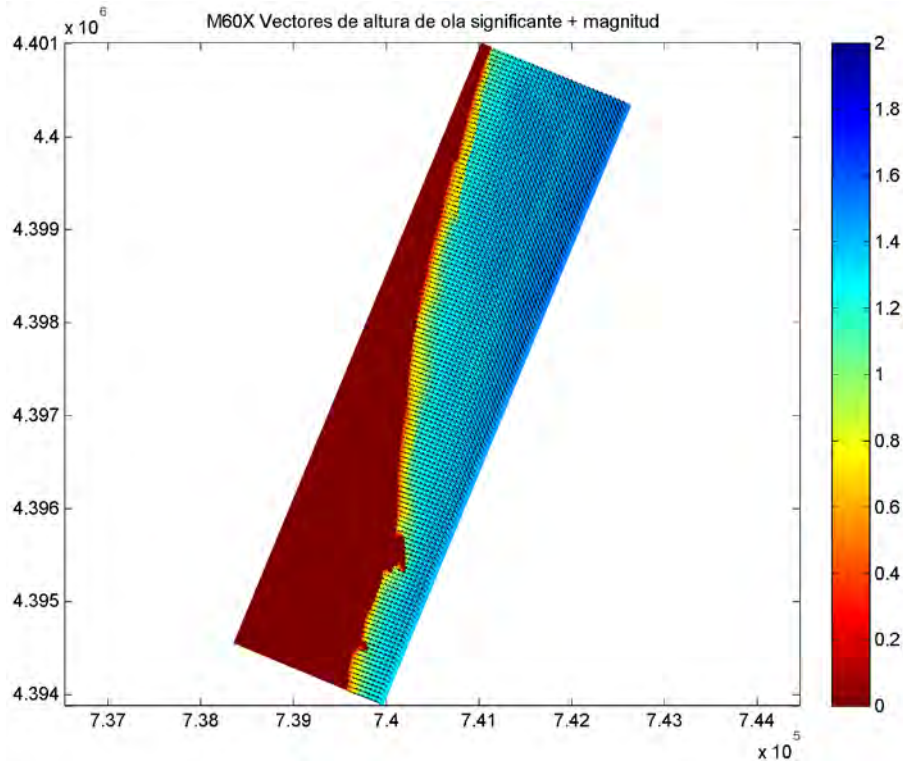


Figura 3.116. Propagación del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 6.

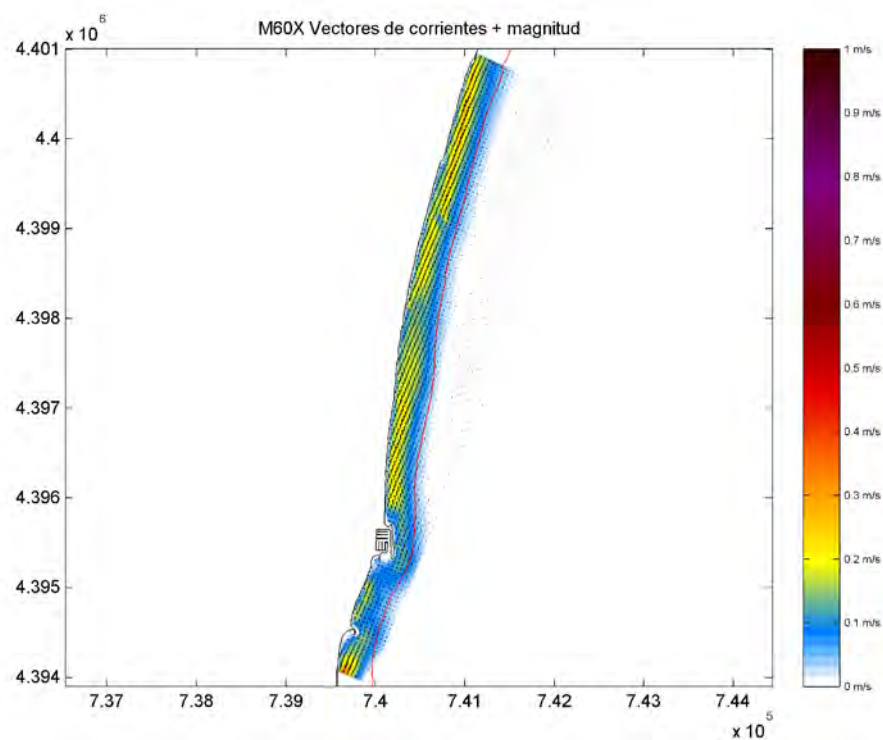


Figura 3.117. Corrientes del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 6.

**DOCUMENTO FINAL**

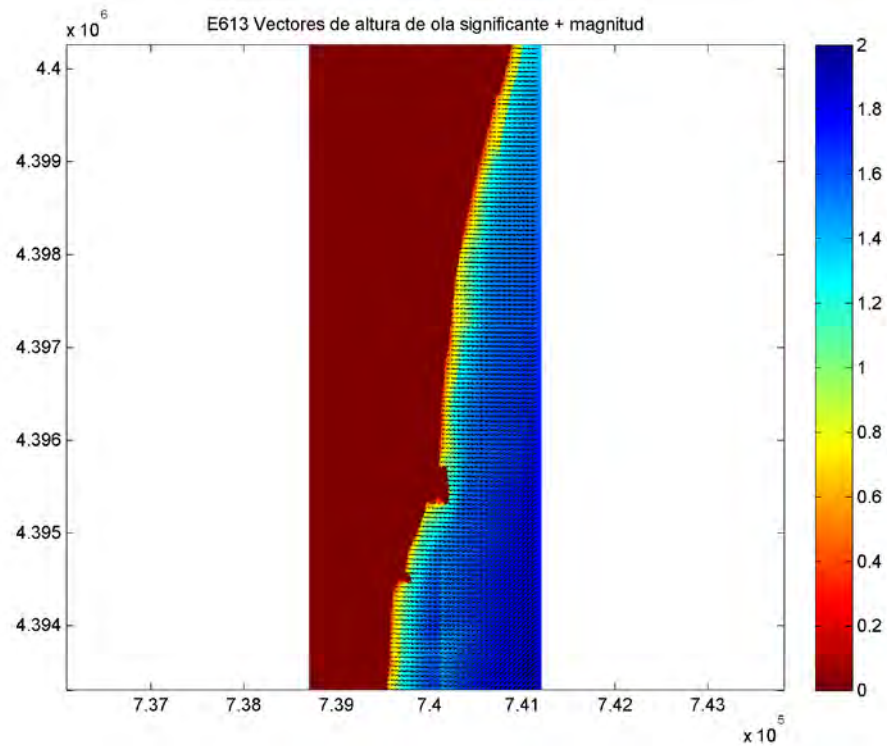


Figura 3.118. Propagación del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 6.

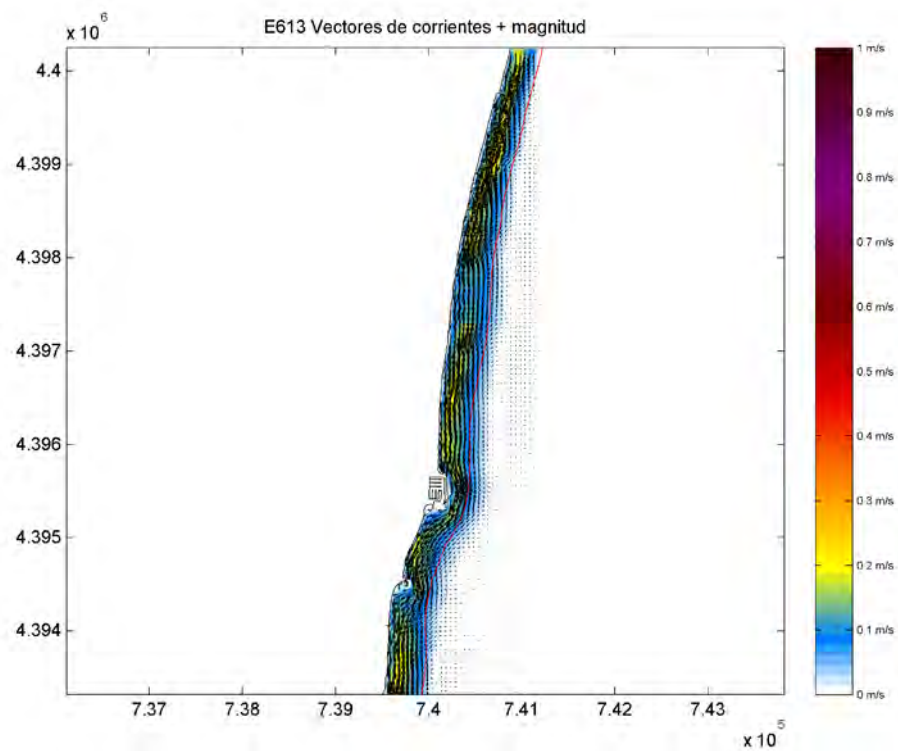


Figura 3.119. Corrientes del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 6.

### 3.4.4.7. Resultados en la Zona 7

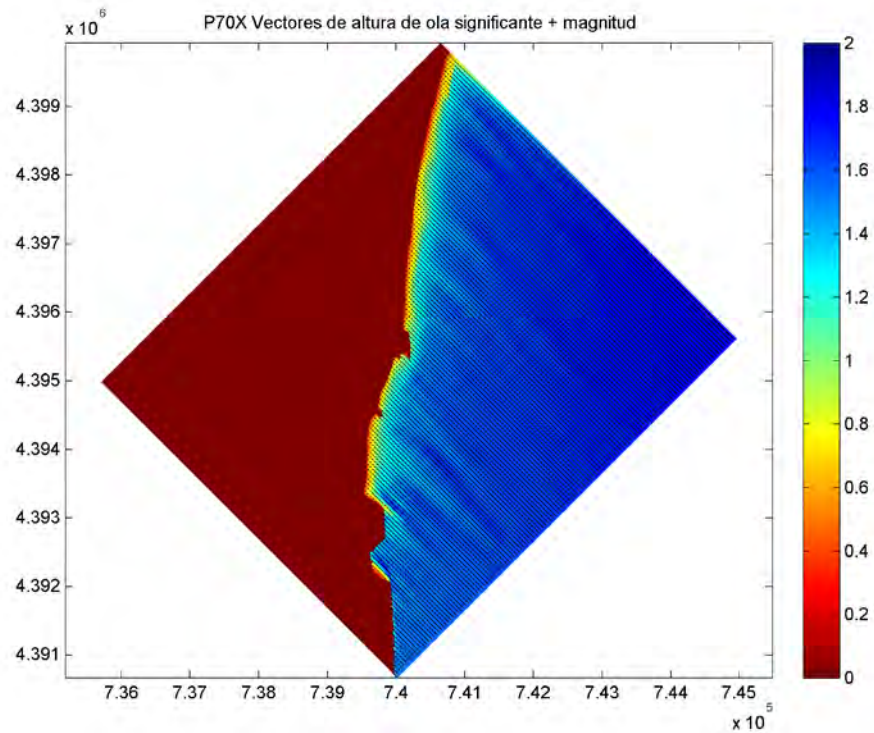


Figura 3.120. Propagación del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 7.

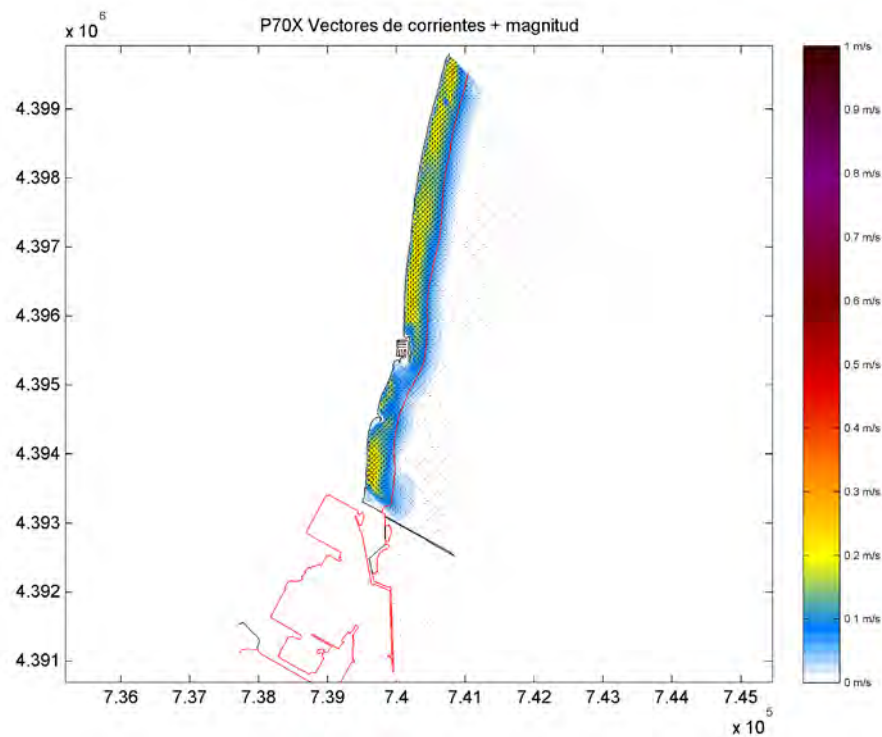


Figura 3.121. Corrientes del Caso 33 de la selección MaxDiss en la Zona 7.

DOCUMENTO FINAL

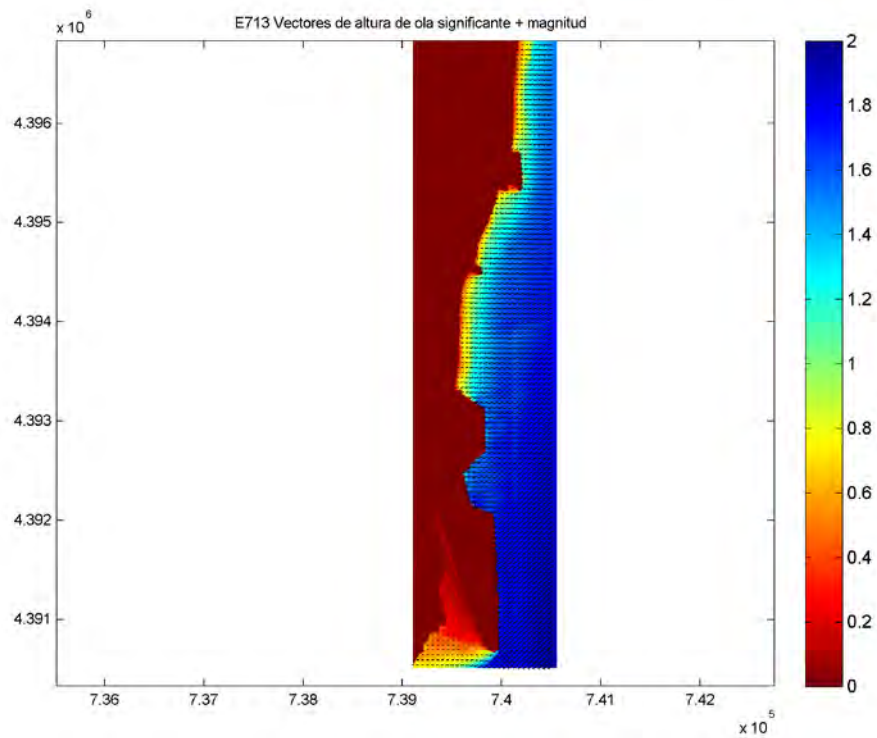


Figura 3.122. Propagación del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 7.

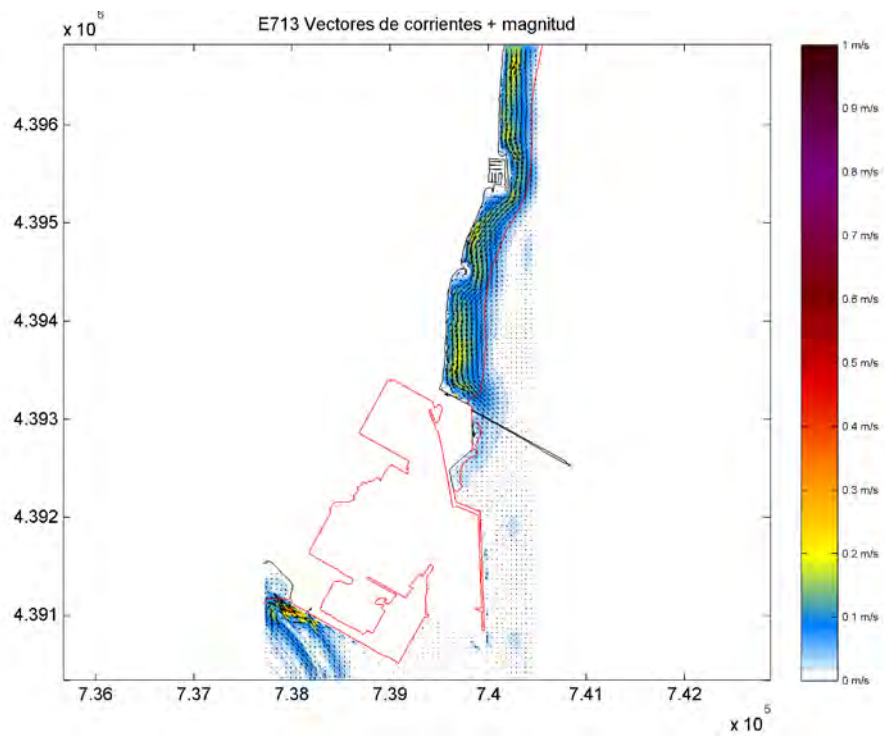


Figura 3.123. Corrientes del Caso 38 de la selección MaxDiss en la Zona 7.

DOCUMENTO FINAL

### 3.4.4.8. Comentarios de los resultados

A partir de los gráficos 3.96 a 3.123 se extraen una serie de conclusiones para las diferentes zonas:

- ✓ ZONA 1 (El Serradal), del Puerto de Burriana a la Gola de La Ratlla (véase figuras 3.96 a 3.99). Debido a la difracción generada por el Puerto de Burriana, existe una variación longitudinal de la altura de ola en la proximidad de dicho Puerto, la cual es más acusada para los oleajes con dirección media procedente del primer cuadrante. El oleaje alcanza la costa con un ángulo considerable generándose un sistema de corrientes que lleva sentido Norte-Sur para los oleajes del primer cuadrante, los cuales son los dominantes y más frecuentes de la zona, y un sentido Sur-Norte para los oleajes del tercer cuadrante.
- ✓ ZONA 2 (Nules), de la Gola de La Ratlla a la Playa de Pedra Rotja (véase figuras 3.100 a 3.103). En esta zona, aunque existen varios espigones de pequeña longitud (del orden de 15), no se encuentran elementos de una importancia similar a la del Puerto de Burriana para la zona anterior. Esta es la razón por la que, a grandes rasgos existe bastante uniformidad longitudinal del oleaje. De nuevo se vuelve a encontrar un patrón de corrientes similar al de la Zona 1. Para la configuración geométrica de esta zona, el oleaje alcanza la costa con un ángulo relevante generándose un sistema de corrientes que lleva sentido Norte-Sur para los oleajes del primer cuadrante, los cuales son los dominantes y más frecuentes de la zona, y un sentido Sur-Norte para los oleajes del tercer cuadrante. En esta zona la presencia de los espigones modifica localmente el sistema de corrientes asociado. Ahora bien, merece la pena destacar que los espigones no suponen una barrera al sistema de corrientes existentes.
- ✓ ZONA 3 (Moncofar), de la Playa de Pedra Rotja a la Playa de La Torre (véase figuras 3.104 a 3.107). En la Zona 3 se distinguen elementos tales como espigones y diques exentos. Dichos elementos son de reducidas dimensiones y se encuentran muy próximos a la costa modificando el oleaje sólo localmente en sus inmediaciones. El patrón de corrientes existente en esta zona es similar al de la zona anterior. Así pues, los elementos existentes tampoco suponen una barrera al sistema de corrientes existente, dirigiéndose para los oleajes del primer cuadrante las corrientes de Norte a Sur en todo el tramo y en sentido Sur-Norte para los oleajes del tercer cuadrante.
- ✓ ZONA 4 (Chilches), de la Playa de El Estanyol a la Gola de La Llosa (véase figuras 3.108 a 3.111). En la Zona 4 también se encuentran espigones y diques exentos. Dichos elementos, al igual que en la zona anterior, sólo modifican el oleaje localmente en sus inmediaciones y no suponen una barrera al sistema de corrientes existente. El patrón del sistema de corrientes es similar al de la zona anterior.



**DOCUMENTO FINAL**

- ✓ ZONA 5 (Almenara), de la Gola de La Llosa a la Gola del Estany de Quartell (véase figuras 3.112 a 3.115). En esta zona la batimetría existente supone una variación longitudinal de la altura de ola que alcanza la misma, generándose un sistema de corrientes de mayor magnitud en la zona próxima a la Gola del Estany de Quartell. Para los oleajes del primer cuadrante toda la zona analizada se ve sometida a un sistema de corrientes de Norte a Sur y para los oleajes del tercer cuadrante el sistema de corrientes lleva en toda la zona el sentido contrario.
- ✓ ZONA 6 (Almardá y Canet d'en Berenguer), de la Gola del Estany de Quartell al Puerto de Siles (véase figuras 3.116 a 3.119). En esta zona el principal elemento a destacar es el Puerto de Siles. Sin embargo, los oleajes más frecuentes y más energéticos en la zona de estudio (los del primer cuadrante) no se ven especialmente modificados en la Zona 6 por la presencia del Puerto de Siles. El tramo de costa de la Zona 6 se encuentra sometido a un sistema de corrientes de Norte a Sur para los oleajes del primer cuadrante y de Sur a Norte para los oleajes del tercer cuadrante. En este contexto el Puerto de Siles no permite independizar el tramo de costa al Norte del mismo del tramo de costa al Sur de dicho Puerto.
- ✓ ZONA 7 (Sagunto), del Puerto de Siles al Puerto de Sagunto (véase figuras 3.120 a 3.123). En el tramo de costa correspondiente a la Zona 7 se distinguen los puertos de Siles y de Sagunto, así como el espigón en la desembocadura Sur del Río Palancia. Merece la pena destacar que en el caso de los oleajes del primer cuadrante, aunque el espigón en la desembocadura Sur del Río Palancia no independiza la zona al Norte de dicho espigón con la zona al Sur del mismo, sin embargo el Puerto de Sagunto supone una barrera al sistema de corrientes existente, independizando la zona al Norte del Puerto con la zona al Sur de éste. En el caso de los oleajes del tercer cuadrante el sistema de corrientes se dirige del Puerto de Sagunto al Puerto de Siles.

### **3.4.5. Reconstrucción de las series temporales horarias de parámetros espectrales**

La reconstrucción del clima marítimo en aguas someras se realiza mediante una interpolación a partir de las series de casos seleccionados y propagados desde profundidades indefinidas. Se ha considerado la técnica de interpolación basada en funciones de base radial (*radial basis functions*), muy adecuada para datos con una alta dimensionalidad y no distribuidos uniformemente (Franke, 1982). Se dispone de una serie de valores de la función real  $f(x_j)$   $j=1,\dots,M$  en los puntos  $\{x_1,\dots,x_M\}$ . La técnica de interpolación RBF considera que la función de aproximación *RBF* está formada por una combinación lineal de funciones radiales simétricas centradas en los puntos dados (ver figura 3.124). La función objetivo presenta la siguiente expresión:

**DOCUMENTO FINAL**

$$RBF(x) = p(x) + \sum_{j=1}^M a_j \Phi(\|x - x_j\|)$$

e interpola los valores dados de tal manera que:

$$RBF(x_j) = f_j \quad j = 1, \dots, M$$

Donde:

*RBF* es la función de interpolación

$p(x)$  es el polinomio lineal en todas las variables involucradas en el problema

$a_i$  son los coeficientes de ajuste RBF

$\Phi$  es la función radial básica, donde  $\|\cdot\|$  es la norma euclidiana.

$x_j$  son los centros de la interpolación RBF

El polinomio  $p(x)$  de la expresión de la función de interpolación *RBF* se define como una base de monomios  $\{p_0, p_1, \dots, p_d\}$ , formada por una cantidad de monomios de grado uno igual a la dimensionalidad de los datos (en este caso igual al número de componentes principales  $d$  considerado) y un monomio de grado cero, siendo  $b = \{b_0, b_1, \dots, b_d\}$  los coeficientes de estos monomios.

Las funciones de base radial pueden presentar diferentes expresiones. Algunas de estas funciones radiales contienen un parámetro de forma que juega un papel muy importante en la precisión de la técnica. En la metodología de propagación del clima marítimo se han considerado funciones radiales gaussianas que dependen de un parámetro de forma. El valor óptimo de este parámetro se obtiene a partir del algoritmo de propuesto por Rippa (1999).

En la implementación de la técnica de interpolación RBF en la reconstrucción del clima marítimo multidimensional, se dispone de  $M$  puntos  $d$ -dimensionales  $D_j^{EOF} = \{PC_{x^1}^D, \dots, PC_{x^d}^D\}; j = 1, \dots, M$ , que se corresponden con los casos del clima marítimo multidimensional en profundidades indefinidas, seleccionados mediante el algoritmo MaxDiss en el espacio de proyección de las EOFs, donde  $d$  es igual al número de componentes principales consideradas. El valor exacto de la función en esos puntos  $f_j(x)$  es igual a los parámetros espectrales obtenidos como resultado de la propagación en un punto objetivo: la altura de ola significativa propagada  $\{H_{sp,j}^D\}$ , el periodo de pico  $\{T_{pp,j}^D\}$ , las componentes  $x$  e  $y$  de la dirección media propagada  $\{\theta_{mp,j}^D, \theta_{yp,j}^D\}$  (la dirección media se recompone a partir de las componentes  $x$  e  $y$ ).

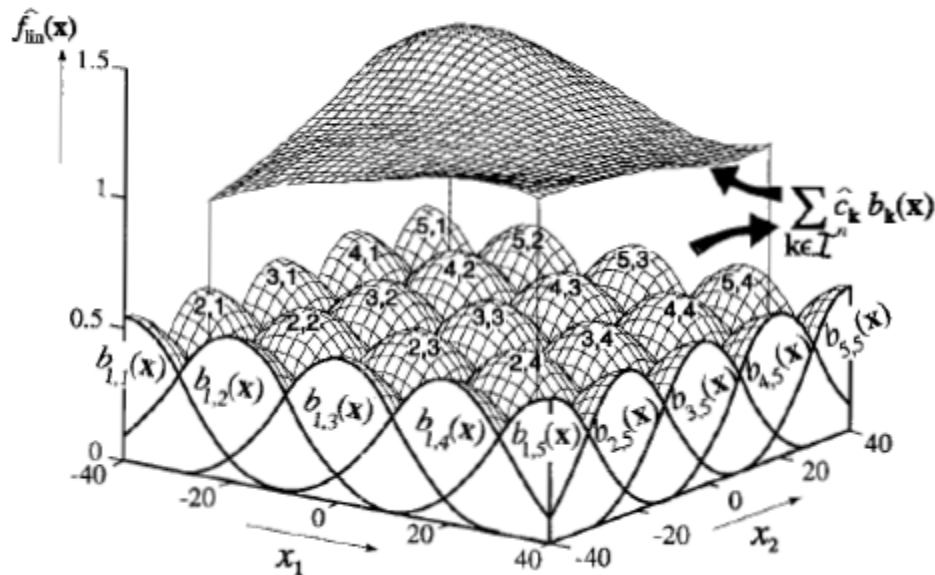


Figura 3.124. Interpolación RBF definida como una combinación de funciones radiales (Fuente: Heiss and Kampl, 1996).

Por tanto, el objetivo de la aplicación de esta técnica de interpolación en la reconstrucción del clima marítimo es el cálculo de una función de interpolación  $RBF_H$  de la altura de ola propagada  $H_{sp}$ , una función de interpolación  $RBF_T$  del periodo de pico propagado  $T_{pp}$ , una función de interpolación  $RBF_{\theta_x}$  de la componente  $x$  de dirección media propagada  $\theta_{x_{mp}}$  y una función de interpolación  $RBF_{\theta_y}$  de la componente  $y$  de dirección media propagada  $\theta_{y_{mp}}$ . Estas funciones RBF permiten inferir los valores de los parámetros propagados en cualquier otro punto del espacio, es decir, cualquier otra situación de clima marítimo en indefinidas proyectada en el espacio de las EOFs:  $X_i^{EOF} = \{PC_{x^*1}, \dots, PC_{x^*d}\}_i; i = 1, \dots, N$ .

Por tanto, en primer lugar es necesario determinar estas funciones de interpolación. Las componentes principales que definen a cada situación del clima marítimo en indefinidas se normalizan mediante una transformación lineal que escala los valores entre 0 y 1, y se definen como  $X_i^{EOF, norm} = \{PC_{x^*1}^{norm}, \dots, PC_{x^*d}^{norm}\}_i$ . Cada caso seleccionado en el que se dispone del valor de los parámetros propagados se expresa como  $D_j^{EOF, norm} = \{PC_{x^*1}^{D, norm}, \dots, PC_{x^*d}^{D, norm}\}_j$

La función de interpolación RBF se calcula mediante la siguiente expresión:

**DOCUMENTO FINAL**

$$RBF(X^{EOF, norm}) = p(X^{EOF, norm}) + \sum_{j=1}^M a_j \Phi(\|X^{EOF, norm} - D_j^{EOF, norm}\|)$$

donde

$$p(X^{EOF, norm}) = b_0 + b_1 PC_{x^*_1}^{norm} + b_2 PC_{x^*_2}^{norm} + \dots + b_d PC_{x^*_d}^{norm}$$

y  $\Phi$  representa la función gaussiana con un parámetro de forma,  $c$ :

$$\Phi(\|X^{EOF, norm} - D_j^{EOF, norm}\|) = \exp\left(-\frac{\|X^{EOF, norm} - D_j^{EOF, norm}\|^2}{2c^2}\right)$$

El parámetro de forma  $c$  más adecuado se estima mediante el algoritmo de Rippa basado en el método *leave-one-out-cross validation* (LOOCV). Los coeficientes  $b_l = [b_0, b_1, \dots, b_d]^T$  de los polinomios y  $a_j = [a_1, \dots, a_M]^T$  de las funciones radiales se determinan a partir de las condiciones de interpolación:

$$RBF(D_j^{EOF, norm}) = f_j(D_j^{EOF, norm}) = D_{p,j}; \quad j = 1, \dots, M$$

donde el vector de datos  $f_j$  está definido por los parámetros espectrales propagados  $\{H_{sp}\}_j, \{T_{pp}\}_j, \{\theta x_{mp}\}_j, \{\theta y_{mp}\}_j$ , correspondientes a los estados de mar  $D_j$  seleccionados mediante el algoritmo MaxDiss.

Por tanto, las funciones *RBF* de cada uno de los parámetros espectrales propagados en el punto objetivo permiten transferir el clima marítimo multidimensional definido por  $X^{EOF, norm} = \{PC_{x^*_1}^{norm}, \dots, PC_{x^*_d}^{norm}\}$  desde aguas profundas hasta aguas someras. Estas funciones *RBF* se definen como:

$$\begin{aligned} H_{sp,i} &= RBF_H(\{D_j^{EOF, norm}, H_{sp,j}(j=1, \dots, M)\}, X_i^{EOF, norm}); i=1, \dots, N \\ T_{pp,i} &= RBF_H(\{D_j^{EOF, norm}, T_{pp,j}(j=1, \dots, M)\}, X_i^{EOF, norm}); i=1, \dots, N \\ \theta x_{mp,i} &= RBF_{\theta_x}(\{D_j^{EOF, norm}, \theta x_{mp,j}(j=1, \dots, M)\}, X_i^{EOF, norm}); i=1, \dots, N \\ \theta y_{mp,i} &= RBF_{\theta_y}(\{D_j^{EOF, norm}, \theta y_{mp,j}(j=1, \dots, M)\}, X_i^{EOF, norm}); i=1, \dots, N \end{aligned}$$

La función de transferencia general de cada estado de mar en indefinidas proyectado en el espacio de las EOFs,  $X_i^{EOF, norm}, i=1, \dots, N$  se expresa como:

$$X_{p,i} = RBF(\{D_j^{EOF, norm}, D_{p,j}^*(j=1, \dots, M)\}, X_i^{EOF, norm}); \quad i=1, \dots, N$$

**DOCUMENTO FINAL**

El resultado final es la serie de reanálisis transferida a aguas someras:

$$X_{p,i} = \{H_{sp,i}, T_{mp,i}, \theta_{mp,i}\} (i = 1, \dots, N)$$

### 3.5. Resultados en puntos objetivo

Una vez detallado el proceso seguido para la transferencia del oleaje hacia la costa, en el presente apartado se presentan una serie de resultados (parámetros relevantes de los regímenes medios de altura de ola significativa, flujos medios anuales de energía) en más de un centenar de puntos objetivo distribuidos a lo largo de todo el tramo de costa objeto de estudio en cada una de las zonas analizadas.

#### 3.5.1. Localización de los puntos objetivo

En las siguientes tablas (véase tablas 3.18 a 3.24) y figuras (véase figuras 3.125 a 3.131) se indica la localización de los puntos objetivo seleccionados para cada una de las zonas. En las figuras indicadas también se puede observar la batimetría existente en la zona con el objetivo de identificar la profundidad a la que se encuentra cada punto. Básicamente los puntos se encuentran ubicados en profundidades de 8 m, 4 m e incluso inferiores.

##### 3.5.1. Localización de puntos objetivo en Zona 1

ZONA 1	Coordenadas UTM	
	x	y
<b>Punto 1</b>	750810.28	4415828.78
<b>Punto 2</b>	750442.60	4415487.20
<b>Punto 3</b>	750270.02	4415340.66
<b>Punto 4</b>	750087.00	4415223.42
<b>Punto 5</b>	749889.74	4414821.54
<b>Punto 6</b>	750349.58	4416246.25
<b>Punto 7</b>	749869.27	4416006.59
<b>Punto 8</b>	749561.67	4415900.48
<b>Punto 9</b>	749302.19	4415707.81
<b>Punto 10</b>	749067.87	4415223.89
<b>Punto 11</b>	748831.46	4414782.93
<b>Punto 12</b>	749151.73	4415722.36
<b>Punto 13</b>	749089.26	4415610.54

Tabla 3.18. Localización de puntos objetivo en la Zona 1.

**DOCUMENTO FINAL**

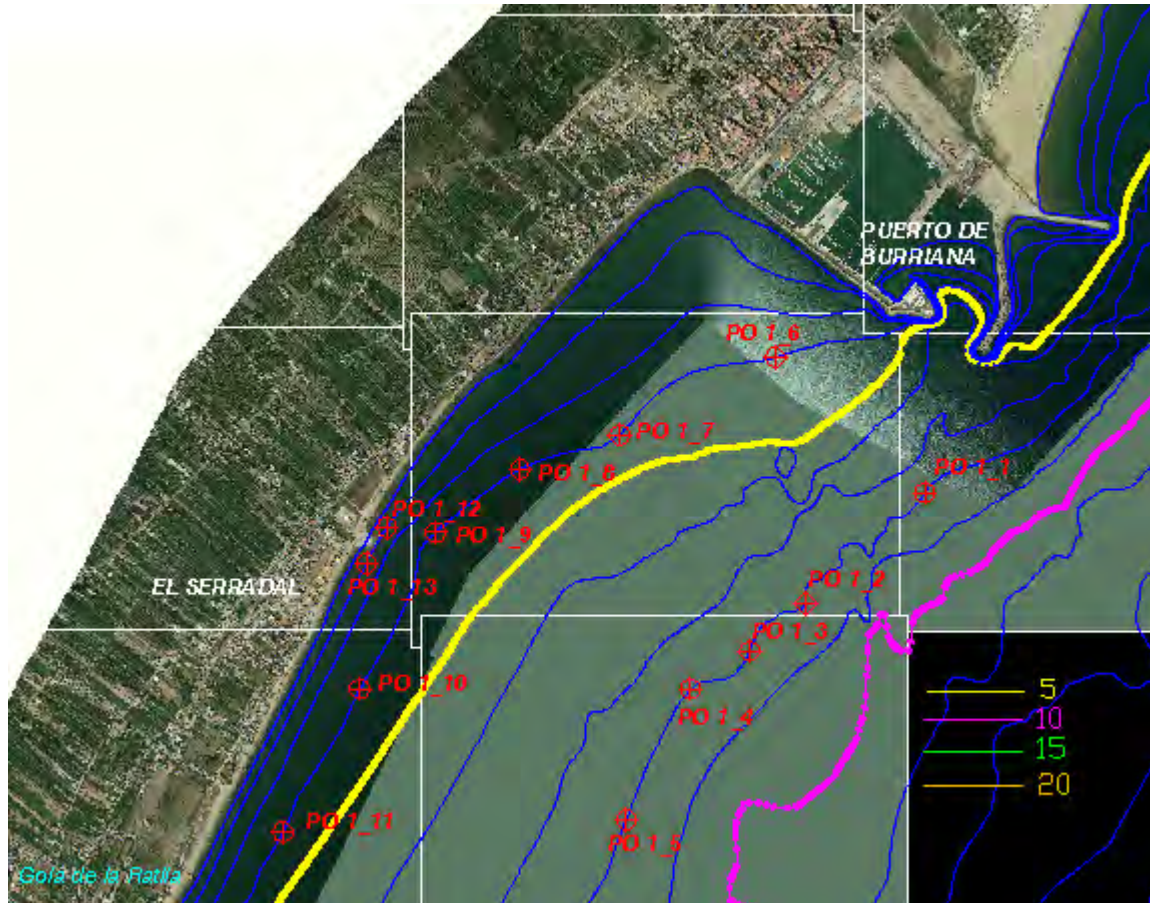


Figura 3.125. Localización de puntos objetivo en la Zona 1.

### 3.5.2. Localización de puntos objetivo en Zona 2

ZONA 2	Coordenadas UTM	
	x	y
<b>Punto 1</b>	749255.43	4413962.82
<b>Punto 2</b>	748974.18	4413677.41
<b>Punto 3</b>	748612.00	4413110.70
<b>Punto 4</b>	748518.36	4412651.82
<b>Punto 5</b>	748224.69	4412318.25
<b>Punto 6</b>	748024.57	4411850.75
<b>Punto 7</b>	747822.68	4411460.93
<b>Punto 8</b>	747560.79	4411032.28
<b>Punto 9</b>	748587.07	4414352.83
<b>Punto 10</b>	748398.35	4413890.41
<b>Punto 11</b>	748182.95	4413378.15
<b>Punto 12</b>	747870.00	4413017.78
<b>Punto 13</b>	747625.16	4412657.34
<b>Punto 14</b>	747414.48	4412195.81
<b>Punto 15</b>	747173.31	4411828.21
<b>Punto 16</b>	746911.29	4411399.63
<b>Punto 17</b>	748173.55	4413597.95
<b>Punto 18</b>	748113.70	4413433.28
<b>Punto 19</b>	748002.39	4413254.60
<b>Punto 20</b>	747836.39	4413085.43
<b>Punto 21</b>	747720.87	4412891.99
<b>Punto 22</b>	747569.52	4412688.81
<b>Punto 23</b>	747461.90	4412460.79
<b>Punto 24</b>	747355.02	4412256.88
<b>Punto 25</b>	747233.33	4412078.26
<b>Punto 26</b>	747084.16	4411904.59
<b>Punto 27</b>	746974.60	4411700.91
<b>Punto 28</b>	746742.83	4411495.21

Tabla 3.19. Localización de puntos objetivo en la Zona 2.

DOCUMENTO FINAL

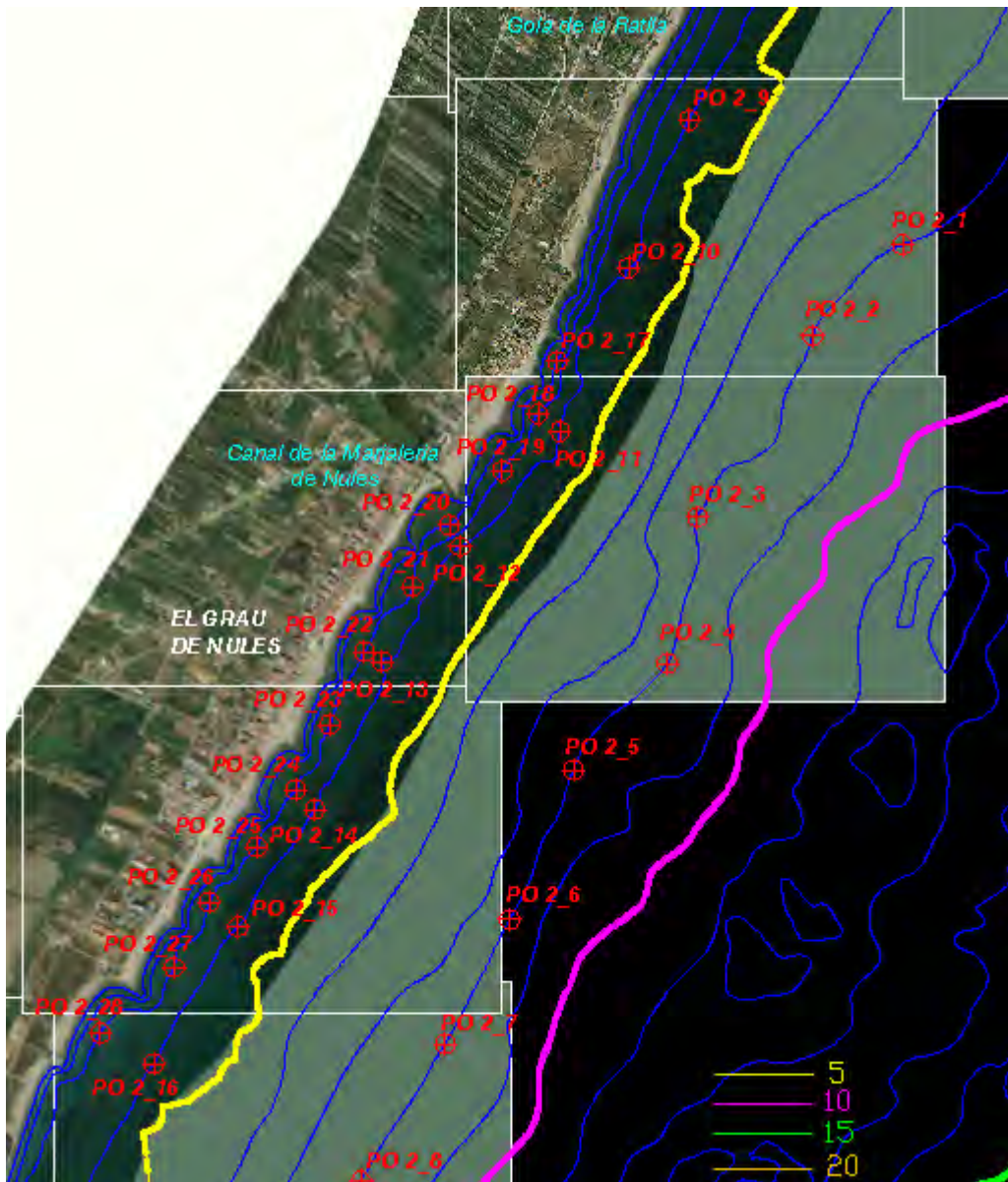


Figura 3. 126. Localización de puntos objetivo en la Zona 2.



**DOCUMENTO FINAL**

**3.5.3. Localización de puntos objetivo en Zona 3**

<b>ZONA 3</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	
	<b>x</b>	<b>y</b>
<b>Punto 1</b>	747390.83	4410750.83
<b>Punto 2</b>	747186.90	4410359.75
<b>Punto 3</b>	746853.63	4409786.39
<b>Punto 4</b>	746597.34	4409280.20
<b>Punto 5</b>	746276.68	4408953.27
<b>Punto 6</b>	746105.72	4408360.32
<b>Punto 7</b>	745739.07	4407570.73
<b>Punto 8</b>	746700.02	4410992.36
<b>Punto 9</b>	746482.13	4410607.44
<b>Punto 10</b>	746243.06	4410069.72
<b>Punto 11</b>	746009.45	4409551.17
<b>Punto 12</b>	745788.54	4409178.63
<b>Punto 13</b>	745523.70	4408678.17
<b>Punto 14</b>	745133.96	4408168.74
<b>Punto 15</b>	744873.93	4407757.81
<b>Punto 16</b>	746283.34	4410382.90
<b>Punto 17</b>	746205.24	4410242.98
<b>Punto 18</b>	746151.86	4410097.65
<b>Punto 19</b>	746077.32	4409928.81
<b>Punto 20</b>	746006.21	4409763.08
<b>Punto 21</b>	745908.46	4409576.14
<b>Punto 22</b>	745828.52	4409453.17
<b>Punto 23</b>	745583.36	4408926.15
<b>Punto 24</b>	745412.30	4408654.53
<b>Punto 25</b>	745255.47	4408386.92
<b>Punto 26</b>	745074.47	4408249.97
<b>Punto 27</b>	744891.22	4408004.18

Tabla 3.20. Localización de puntos objetivo en la Zona 3.

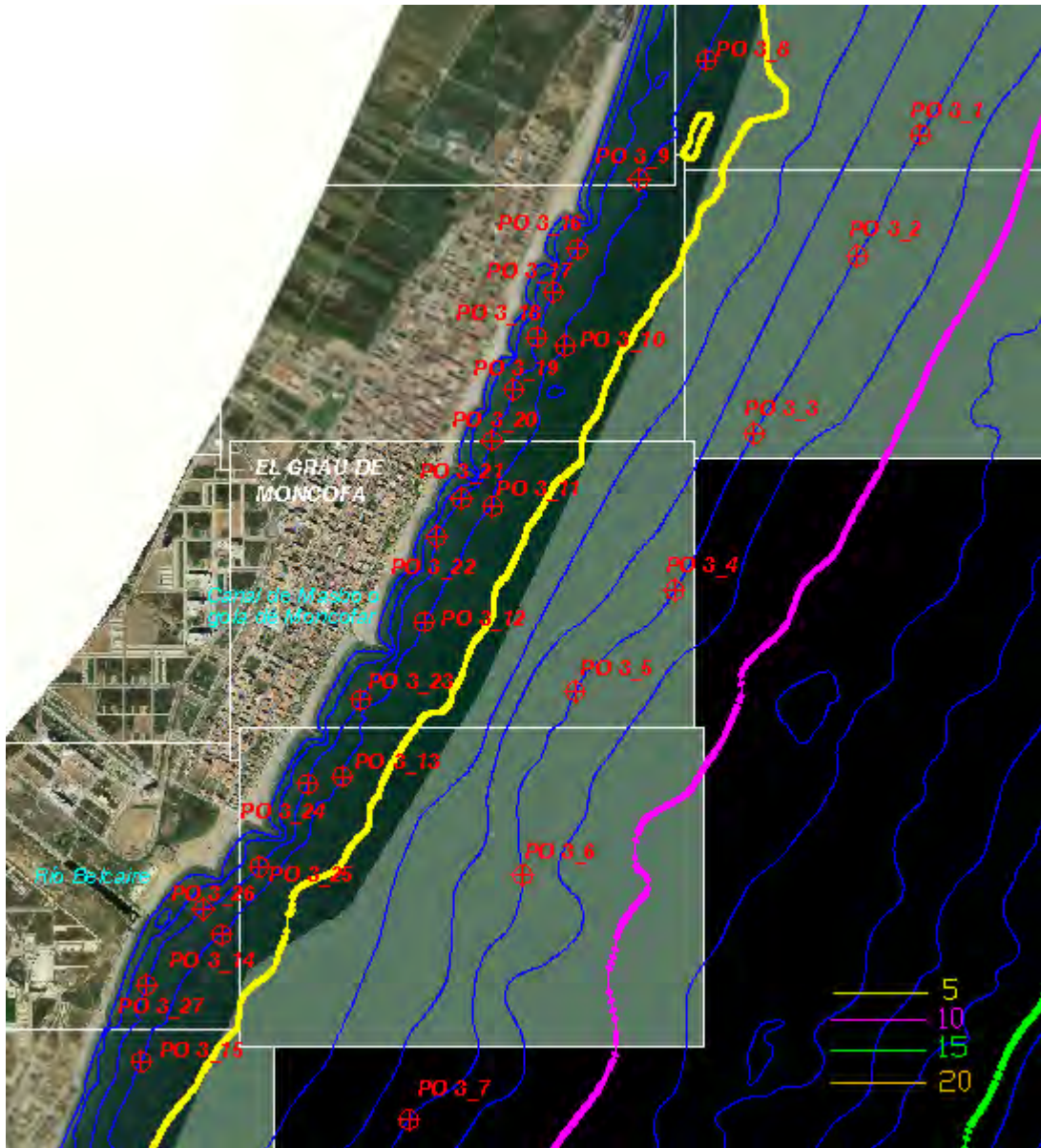


Figura 3.127. Localización de puntos objetivo en la Zona 3.

**DOCUMENTO FINAL**

**3.5.4. Localización de puntos objetivo en Zona 4**

<b>ZONA 4</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	
	<b>x</b>	<b>y</b>
<b>Punto 1</b>	745260.81	4406802.02
<b>Punto 2</b>	744915.85	4406264.12
<b>Punto 3</b>	744626.75	4405579.22
<b>Punto 4</b>	744319.44	4404939.17
<b>Punto 5</b>	744094.36	4404484.30
<b>Punto 6</b>	743893.43	4404027.65
<b>Punto 7</b>	743637.59	4403526.11
<b>Punto 8</b>	744549.69	4407056.53
<b>Punto 9</b>	744355.64	4406464.62
<b>Punto 10</b>	744101.07	4405976.35
<b>Punto 11</b>	743951.20	4405740.26
<b>Punto 12</b>	743714.66	4405327.23
<b>Punto 13</b>	743368.75	4404837.63
<b>Punto 14</b>	743099.60	4404410.78
<b>Punto 15</b>	742801.41	4403860.43
<b>Punto 16</b>	744552.45	4407168.48
<b>Punto 17</b>	744369.52	4406788.43
<b>Punto 18</b>	744261.68	4406497.91
<b>Punto 19</b>	744004.10	4406005.71
<b>Punto 20</b>	743878.07	4405808.97
<b>Punto 21</b>	743650.00	4405385.35
<b>Punto 22</b>	743466.41	4405171.76
<b>Punto 23</b>	743307.85	4404886.67
<b>Punto 24</b>	742836.94	4404175.00

Tabla 3.21. Localización de puntos objetivo en la Zona 4.

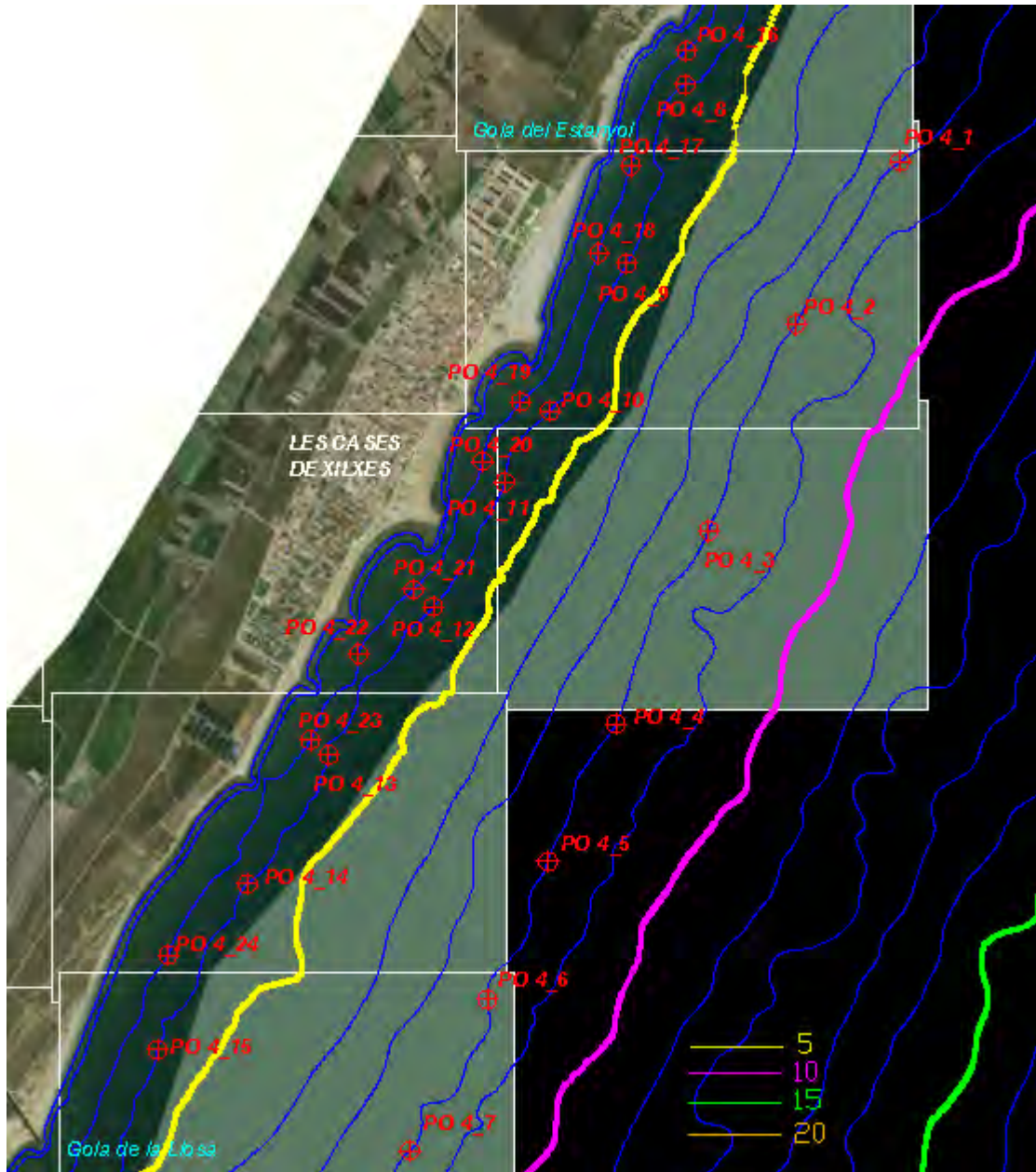


Figura 3.128. Localización de puntos objetivo en la Zona 4.

**DOCUMENTO FINAL**

**3.5.5. Localización de puntos objetivo en Zona 5**

<b>ZONA 5</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	
	<b>x</b>	<b>y</b>
<b>Punto 1</b>	743003.95	4402775.93
<b>Punto 2</b>	742749.28	4402497.64
<b>Punto 3</b>	742435.52	4401973.19
<b>Punto 4</b>	742162.22	4401503.75
<b>Punto 5</b>	741975.17	4400830.81
<b>Punto 6</b>	741794.56	4400397.23
<b>Punto 7</b>	741637.90	4399839.92
<b>Punto 8</b>	742424.14	4403195.73
<b>Punto 9</b>	742191.25	4402749.77
<b>Punto 10</b>	741915.92	4402212.75
<b>Punto 11</b>	741692.27	4401693.52
<b>Punto 12</b>	741365.05	4401062.72
<b>Punto 13</b>	741169.70	4400578.43
<b>Punto 14</b>	741002.50	4400000.28
<b>Punto 15</b>	742199.83	4403039.04
<b>Punto 16</b>	741982.09	4402545.56
<b>Punto 17</b>	741649.35	4402027.71
<b>Punto 18</b>	741396.19	4401416.42
<b>Punto 19</b>	741146.10	4400876.25
<b>Punto 20</b>	741020.60	4400415.16

Tabla 3.22. Localización de puntos objetivo en la Zona 5.

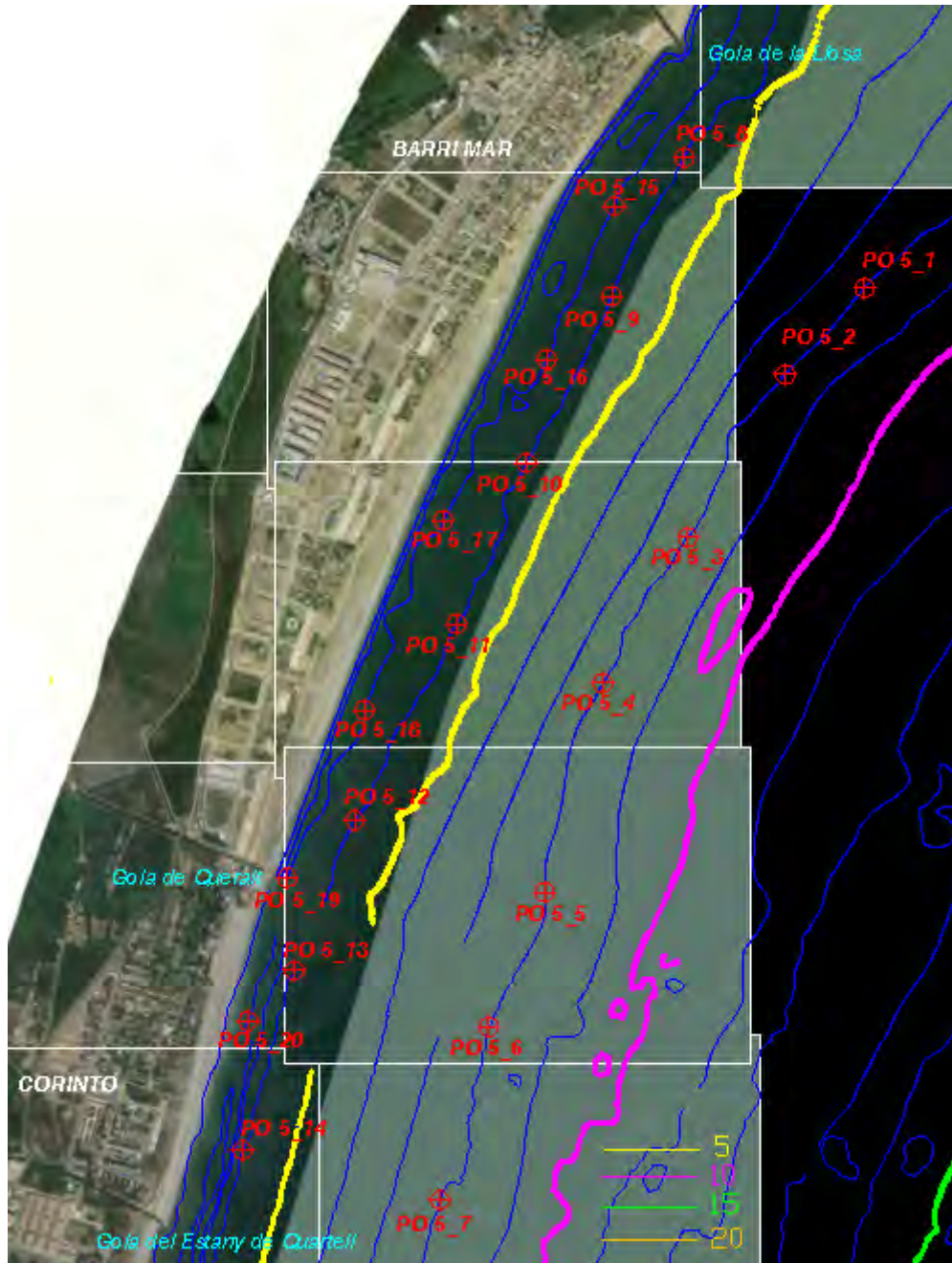


Figura 3.129. Localización de puntos objetivo en la Zona 5.

**DOCUMENTO FINAL**

**3.5.6. Localización de puntos objetivo en Zona 6**

ZONA 6	Coordenadas UTM	
	x	y
<b>Punto 1</b>	741436.05	4399246.16
<b>Punto 2</b>	741283.44	4398769.25
<b>Punto 3</b>	741128.99	4398271.18
<b>Punto 4</b>	741022.26	4397759.89
<b>Punto 5</b>	740921.72	4397208.65
<b>Punto 6</b>	740810.89	4396632.27
<b>Punto 7</b>	740737.51	4396112.23
<b>Punto 8</b>	740888.53	4399389.23
<b>Punto 9</b>	740773.69	4398902.45
<b>Punto 10</b>	740679.17	4398372.04
<b>Punto 11</b>	740593.42	4397830.72
<b>Punto 12</b>	740532.47	4397239.29
<b>Punto 13</b>	740364.05	4396688.17
<b>Punto 14</b>	740355.43	4396123.33
<b>Punto 15</b>	740690.98	4399188.00
<b>Punto 16</b>	740561.91	4398683.97
<b>Punto 17</b>	740419.63	4398142.65
<b>Punto 18</b>	740329.92	4397615.04
<b>Punto 19</b>	740220.57	4396375.37
<b>Punto 20</b>	740213.04	4395950.18

Figura 3.23. Localización de puntos objetivo en la Zona 6.

DOCUMENTO FINAL

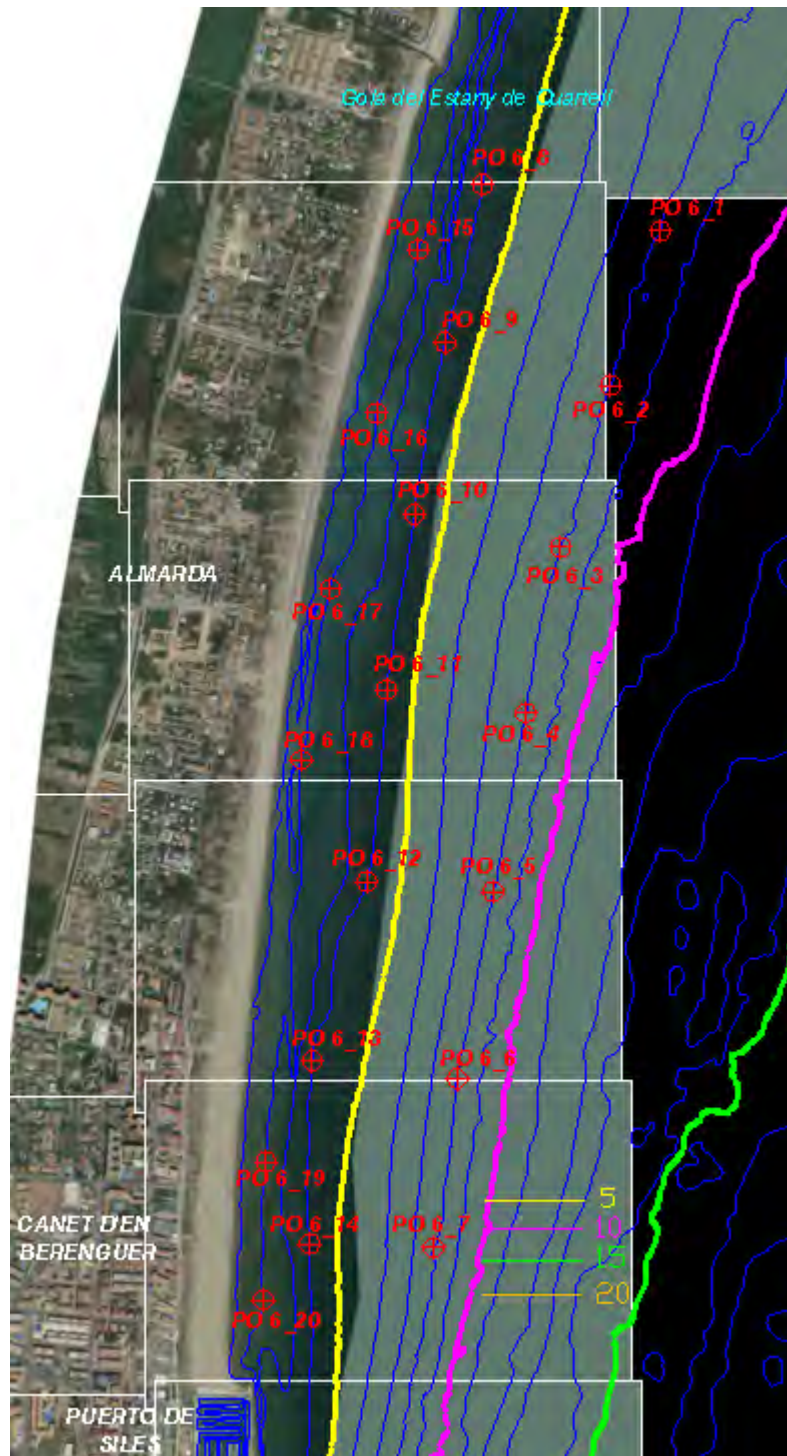


Figura 130. Localización de puntos objetivo en la Zona 6.



**DOCUMENTO FINAL**

**3.5.7. Localización de puntos objetivo en Zona 7**

<b>ZONA 7</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	
	<b>x</b>	<b>y</b>
<b>Punto 1</b>	740491.53	4394954.89
<b>Punto 2</b>	740361.69	4394611.22
<b>Punto 3</b>	740254.02	4394141.94
<b>Punto 4</b>	740132.50	4393640.25
<b>Punto 5</b>	739922.34	4393287.10
<b>Punto 6</b>	740290.27	4395231.08
<b>Punto 7</b>	740199.37	4395067.19
<b>Punto 8</b>	740006.32	4394700.58
<b>Punto 9</b>	739879.25	4394175.32
<b>Punto 10</b>	739828.16	4393655.63
<b>Punto 11</b>	739996.59	4395045.04
<b>Punto 12</b>	739849.15	4394615.39
<b>Punto 13</b>	739786.21	4394414.58
<b>Punto 14</b>	739744.06	4394033.33
<b>Punto 15</b>	739716.33	4393432.95
<b>Punto 16</b>	740058.83	4395290.71
<b>Punto 17</b>	739975.34	4395208.84
<b>Punto 18</b>	739810.71	4394719.35
<b>Punto 19</b>	739691.89	4393742.70

Tabla 3.24. Localización de puntos objetivo en la Zona 7.

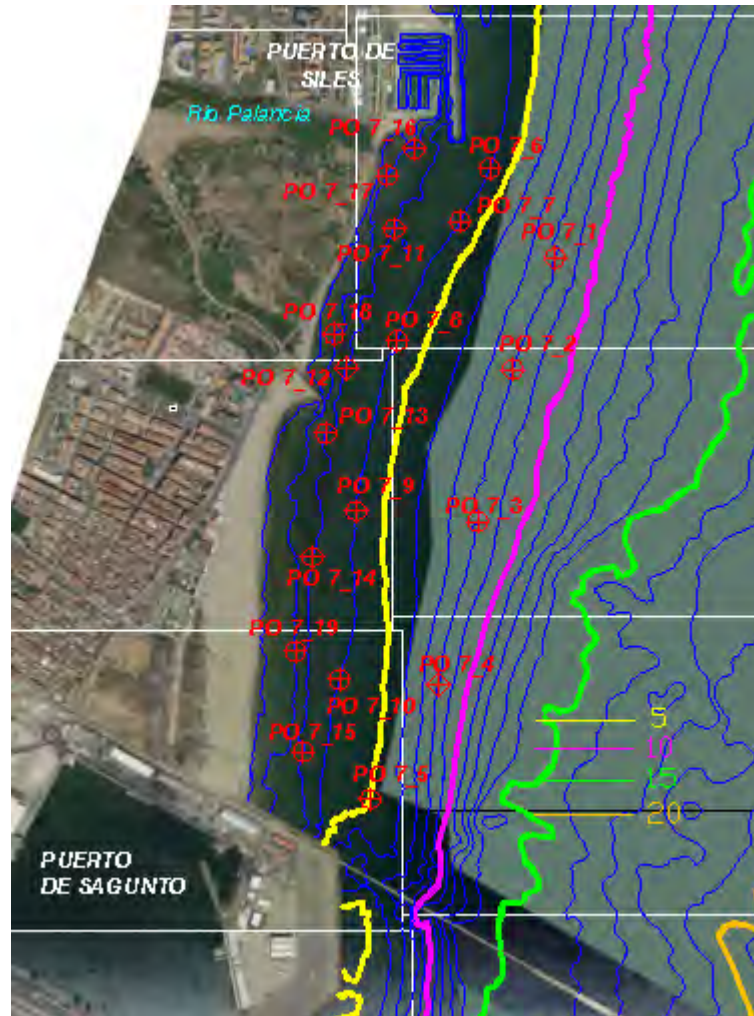


Figura 3.131. Localización de puntos objetivo en la Zona 7.

### **3.5.2. Parámetros relevantes de los regímenes medios de altura de ola significativa**

En todos los puntos objetivo se han determinado los regímenes medios de altura de ola significativa, ahora bien debido al gran número de figuras generado, dichas figuras se presentan en el Anejo IV del presente documento. En este apartado se indican dos parámetros relevantes extraídos de dichos regímenes como son la altura de ola significativa superada el 50 % del tiempo ( $H_{50\%}$ ) y la altura de ola significativa excedida 12 horas al año ( $H_{s12}$ ). En las tablas 3.25 a 3.31 se muestran los resultados obtenidos. Tal y como puede observarse, los valores de la altura de ola significativa superada el 50 % del tiempo varían entre los 0,5 m-0,8 m dependiendo de la profundidad del punto analizado, así como de la zona. Por otra parte, la altura de ola significativa superada 12 horas al año oscila entre los 1,2 m y los 2,8 m en función del punto analizado. Este

**DOCUMENTO FINAL**

último parámetro es de gran interés para la determinación de la profundidad de cierre del perfil de playa.

<b>ZONA 1</b>	<b>H<sub>50%</sub> (m)</b>	<b>H<sub>s12</sub> (m)</b>
<b>Punto 1</b>	0.55	2.46
<b>Punto 2</b>	0.55	2.48
<b>Punto 3</b>	0.56	2.44
<b>Punto 4</b>	0.57	2.38
<b>Punto 5</b>	0.56	2.53
<b>Punto 6</b>	0.66	1.54
<b>Punto 7</b>	0.59	1.60
<b>Punto 8</b>	0.58	1.52
<b>Punto 9</b>	0.62	1.53
<b>Punto 10</b>	0.65	1.65
<b>Punto 11</b>	0.70	1.73
<b>Punto 12</b>	0.67	1.18
<b>Punto 13</b>	0.70	1.23

Tabla 3.25. H<sub>50</sub> y H<sub>s12</sub> en la Zona 1.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>ZONA 2</b>	<b>H<sub>50%</sub> (m)</b>	<b>H<sub>s12</sub> (m)</b>
<b>Punto 1</b>	0.56	2.76
<b>Punto 2</b>	0.56	2.72
<b>Punto 3</b>	0.57	2.58
<b>Punto 4</b>	0.58	2.69
<b>Punto 5</b>	0.57	2.72
<b>Punto 6</b>	0.58	2.77
<b>Punto 7</b>	0.58	2.80
<b>Punto 8</b>	0.59	2.77
<b>Punto 9</b>	0.75	1.70
<b>Punto 10</b>	0.76	1.71
<b>Punto 11</b>	0.73	1.75
<b>Punto 12</b>	0.69	1.61
<b>Punto 13</b>	0.72	1.60
<b>Punto 14</b>	0.76	1.70
<b>Punto 15</b>	0.73	1.71
<b>Punto 16</b>	0.75	1.68
<b>Punto 17</b>	0.78	1.41
<b>Punto 18</b>	0.76	1.46
<b>Punto 19</b>	0.75	1.48
<b>Punto 20</b>	0.72	1.17
<b>Punto 21</b>	0.74	1.55
<b>Punto 22</b>	0.73	1.46
<b>Punto 23</b>	0.76	1.45
<b>Punto 24</b>	0.76	1.47
<b>Punto 25</b>	0.76	1.47
<b>Punto 26</b>	0.74	1.41
<b>Punto 27</b>	0.76	1.44
<b>Punto 28</b>	0.72	1.30

Tabla 3.26. H<sub>50</sub> y H<sub>s12</sub> en la Zona 2.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>ZONA 3</b>	<b>H<sub>50%</sub> (m)</b>	<b>H<sub>s12</sub> (m)</b>
<b>Punto 1</b>	0.59	2.74
<b>Punto 2</b>	0.63	2.79
<b>Punto 3</b>	0.63	2.74
<b>Punto 4</b>	0.63	2.73
<b>Punto 5</b>	0.63	2.69
<b>Punto 6</b>	0.63	2.77
<b>Punto 7</b>	0.64	2.71
<b>Punto 8</b>	0.77	1.67
<b>Punto 9</b>	0.76	1.62
<b>Punto 10</b>	0.76	1.66
<b>Punto 11</b>	0.75	1.72
<b>Punto 12</b>	0.75	1.66
<b>Punto 13</b>	0.72	1.70
<b>Punto 14</b>	0.76	1.64
<b>Punto 15</b>	0.76	1.63
<b>Punto 16</b>	0.77	1.43
<b>Punto 17</b>	0.77	1.44
<b>Punto 18</b>	0.77	1.46
<b>Punto 19</b>	0.78	1.46
<b>Punto 20</b>	0.77	1.44
<b>Punto 21</b>	0.75	1.44
<b>Punto 22</b>	0.75	1.42
<b>Punto 23</b>	0.74	1.56
<b>Punto 24</b>	0.77	1.49
<b>Punto 25</b>	0.75	1.51
<b>Punto 26</b>	0.72	1.36
<b>Punto 27</b>	0.76	1.41

Tabla 3.27. H<sub>50</sub> y H<sub>s12</sub> en la Zona 3.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>ZONA 4</b>	<b>H<sub>50%</sub> (m)</b>	<b>H<sub>s12</sub> (m)</b>
<b>Punto 1</b>	0.63	2.69
<b>Punto 2</b>	0.62	2.66
<b>Punto 3</b>	0.63	2.73
<b>Punto 4</b>	0.63	2.70
<b>Punto 5</b>	0.63	2.69
<b>Punto 6</b>	0.63	2.75
<b>Punto 7</b>	0.63	2.76
<b>Punto 8</b>	0.76	1.62
<b>Punto 9</b>	0.72	1.70
<b>Punto 10</b>	0.75	1.68
<b>Punto 11</b>	0.73	1.69
<b>Punto 12</b>	0.73	1.66
<b>Punto 13</b>	0.74	1.62
<b>Punto 14</b>	0.73	1.59
<b>Punto 15</b>	0.72	1.62
<b>Punto 16</b>	0.77	1.40
<b>Punto 17</b>	0.78	1.48
<b>Punto 18</b>	0.76	1.44
<b>Punto 19</b>	0.75	1.42
<b>Punto 20</b>	0.75	1.46
<b>Punto 21</b>	0.75	1.43
<b>Punto 22</b>	0.75	1.42
<b>Punto 23</b>	0.75	1.46
<b>Punto 24</b>	0.77	1.40

Tabla 3.28. H<sub>50</sub> y H<sub>s12</sub> en la Zona 4.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>ZONA 5</b>	<b>H<sub>50%</sub> (m)</b>	<b>H<sub>s12</sub> (m)</b>
<b>Punto 1</b>	0.63	2.70
<b>Punto 2</b>	0.62	2.69
<b>Punto 3</b>	0.61	2.66
<b>Punto 4</b>	0.61	2.67
<b>Punto 5</b>	0.63	2.79
<b>Punto 6</b>	0.63	2.75
<b>Punto 7</b>	0.63	2.77
<b>Punto 8</b>	0.75	1.65
<b>Punto 9</b>	0.74	1.64
<b>Punto 10</b>	0.70	1.68
<b>Punto 11</b>	0.70	1.70
<b>Punto 12</b>	0.70	1.66
<b>Punto 13</b>	0.74	1.65
<b>Punto 14</b>	0.75	1.67
<b>Punto 15</b>	0.76	1.40
<b>Punto 16</b>	0.75	1.41
<b>Punto 17</b>	0.74	1.33
<b>Punto 18</b>	0.73	1.36
<b>Punto 19</b>	0.74	1.36
<b>Punto 20</b>	0.71	1.14

Tabla 3.29. H<sub>50</sub> y H<sub>s12</sub> en la Zona 5.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>ZONA 6</b>	<b>H<sub>50%</sub> (m)</b>	<b>H<sub>s12</sub> (m)</b>
<b>Punto 1</b>	0.63	2.73
<b>Punto 2</b>	0.63	2.80
<b>Punto 3</b>	0.60	2.58
<b>Punto 4</b>	0.61	2.64
<b>Punto 5</b>	0.60	2.71
<b>Punto 6</b>	0.59	2.76
<b>Punto 7</b>	0.59	2.78
<b>Punto 8</b>	0.75	1.74
<b>Punto 9</b>	0.74	1.77
<b>Punto 10</b>	0.75	1.80
<b>Punto 11</b>	0.75	1.83
<b>Punto 12</b>	0.76	1.80
<b>Punto 13</b>	0.76	1.70
<b>Punto 14</b>	0.77	1.84
<b>Punto 15</b>	0.59	0.84
<b>Punto 16</b>	0.68	1.08
<b>Punto 17</b>	0.65	1.00
<b>Punto 18</b>	0.64	0.96
<b>Punto 19</b>	0.69	1.12
<b>Punto 20</b>	0.67	1.03

Tabla 3.30. H<sub>50</sub> y H<sub>s12</sub> en la Zona 6.

<b>ZONA 7</b>	<b>H<sub>50%</sub> (m)</b>	<b>H<sub>s12</sub> (m)</b>
<b>Punto 1</b>	0.59	2.88
<b>Punto 2</b>	0.59	2.79
<b>Punto 3</b>	0.58	2.84
<b>Punto 4</b>	0.54	2.83
<b>Punto 5</b>	0.67	2.21
<b>Punto 6</b>	0.77	1.94
<b>Punto 7</b>	0.73	1.90
<b>Punto 8</b>	0.76	1.84
<b>Punto 9</b>	0.74	1.84
<b>Punto 10</b>	0.71	1.74
<b>Punto 11</b>	0.73	1.44
<b>Punto 12</b>	0.74	1.41
<b>Punto 13</b>	0.72	1.33
<b>Punto 14</b>	0.73	1.38
<b>Punto 15</b>	0.74	1.52
<b>Punto 16</b>	0.61	1.05
<b>Punto 17</b>	0.65	1.01
<b>Punto 18</b>	0.65	0.99
<b>Punto 19</b>	0.71	1.17

Tabla 3.31. H<sub>50</sub> y H<sub>s12</sub> en la Zona 7.



### 3.5.3. Flujos medios anuales de energía

En todos los puntos objetivo se han determinado las rosas de oleaje, ahora bien debido al gran número de figuras generado, dichas figuras se presentan en el Anejo IV del presente documento. En este apartado se presenta un parámetro de interés como es el flujo medio anual de energía. En las tablas 3.32 a 3.38 se indican los valores de este parámetro para cada punto dentro de cada zona analizada y además en las figuras 3.132 a 3.138 se muestran los mapas de flujos medios anuales de energía para cada zona. A partir de dichos gráficos se puede establecer un valor medio aproximado para cada zona del flujo medio anual de energía que es del orden de S 67° E en la Zona 1, S 75° E en la Zona 2, S 78° E en la Zona 3, S 79° E en la Zona 4, S 81° E en la Zona 5, S 86° en la Zona 6 y S 87° E en la Zona 7.

ZONA 1	Coordenadas UTM		Dirección flujo medio respecto al N			Dirección flujo medio respecto al S		
	x	y						
<b>Punto 1</b>	750810.28	4415828.78	N	105.80	°E	S	74.20	°E
<b>Punto 2</b>	750442.60	4415487.20	N	104.11	°E	S	75.89	°E
<b>Punto 3</b>	750270.02	4415340.66	N	103.81	°E	S	76.19	°E
<b>Punto 4</b>	750087.00	4415223.42	N	104.52	°E	S	75.48	°E
<b>Punto 5</b>	749889.74	4414821.54	N	100.21	°E	S	79.79	°E
<b>Punto 6</b>	750349.58	4416246.25	N	125.36	°E	S	54.64	°E
<b>Punto 7</b>	749869.27	4416006.59	N	123.44	°E	S	56.56	°E
<b>Punto 8</b>	749561.67	4415900.48	N	122.87	°E	S	57.13	°E
<b>Punto 9</b>	749302.19	4415707.81	N	118.17	°E	S	61.83	°E
<b>Punto 10</b>	749067.87	4415223.89	N	112.38	°E	S	67.62	°E
<b>Punto 11</b>	748831.46	4414782.93	N	109.70	°E	S	70.30	°E
<b>Punto 12</b>	749151.73	4415722.36	N	121.32	°E	S	58.68	°E
<b>Punto 13</b>	749089.26	4415610.54	N	116.58	°E	S	63.42	°E

Tabla 3.32. Flujos medios de energía en Zona 1.

DOCUMENTO FINAL

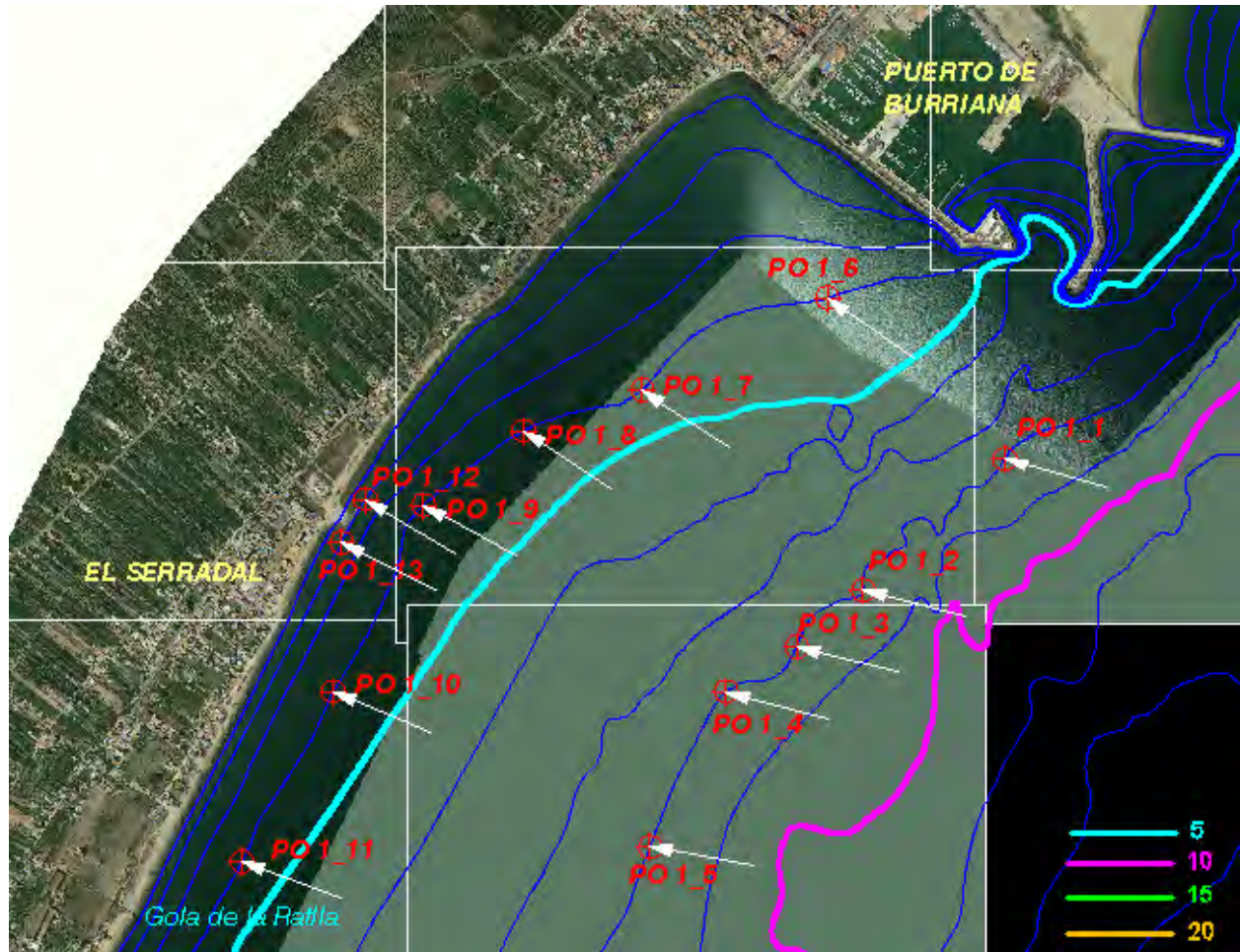


Figura 3.132. Flujos medios de energía en Zona 1.

**DOCUMENTO FINAL**

ZONA 2	Coordenadas UTM		Dirección flujo medio respecto al N		Dirección flujo medio respecto al S	
	x	y				
<b>Punto 1</b>	749255.43	4413962.82	N	100.96 °E	S	79.04 °E
<b>Punto 2</b>	748974.18	4413677.41	N	101.60 °E	S	78.40 °E
<b>Punto 3</b>	748612.00	4413110.70	N	101.12 °E	S	78.88 °E
<b>Punto 4</b>	748518.36	4412651.82	N	98.87 °E	S	81.13 °E
<b>Punto 5</b>	748224.69	4412318.25	N	98.99 °E	S	81.01 °E
<b>Punto 6</b>	748024.57	4411850.75	N	98.37 °E	S	81.63 °E
<b>Punto 7</b>	747822.68	4411460.93	N	97.95 °E	S	82.05 °E
<b>Punto 8</b>	747560.79	4411032.28	N	98.02 °E	S	81.98 °E
<b>Punto 9</b>	748587.07	4414352.83	N	107.97 °E	S	72.03 °E
<b>Punto 10</b>	748398.35	4413890.41	N	106.24 °E	S	73.76 °E
<b>Punto 11</b>	748182.95	4413378.15	N	103.95 °E	S	76.05 °E
<b>Punto 12</b>	747870.00	4413017.78	N	108.35 °E	S	71.65 °E
<b>Punto 13</b>	747625.16	4412657.34	N	105.44 °E	S	74.56 °E
<b>Punto 14</b>	747414.48	4412195.81	N	105.22 °E	S	74.78 °E
<b>Punto 15</b>	747173.31	4411828.21	N	106.16 °E	S	73.84 °E
<b>Punto 16</b>	746911.29	4411399.63	N	105.54 °E	S	74.46 °E
<b>Punto 17</b>	748173.55	4413597.95	N	106.43 °E	S	73.57 °E
<b>Punto 18</b>	748113.70	4413433.28	N	107.69 °E	S	72.31 °E
<b>Punto 19</b>	748002.39	4413254.60	N	109.91 °E	S	70.09 °E
<b>Punto 20</b>	747836.39	4413085.43	N	117.38 °E	S	62.62 °E
<b>Punto 21</b>	747720.87	4412891.99	N	107.31 °E	S	72.69 °E
<b>Punto 22</b>	747569.52	4412688.81	N	107.70 °E	S	72.30 °E
<b>Punto 23</b>	747461.90	4412460.79	N	106.81 °E	S	73.19 °E
<b>Punto 24</b>	747355.02	4412256.88	N	107.84 °E	S	72.16 °E
<b>Punto 25</b>	747233.33	4412078.26	N	109.37 °E	S	70.63 °E
<b>Punto 26</b>	747084.16	4411904.59	N	109.10 °E	S	70.90 °E
<b>Punto 27</b>	746974.60	4411700.91	N	107.59 °E	S	72.41 °E
<b>Punto 28</b>	746742.83	4411495.21	N	109.52 °E	S	70.48 °E

Tabla 3.33. Flujos medios de energía en Zona 2.

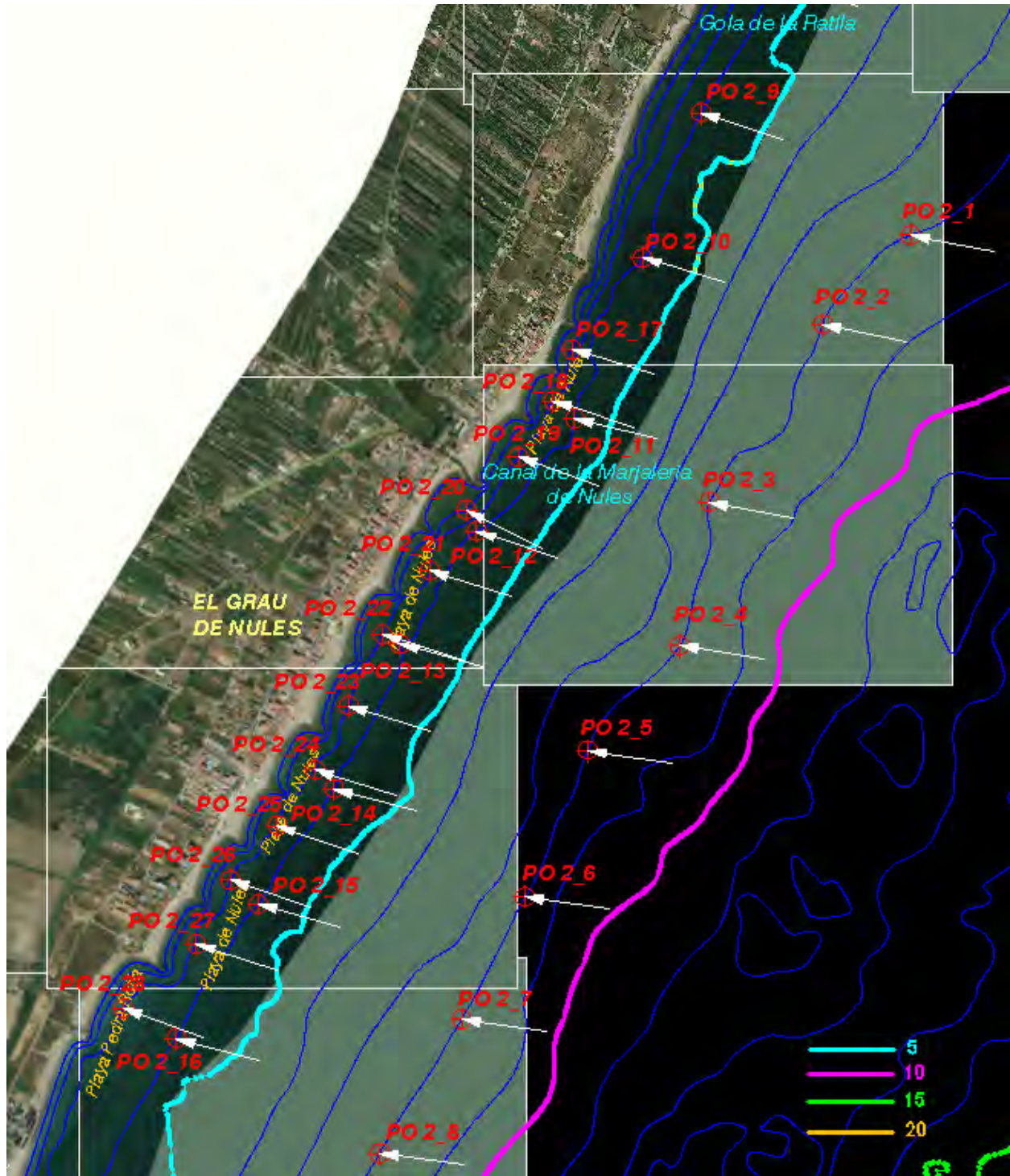


Figura 3.133. Flujos medios de energía en Zona 2.

DOCUMENTO FINAL

ZONA 3	Coordenadas UTM		Dirección flujo medio respecto al N			Dirección flujo medio respecto al S		
	x	y						
<b>Punto 1</b>	747390.83	4410750.83	N	97.87	°E	S	82.13	°E
<b>Punto 2</b>	747186.90	4410359.75	N	96.52	°E	S	83.48	°E
<b>Punto 3</b>	746853.63	4409786.39	N	96.77	°E	S	83.23	°E
<b>Punto 4</b>	746597.34	4409280.20	N	97.14	°E	S	82.86	°E
<b>Punto 5</b>	746276.68	4408953.27	N	97.68	°E	S	82.32	°E
<b>Punto 6</b>	746105.72	4408360.32	N	95.05	°E	S	84.95	°E
<b>Punto 7</b>	745739.07	4407570.73	N	95.86	°E	S	84.14	°E
<b>Punto 8</b>	746700.02	4410992.36	N	101.94	°E	S	78.06	°E
<b>Punto 9</b>	746482.13	4410607.44	N	101.30	°E	S	78.70	°E
<b>Punto 10</b>	746243.06	4410069.72	N	102.79	°E	S	77.21	°E
<b>Punto 11</b>	746009.45	4409551.17	N	103.82	°E	S	76.18	°E
<b>Punto 12</b>	745788.54	4409178.63	N	103.61	°E	S	76.39	°E
<b>Punto 13</b>	745523.70	4408678.17	N	102.10	°E	S	77.90	°E
<b>Punto 14</b>	745133.96	4408168.74	N	102.68	°E	S	77.32	°E
<b>Punto 15</b>	744873.93	4407757.81	N	102.91	°E	S	77.09	°E
<b>Punto 16</b>	746283.34	4410382.90	N	105.67	°E	S	74.33	°E
<b>Punto 17</b>	746205.24	4410242.98	N	105.86	°E	S	74.14	°E
<b>Punto 18</b>	746151.86	4410097.65	N	104.59	°E	S	75.41	°E
<b>Punto 19</b>	746077.32	4409928.81	N	104.29	°E	S	75.71	°E
<b>Punto 20</b>	746006.21	4409763.08	N	105.94	°E	S	74.06	°E
<b>Punto 21</b>	745908.46	4409576.14	N	107.57	°E	S	72.43	°E
<b>Punto 22</b>	745828.52	4409453.17	N	105.53	°E	S	74.47	°E
<b>Punto 23</b>	745583.36	4408926.15	N	107.68	°E	S	72.32	°E
<b>Punto 24</b>	745412.30	4408654.53	N	105.00	°E	S	75.00	°E
<b>Punto 25</b>	745255.47	4408386.92	N	107.41	°E	S	72.59	°E
<b>Punto 26</b>	745074.47	4408249.97	N	109.78	°E	S	70.22	°E
<b>Punto 27</b>	744891.22	4408004.18	N	104.60	°E	S	75.40	°E

Tabla 3.34. Flujos medios de energía en Zona 3.

DOCUMENTO FINAL

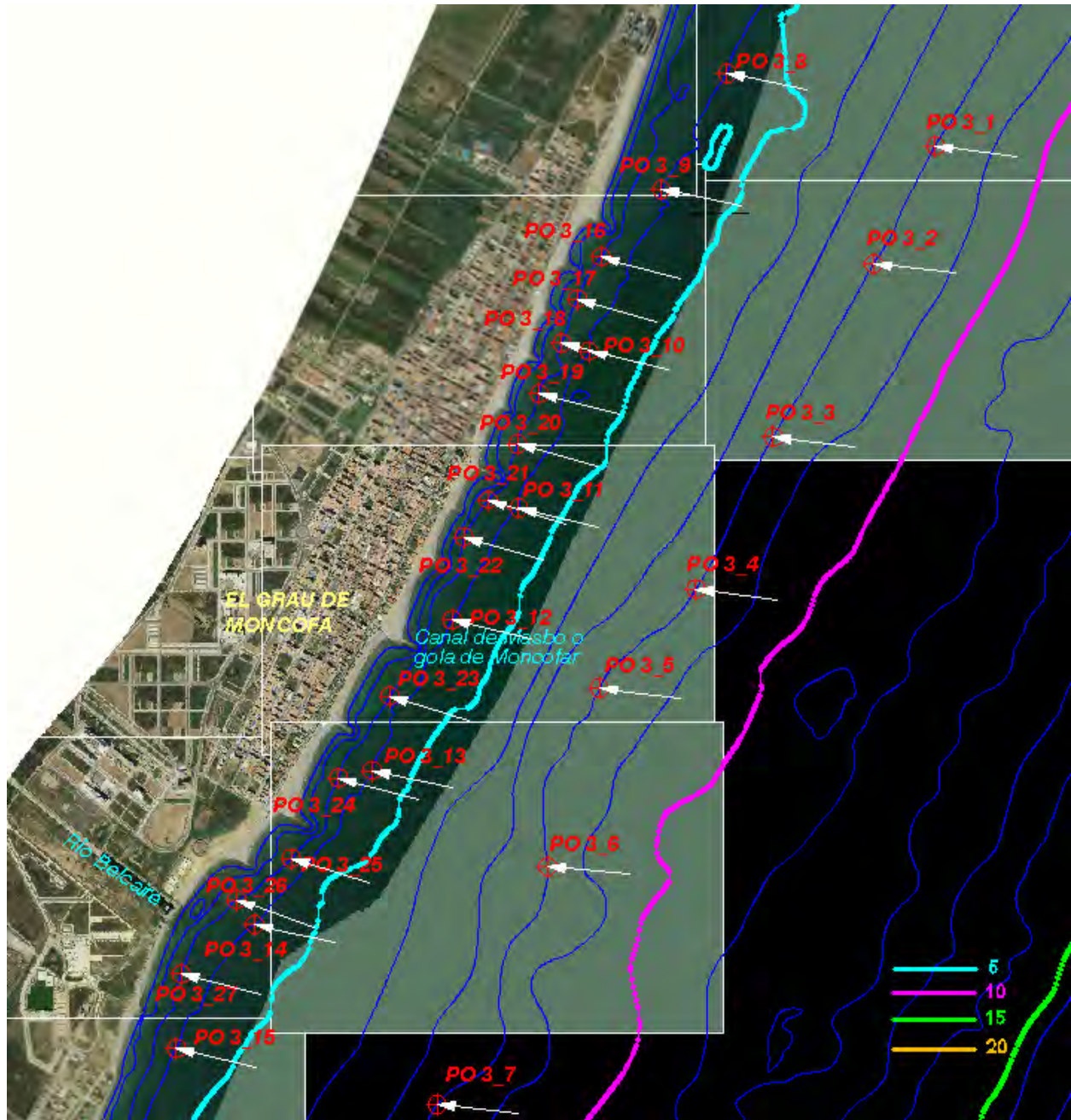


Figura 3.134. Flujos medios de energía en Zona 3.

**DOCUMENTO FINAL**

ZONA 4	Coordenadas UTM		Dirección flujo medio respecto al N			Dirección flujo medio respecto al S		
	x	y						
<b>Punto 1</b>	745260.81	4406802.02	N	96.72	°E	S	83.28	°E
<b>Punto 2</b>	744915.85	4406264.12	N	96.90	°E	S	83.10	°E
<b>Punto 3</b>	744626.75	4405579.22	N	94.60	°E	S	85.40	°E
<b>Punto 4</b>	744319.44	4404939.17	N	94.87	°E	S	85.13	°E
<b>Punto 5</b>	744094.36	4404484.30	N	95.15	°E	S	84.85	°E
<b>Punto 6</b>	743893.43	4404027.65	N	94.16	°E	S	85.84	°E
<b>Punto 7</b>	743637.59	4403526.11	N	94.21	°E	S	85.79	°E
<b>Punto 8</b>	744549.69	4407056.53	N	104.55	°E	S	75.45	°E
<b>Punto 9</b>	744355.64	4406464.62	N	103.42	°E	S	76.58	°E
<b>Punto 10</b>	744101.07	4405976.35	N	103.12	°E	S	76.88	°E
<b>Punto 11</b>	743951.20	4405740.26	N	101.56	°E	S	78.44	°E
<b>Punto 12</b>	743714.66	4405327.23	N	102.76	°E	S	77.24	°E
<b>Punto 13</b>	743368.75	4404837.63	N	102.28	°E	S	77.72	°E
<b>Punto 14</b>	743099.60	4404410.78	N	102.72	°E	S	77.28	°E
<b>Punto 15</b>	742801.41	4403860.43	N	102.91	°E	S	77.09	°E
<b>Punto 16</b>	744552.45	4407168.48	N	108.26	°E	S	71.74	°E
<b>Punto 17</b>	744369.52	4406788.43	N	102.38	°E	S	77.62	°E
<b>Punto 18</b>	744261.68	4406497.91	N	105.21	°E	S	74.79	°E
<b>Punto 19</b>	744004.10	4406005.71	N	108.01	°E	S	71.99	°E
<b>Punto 20</b>	743878.07	4405808.97	N	103.21	°E	S	76.79	°E
<b>Punto 21</b>	743650.00	4405385.35	N	107.25	°E	S	72.75	°E
<b>Punto 22</b>	743466.41	4405171.76	N	105.50	°E	S	74.50	°E
<b>Punto 23</b>	743307.85	4404886.67	N	104.68	°E	S	75.32	°E
<b>Punto 24</b>	742836.94	4404175.00	N	104.57	°E	S	75.43	°E

Tabla 3.35. Flujos medios de energía en Zona 4.

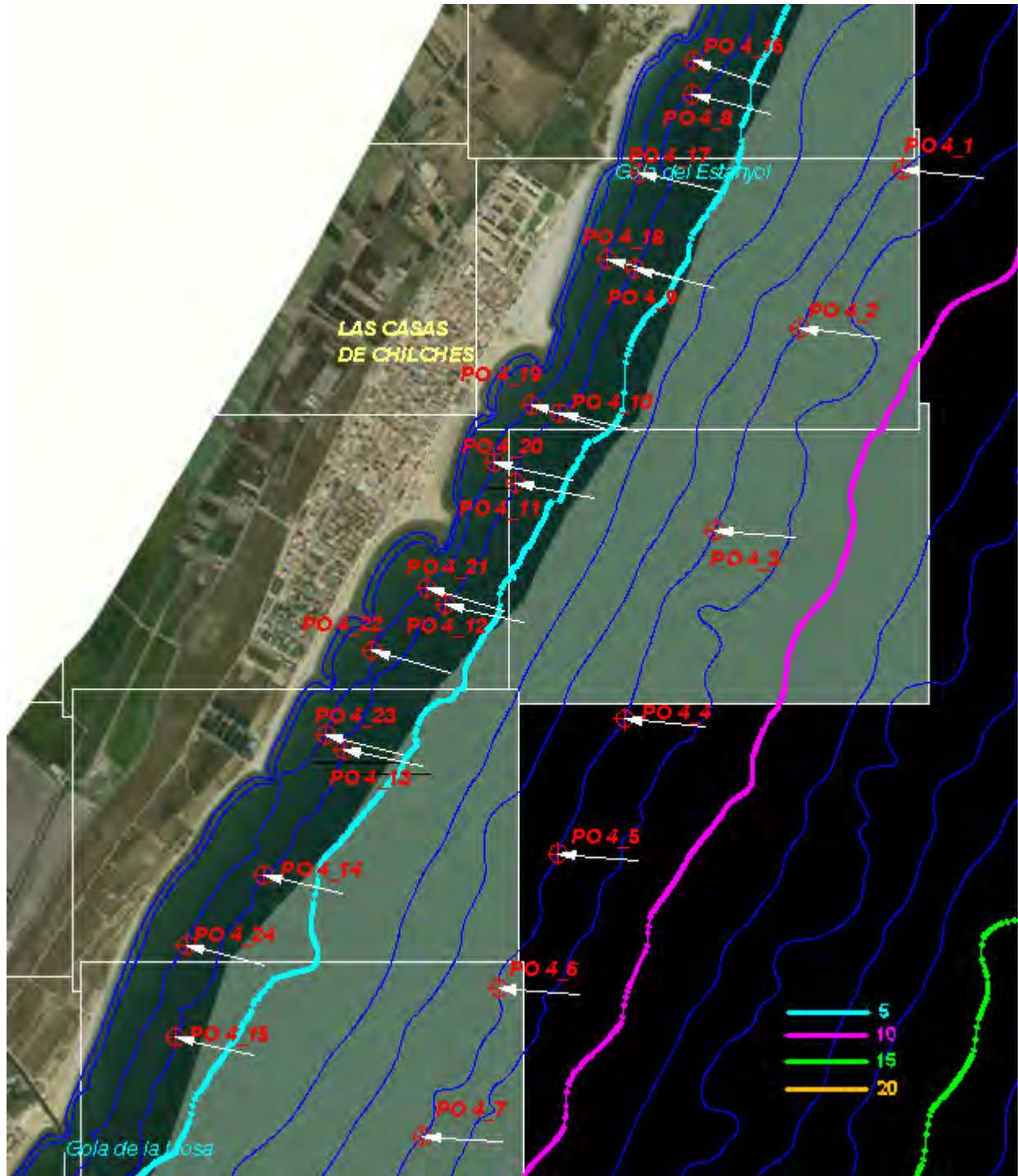


Figura 3.135. Flujos medios de energía en Zona 4.



DOCUMENTO FINAL

ZONA 5	Coordenadas UTM		Dirección flujo medio respecto al N		Dirección flujo medio respecto al S	
	x	y				
<b>Punto 1</b>	743003.95	4402775.93	N	95.48 °E	S	84.52 °E
<b>Punto 2</b>	742749.28	4402497.64	N	95.43 °E	S	84.57 °E
<b>Punto 3</b>	742435.52	4401973.19	N	94.59 °E	S	85.41 °E
<b>Punto 4</b>	742162.22	4401503.75	N	93.62 °E	S	86.38 °E
<b>Punto 5</b>	741975.17	4400830.81	N	90.74 °E	S	89.26 °E
<b>Punto 6</b>	741794.56	4400397.23	N	90.87 °E	S	89.13 °E
<b>Punto 7</b>	741637.90	4399839.92	N	90.54 °E	S	89.46 °E
<b>Punto 8</b>	742424.14	4403195.73	N	105.75 °E	S	74.25 °E
<b>Punto 9</b>	742191.25	4402749.77	N	104.06 °E	S	75.94 °E
<b>Punto 10</b>	741915.92	4402212.75	N	103.67 °E	S	76.33 °E
<b>Punto 11</b>	741692.27	4401693.52	N	102.84 °E	S	77.16 °E
<b>Punto 12</b>	741365.05	4401062.72	N	99.76 °E	S	80.24 °E
<b>Punto 13</b>	741169.70	4400578.43	N	97.35 °E	S	82.65 °E
<b>Punto 14</b>	741002.50	4400000.28	N	96.51 °E	S	83.49 °E
<b>Punto 15</b>	742199.83	4403039.04	N	107.56 °E	S	72.44 °E
<b>Punto 16</b>	741982.09	4402545.56	N	106.25 °E	S	73.75 °E
<b>Punto 17</b>	741649.35	4402027.71	N	104.27 °E	S	75.73 °E
<b>Punto 18</b>	741396.19	4401416.42	N	103.00 °E	S	77.00 °E
<b>Punto 19</b>	741146.10	4400876.25	N	99.18 °E	S	80.82 °E
<b>Punto 20</b>	741020.60	4400415.16	N	100.10 °E	S	79.90 °E

Tabla 3.36. Flujos medios de energía en Zona 5.

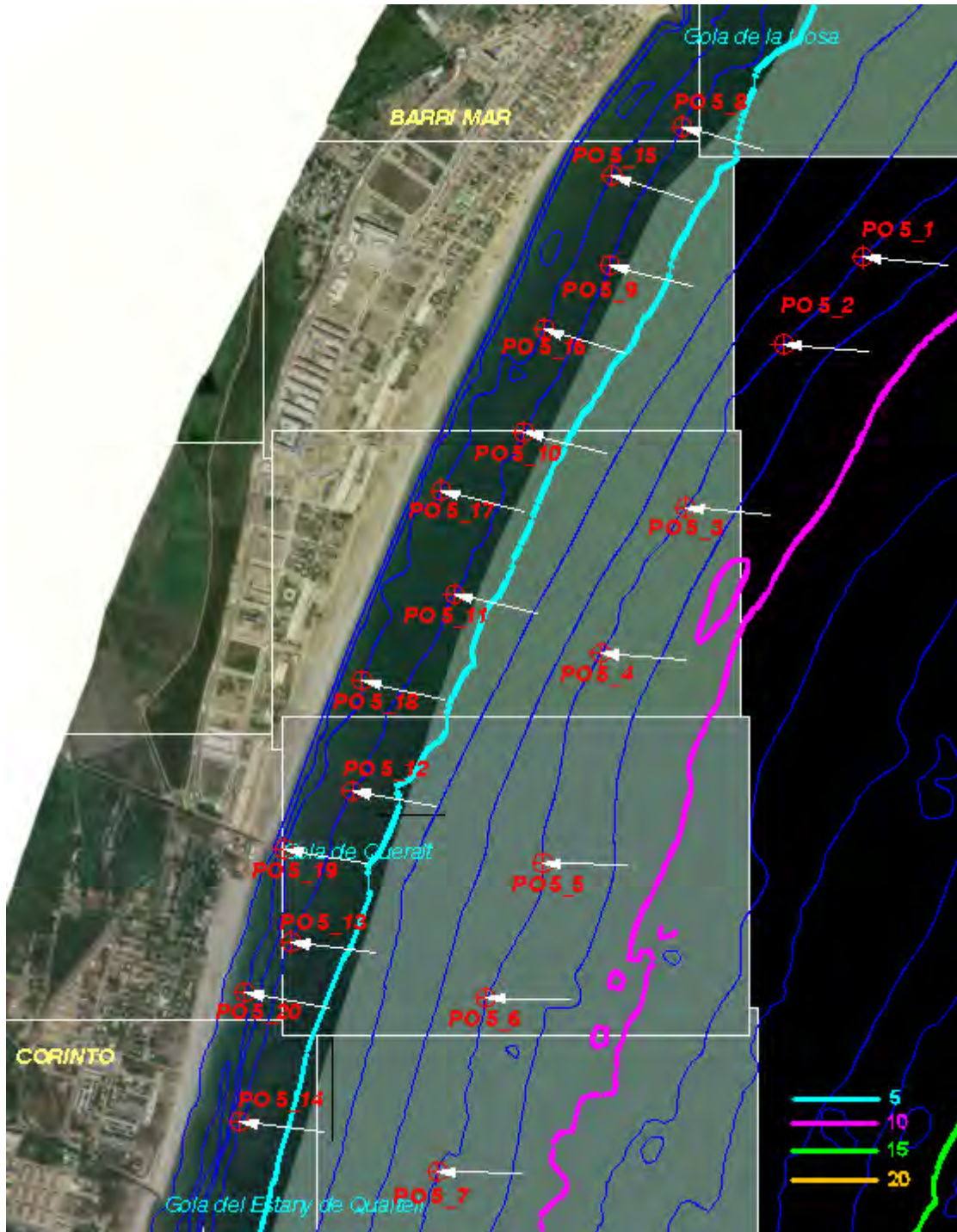


Figura 3.136. Flujos medios de energía en Zona 5.

DOCUMENTO FINAL

ZONA 6	Coordenadas UTM		Dirección flujo medio respecto al N			Dirección flujo medio respecto al S		
	x	y						
<b>Punto 1</b>	741436.05	4399246.16	N	90.39	°E	S	89.61	°E
<b>Punto 2</b>	741283.44	4398769.25	N	89.23	°E	S	90.77	°E
<b>Punto 3</b>	741128.99	4398271.18	N	93.23	°E	S	86.77	°E
<b>Punto 4</b>	741022.26	4397759.89	N	91.96	°E	S	88.04	°E
<b>Punto 5</b>	740921.72	4397208.65	N	90.56	°E	S	89.44	°E
<b>Punto 6</b>	740810.89	4396632.27	N	89.08	°E	S	90.92	°E
<b>Punto 7</b>	740737.51	4396112.23	N	88.76	°E	S	91.24	°E
<b>Punto 8</b>	740888.53	4399389.23	N	98.35	°E	S	81.65	°E
<b>Punto 9</b>	740773.69	4398902.45	N	98.15	°E	S	81.85	°E
<b>Punto 10</b>	740679.17	4398372.04	N	96.33	°E	S	83.67	°E
<b>Punto 11</b>	740593.42	4397830.72	N	94.15	°E	S	85.85	°E
<b>Punto 12</b>	740532.47	4397239.29	N	94.18	°E	S	85.82	°E
<b>Punto 13</b>	740364.05	4396688.17	N	93.64	°E	S	86.36	°E
<b>Punto 14</b>	740355.43	4396123.33	N	91.07	°E	S	88.93	°E
<b>Punto 15</b>	740690.98	4399188.00	N	103.16	°E	S	76.84	°E
<b>Punto 16</b>	740561.91	4398683.97	N	100.73	°E	S	79.27	°E
<b>Punto 17</b>	740419.63	4398142.65	N	102.33	°E	S	77.67	°E
<b>Punto 18</b>	740329.92	4397615.04	N	95.53	°E	S	84.47	°E
<b>Punto 19</b>	740220.57	4396375.37	N	94.42	°E	S	85.58	°E
<b>Punto 20</b>	740213.04	4395950.18	N	93.39	°E	S	86.61	°E

Tabla 3.37. Flujos medios de energía en Zona 6.

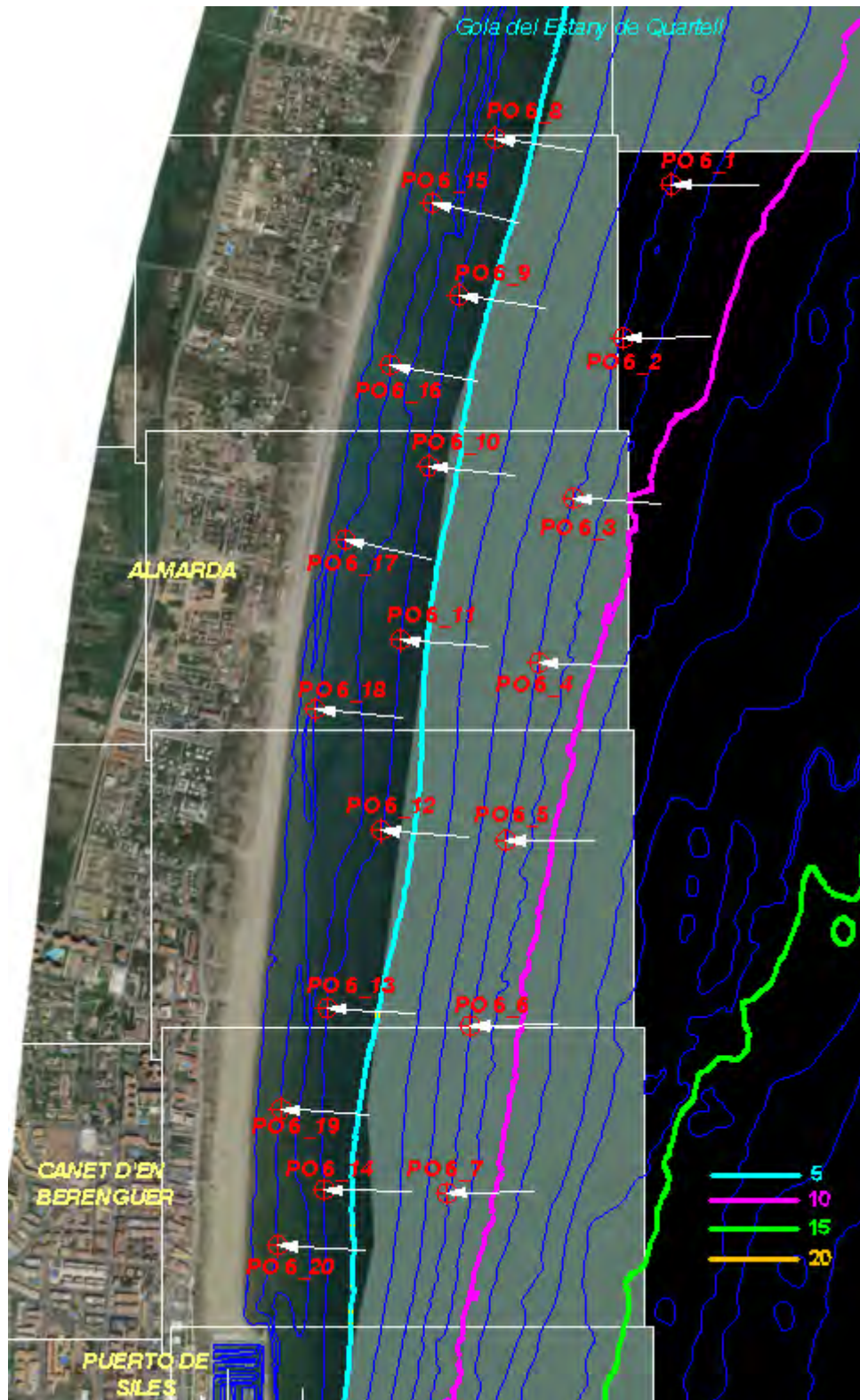


Figura 3.137. Flujos medios de energía en Zona 6.

DOCUMENTO FINAL

ZONA 7	Coordenadas UTM		Dirección flujo medio respecto al N		Dirección flujo medio respecto al S	
	x	y				
<b>Punto 1</b>	740491.53	4394954.89	N	86.65 °E	S	93.35 °E
<b>Punto 2</b>	740361.69	4394611.22	N	87.72 °E	S	92.28 °E
<b>Punto 3</b>	740254.02	4394141.94	N	87.10 °E	S	92.90 °E
<b>Punto 4</b>	740132.50	4393640.25	N	86.54 °E	S	93.46 °E
<b>Punto 5</b>	739922.34	4393287.10	N	86.99 °E	S	93.01 °E
<b>Punto 6</b>	740290.27	4395231.08	N	94.25 °E	S	85.75 °E
<b>Punto 7</b>	740199.37	4395067.19	N	95.98 °E	S	84.02 °E
<b>Punto 8</b>	740006.32	4394700.58	N	94.70 °E	S	85.30 °E
<b>Punto 9</b>	739879.25	4394175.32	N	90.80 °E	S	89.20 °E
<b>Punto 10</b>	739828.16	4393655.63	N	91.02 °E	S	88.98 °E
<b>Punto 11</b>	739996.59	4395045.04	N	103.70 °E	S	76.30 °E
<b>Punto 12</b>	739849.15	4394615.39	N	97.25 °E	S	82.75 °E
<b>Punto 13</b>	739786.21	4394414.58	N	96.11 °E	S	83.89 °E
<b>Punto 14</b>	739744.06	4394033.33	N	92.07 °E	S	87.93 °E
<b>Punto 15</b>	739716.33	4393432.95	N	92.81 °E	S	87.19 °E
<b>Punto 16</b>	740058.83	4395290.71	N	112.32 °E	S	67.68 °E
<b>Punto 17</b>	739975.34	4395208.84	N	108.66 °E	S	71.34 °E
<b>Punto 18</b>	739810.71	4394719.35	N	103.63 °E	S	76.37 °E
<b>Punto 19</b>	739691.89	4393742.70	N	92.51 °E	S	87.49 °E

Tabla 3.38. Flujos medios de energía en Zona 7.

DOCUMENTO FINAL

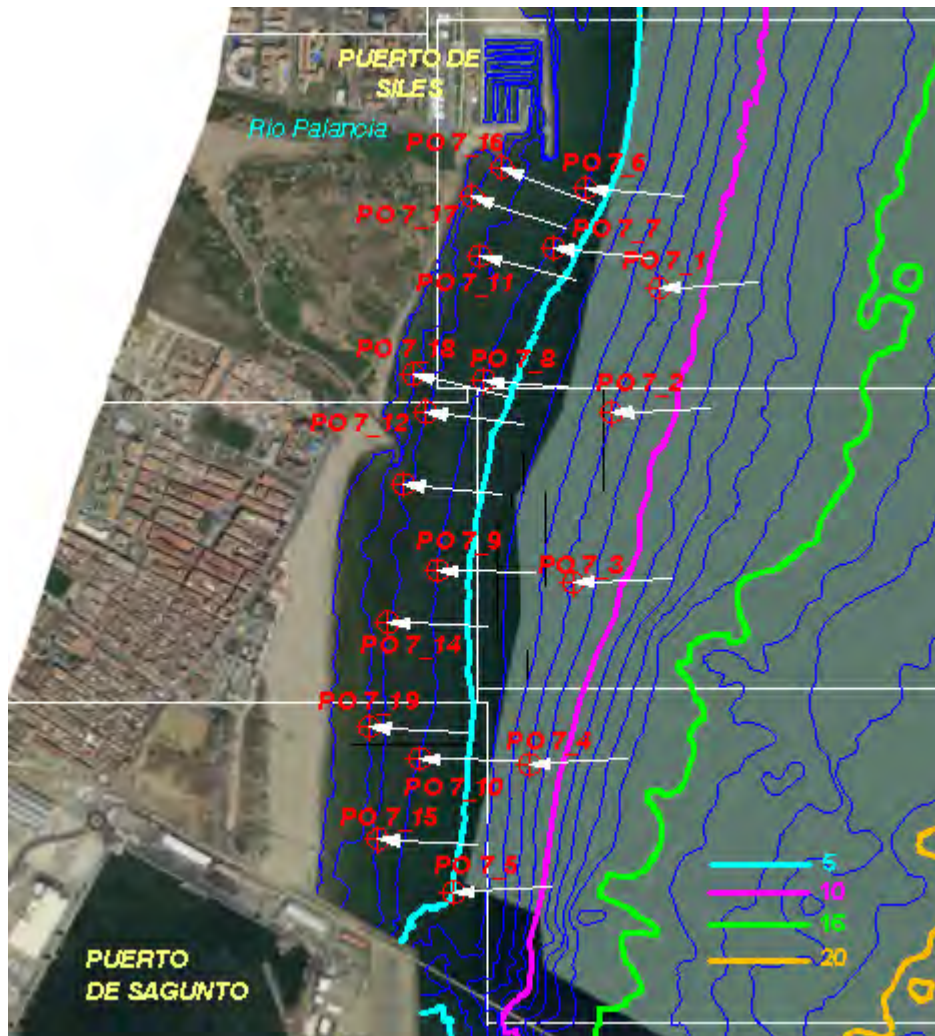


Figura 3.138. Flujos medios de energía en Zona 7.



## **Anejo 1 Capítulo 4 del Documento Preliminar**

### **DINÁMICA LITORAL**



## 4. DINÁMICA LITORAL

### 4.1 Introducción y metodología de análisis

En el presente capítulo se analiza la estabilidad y evolución de las playas del tramo de costa de unos 26 kilómetros situado entre el Puerto de Burriana y el de Sagunto, destacando especialmente el análisis del transporte litoral existente en la zona. Este estudio es determinante para comprender el modelo de funcionamiento de la zona analizada, así como para la propuesta de alternativas de estabilización de dicho tramo de costa, lo cual será el objetivo del capítulo siguiente.

En el desarrollo de este capítulo y debido a la gran longitud de la zona de estudio, se va a dividir en 7 zonas el tramo de costa comprendido entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto siguiendo la misma separación que en el capítulo anterior. A continuación se vuelven a indicar dichas zonas o tramos:

- ZONA 1 (El Serradal): del Puerto de Burriana a la Gola de La Ratlla.
- ZONA 2 (Nules): de la Gola de la Ratlla a la Playa de Pedra Rotja.
- ZONA 3 (Moncofar): de la Playa de Pedra Rotja a la Playa de La Torre.
- ZONA 4 (Chilches): de la Playa de El Estanyol a la Gola de La Llosa.
- ZONA 5 (Almenara): de la Gola de La Llosa a la Gola del Estany de Quartell.
- ZONA 6 (Almardá y Canet d'en Berenguer): de la Gola del Estany de Quartell al Puerto de Siles.
- ZONA 7 (Sagunto): del Puerto de Siles al Puerto de Sagunto.

Previo al desarrollo de dicho análisis se plantea, en este apartado, la metodología que se utilizará en la evaluación de la estabilidad y evolución de las playas. Una metodología que se fundamenta en dos conceptos previos:

- Dimensionalidad de los procesos.
- Escalas de los procesos.



#### **4.1.1 Dimensionalidad de los procesos**

Todos los procesos hidrodinámicos y sedimentarios que acontecen en una playa son, en mayor o menor medida, procesos tridimensionales. Sin embargo, las limitaciones de las herramientas, formulaciones e incluso de nuestra capacidad de entendimiento de dichos procesos nos dificulta analizarlos en toda su complejidad. De este modo, surge como primera y más importante hipótesis de trabajo en el estudio de la estabilidad de una playa, la relativa a la ortogonalidad de los movimientos longitudinales y transversales de la misma.

De acuerdo con esta hipótesis de ortogonalidad, cualquier movimiento de una playa, como por ejemplo el ocurrido tras un temporal, puede ser analizado estudiando los movimientos longitudinales y transversales de la misma, los cuales se asume que son independientes entre sí. Nótese que la hipótesis de ortogonalidad permite analizar la estabilidad de una playa estudiando por separado:

- Estabilidad del perfil de playa (eje transversal)
- Estabilidad de la planta de la playa (eje longitudinal).

La hipótesis de ortogonalidad es, en general, suficientemente aproximada a la realidad, especialmente en playas abiertas con estados morfodinámicos extremos (disipativas o reflejantes). En playas con estados morfodinámicos intermedios, o en playas encajadas con una forma en planta de gran curvatura, existe, sin embargo, una notable interacción planta-perfil, por lo que el análisis por separado del perfil y la planta debe realizarse con cautela, siendo necesario incorporar en el análisis los estados modales y la evolución de los estados morfodinámicos de la playa.

#### **4.1.2 Escala espacial y temporal de los procesos**

Las diferentes dinámicas que afectan a una playa se presentan en escalas espaciales que van desde los centímetros (turbulencia), hasta las decenas de kilómetros (marea) y en escalas temporales que van desde los segundos (olas) hasta las décadas (ascenso del nivel medio del mar). Como respuesta a dichas dinámicas la morfología de la playa cambia, a su vez, dentro de todas esas escalas: centímetros-kilómetros, segundos-decadas (véase figura 4.1).

A pesar de la potencia de cálculo de los ordenadores, y de los intentos realizados en esa dirección, no es posible (ni adecuado) calcular los cambios que acontecen en escalas superiores, por integración de los procesos de las escalas inferiores. Esto es debido a la falta de una teoría unificada de transporte de sedimentos que retenga la influencia de todos los efectos que se producen en las diferentes escalas espaciales y temporales.

**DOCUMENTO FINAL**

Esta carencia de teoría unificada da lugar a que los procesos que ocurren en diferentes escalas (de tiempo o espacio) deban ser analizados con diferentes herramientas o formulaciones. Es necesario, por tanto, conocer cuál es la escala de interés en cada problema particular y utilizar la formulación adecuada a dicha escala de interés.

Las escalas de las diferentes dinámicas y respuestas morfológicas de las playas suelen ser clasificadas en: Micro escala, Meso escala y Macro escala de acuerdo con la dimensión espacial y en corto plazo, medio plazo y largo plazo, como se muestra en la figura 4.1.

En el estudio de estabilidad y evolución de una playa las escalas de interés son la Meso escala (decenas-centenas de metro), Macro escala (km) y el largo plazo (años). Los elementos de escalas inferiores (por ejemplo, la erosión producida por un temporal) sólo son relevantes si sus efectos permanecen en el tiempo, o en el espacio, en unidades cercanas a las de interés (por ejemplo, meses), o si su efecto provoca el fallo funcional de la obra (por ejemplo, el oleaje alcanza el trasdós de la playa).

El estudio de estabilidad y evolución se realizará, por tanto, con criterios y herramientas de largo plazo verificándose, posteriormente, los eventos de medio y corto plazo.

**DOCUMENTO FINAL**

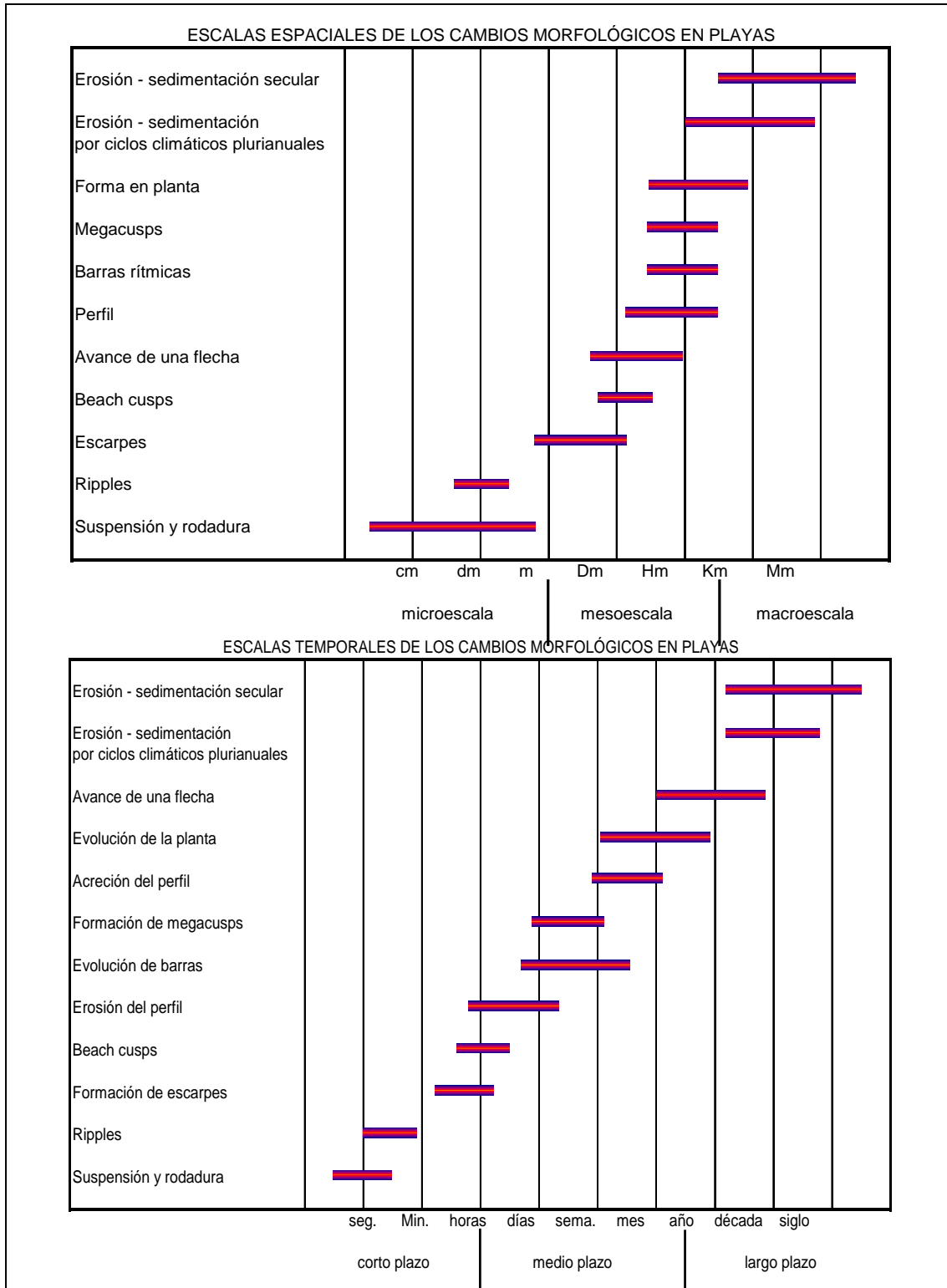


Figura 4.1. Escalas espaciales y temporales típicas de algunos cambios morfológicos de las playas.

### **4.1.3 Metodología de cálculo**

Los elementos más relevantes de la metodología propuesta para el cálculo de estabilidad y evolución de la Playa se enumeran a continuación.

- Se acepta, como hipótesis inicial, la ortogonalidad de los movimientos longitudinales y transversales de una playa. Consecuentemente, se admite que la estabilidad de la misma puede ser analizada estudiando la estabilidad de su forma en planta y su perfil.
- Se separa el análisis de la estabilidad y evolución de la playa de acuerdo con las diferentes escalas de variabilidad de la misma. En particular se analiza la estabilidad a Largo Plazo (años), Medio Plazo (invierno/verano), y Corto Plazo (temporales).
- Para cada una de estas escalas de interés se analiza la estabilidad y evolución de las playas y su interacción con las estructuras existentes en la zona.

## **4.2. Análisis en el largo plazo**

El objetivo del análisis en el largo plazo, correspondiente a una escala temporal de años a décadas, es el de establecer la evolución histórica del tramo de costa de estudio hasta la actualidad, haciendo hincapié en el impacto de las distintas actuaciones llevadas a cabo en la zona analizada.

A través del análisis del largo plazo, junto con el del medio y corto plazo, se obtendrá la información necesaria para establecer líneas de actuación eficaces que minimicen la erosión costera en el entorno litoral del tramo situado entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto.

Las formulaciones existentes que intentan predecir la forma en planta y perfil de la playa, para esta escala de tiempos, no intentan analizar los procesos sino magnitudes agregadas de los mismos. Para el análisis del perfil y de la planta de una playa dos son los tipos de modelos más utilizados: los basados en la hipótesis de equilibrio y los basados en la ecuación de la difusión.

La hipótesis de equilibrio postula que si la acción de las dinámicas actuantes (marinas y sedimentarias) se mantiene indefinidamente junto con los contornos, la forma de la playa alcanzará una posición final constante, en equilibrio "estático" o "dinámico" con dichas dinámicas. En equilibrio "estático" el sistema de corrientes es prácticamente nulo (sin transporte litoral) y en equilibrio "dinámico" existe una corriente litoral acompañada de un transporte litoral. En la práctica no es necesario que la acción se mantenga

**DOCUMENTO FINAL**

indefinidamente sino que la respuesta de la forma sea mucho más rápida que la escala de interés.

La forma final de la planta de equilibrio puede ser analizada en el caso de conseguir una situación de equilibrio "estático" en playas encajadas. Para playas abiertas no encajadas, también se podría llegar a una forma final de equilibrio "dinámico", siempre y cuando se mantenga un balance entre el suministro de sedimentos, la dinámica marina y los contornos.

En el caso del perfil, se asume que las modificaciones del mismo se producen en escalas de tiempo que pueden ser consideradas como instantáneas en un estudio a largo plazo, lo que implica que el perfil siempre alcanza la posición de equilibrio.

La ecuación de la difusión se basa, en cierto modo, en el mismo concepto, y establece que la forma de una playa tiende hacia el equilibrio tanto más rápido cuanto más lejos se encuentre de dicha posición de equilibrio. Este tipo de formulaciones permiten determinar la evolución temporal de la forma de la playa y, por este motivo, se denominan modelos de evolución (por ejemplo, modelos de evolución de la línea de costa).

En lo que sigue se aplicará el concepto de perfil y planta de equilibrio a las playas de la zona de estudio.

#### **4.2.1 Perfil de equilibrio**

Como es sabido, el perfil de playa se define como la variación de la profundidad del agua con la distancia desde la línea de costa. Por otro lado, el perfil de equilibrio se puede definir, Dean (1991), como el resultante del balance entre fuerzas constructivas y destructivas que ocurre en condiciones de oleaje estacionario para un sedimento en particular.

El perfil de playa depende de la granulometría presente ya que el transporte transversal es función de las acciones hidrodinámicas, las dimensiones de la partícula y de su peso. Al mismo tiempo, es de suponer, que el oleaje se verá afectado por los cambios en la configuración del perfil, pues el oleaje responde a la configuración batimétrica. Tal circunstancia, lleva a concluir, que existe una relación biunívoca de equilibrio, entre la dinámica marina y la morfología del perfil.

La descripción analítica del perfil de playa fue estudiada por varios autores, entre ellos Bowen, Dalrymple, Fredsøe, Dally y Dean. En general, en todos los modelos se presenta un perfil de equilibrio cóncavo, donde la pendiente de la playa decrece conforme nos alejamos de la costa. Esta descripción es consistente con infinidad de perfiles medidos en campo. En general todos los modelos asumen, que el perfil se forma en función de un oleaje que se disipa paulatinamente conforme se propaga hacia la costa.

**DOCUMENTO FINAL**

Naturalmente, a partir de cierta profundidad, el perfil de equilibrio y no responde activamente a las acciones del oleaje, definiéndose una profundidad a partir de la cual, el transporte de sedimentos transversal y longitudinal no tiene una magnitud apreciable. Esta profundidad se conoce como la profundidad de corte, o límite del perfil activo, y puede ser estimada por la siguiente expresión propuesta por Birkemeier (1985):

$$h^* = 1,75 H_{S12} - 57,9 (H_{S12}^2 / gT_S^2) \quad (1)$$

o bien por la siguiente ecuación propuesta por Hallermeier (1981):

$$h^* = 2.28 H_{S12} - 68.5 (H_{S12}^2 / gT_S^2) \quad (2)$$

donde:

$H_{S12}$  = altura de ola significativa local que es excedida 12 horas al año.

$T_S$  = período significativo asociado a la  $H_{S12}$ .

Existen diversas formulaciones que permiten describir el perfil de equilibrio de la playa conocido el tamaño del material existente (arena, grava) y el oleaje actuante. Dean (1977), por ejemplo, obtuvo, a partir de datos referentes a playas en diversos lugares del mundo, las siguientes características para un perfil de equilibrio:

- Ecuación del perfil:

$$h = A x^{2/3} \quad (3)$$

- Valor del parámetro de forma A:

$$A = k \omega^{0.44} \quad (4)$$

Donde:

$h$  = profundidad (m)

$x$  = distancia (m)

$\omega$  = velocidad de caída del grano (m/s)

$g$  = gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Esta formulación es válida hasta la profundidad de corte descrita con anterioridad.

Es interesante señalar que en la formulación de Dean (1977) la forma del perfil depende única y exclusivamente del tamaño del sedimento a través del parámetro de forma A, mientras que el oleaje señala la cota de finalización del perfil,  $h^*$ .

**DOCUMENTO FINAL**

De este modo, una playa de arena tendrá una pendiente más tendida que una playa de gravas. Del mismo modo, una playa abierta al oleaje, esto es, expuesta a un oleaje mayor, tiene un perfil activo más largo que otra playa en un lugar resguardado.

El valor del coeficiente  $k$  que relaciona el parámetro  $A$  con la velocidad de caída del grano obtenido por Dean (1987) fue 0.51.

#### **4.2.1.1 Caracterización del perfil de playa en la zona de estudio**

La caracterización del perfil de playa se ha efectuado sobre la batimetría más reciente disponible para la zona, la cual fue proporcionada por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar y que es del año 2009 para la zona de Castellón y del año 2006 para la zona de Valencia. En toda el área de estudio se han seleccionado 48 perfiles, 6 en el tramo 1, 8 en cada uno de los tramos 2, 3 y 4, 7 en cada uno de los tramos 5 y 6 y 4 en el tramo 7.

La característica fundamental de los perfiles de la zona es la de ser perfiles mixtos, en los que existe una gran variabilidad entre la pendiente del perfil entre la cota 0 y la cota -1,-2 m, con respecto a la pendiente en profundidades mayores que la cota -1, -2 m, siendo el tamaño de grano del sedimento presente en profundidades menores que 1-2 m mucho más elevado (gravas) que el sedimento existente en profundidades mayores (arenas). Ahora bien, a medida que nos movemos hacia la proximidad del Puerto de Sagunto las diferencias entre ambas zonas del perfil son menores, siendo de arena todo el tramo del perfil activo de playa en las cercanías de dicho Puerto. Con el objetivo de dejar patente esta característica tan importante de los perfiles de playa, en la tabla 4.1 se indica la pendiente media para cada uno de los 7 tramos (véase comienzo de este capítulo) tanto de la zona entre la cota 0 y la cota -2 m, como de la zona entre la cota -2 m y la cota -5 m. Tal y como puede verse en esta tabla, las pendientes del tramo en menos profundidad llegan a ser hasta 6.5 veces las pendientes en el tramo a mayor profundidad. Por otra parte, las diferencias en la zonas más al sur (zonas 6 y zonas 7) son menores, como ya se comentaba previamente.

Otro parámetro de gran importancia en el perfil es el límite del perfil activo de playa que queda definido con la profundidad de cierre  $h^*$ . Dicha profundidad también aparece reflejada en la tabla 4.1 y ha sido obtenida a partir de los datos del oleaje ( $H_{S12}$  y  $T_S$ ) a 8 m de profundidad aplicando la formulación de Birkemeier (1985) previamente indicada. De este modo se ha obtenido una  $h^*$  de entre 4 m y 4.5 m en la zona de estudio.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>Tramo</b>	<b>Pendiente media (0 a -2 m)</b>	<b>Pendiente media (-2 m a -5 m)</b>	<b>h* (m)</b>
<b>1 (El Serradal)</b>	<b>0.030</b>	<b>0.008</b>	<b>4</b>
<b>2 (Nules)</b>	<b>0.046</b>	<b>0.010</b>	<b>4.3</b>
<b>3 (Moncofar)</b>	<b>0.046</b>	<b>0.009</b>	<b>4.3</b>
<b>4 (Chilches)</b>	<b>0.052</b>	<b>0.008</b>	<b>4.2</b>
<b>5 (Almenara)</b>	<b>0.058</b>	<b>0.010</b>	<b>4.2</b>
<b>6 (Almardá-Siles)</b>	<b>0.023</b>	<b>0.012</b>	<b>4.2</b>
<b>7 (Sagunto)</b>	<b>0.036</b>	<b>0.011</b>	<b>4.5</b>

Tabla 4.1. Pendientes medias del perfil de playa y profundidades de cierre.

Siguiendo con una caracterización de los perfiles de playa con mayor detalle, para cada uno de los perfiles medidos se ha calculado la pendiente del frente de playa (entre la cota 0 y la cota +1) y la pendiente media de la playa sumergida (entre la cota 0 y la profundidad de cierre del perfil). Adicionalmente, se han calculado las pendientes de los tramos de la playa sumergida situados entre la cota 0 y la cota -2 m y entre la cota -2 m y la profundidad de cierre. Todas ellas se muestran en las tablas 4.2 a 4.15.

En el tramo 1 la pendiente del llamado frente de playa no es tal, ya que en la parte emergida del perfil existe una escollera, por lo que la pendiente 1:2 que aparece en los 6 perfiles del tramo 1, así como en los 2 primeros perfiles del tramo 2, corresponde al talud de dicha escollera.

En cuanto a la playa sumergida, cualitativamente los 6 perfiles medidos en el tramo 1 y los 2 primeros del tramo 2 no se diferencian, si bien se observa cómo la pendiente media del perfil sumergido decrece a medida que nos aproximamos al Puerto de Burriana, debido a la acumulación de arena existente a la briga de la Contradique Sur de dicho Puerto.

Por otro lado, a medida que recorremos el perfil desde la costa hacia el mar, se observa inicialmente una pendiente mucho mayor que se suaviza con la profundidad, encontrando pendientes medias unas 3 veces mayores en los primeros 2 m de playa sumergida que en los 2 m siguientes.

En la figura 4.2 se muestra la localización de los perfiles considerados en la zona 1 y en la figura 4.3 se presentan dichos perfiles.



DOCUMENTO FINAL

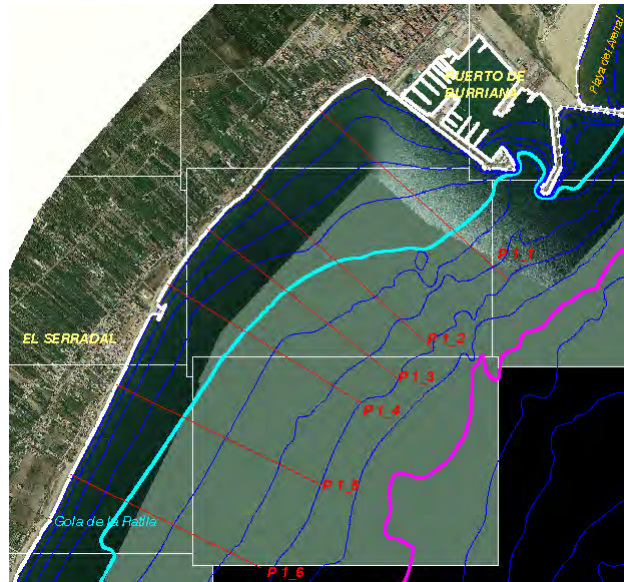


Figura 4.2. Localización de perfiles del tramo 1

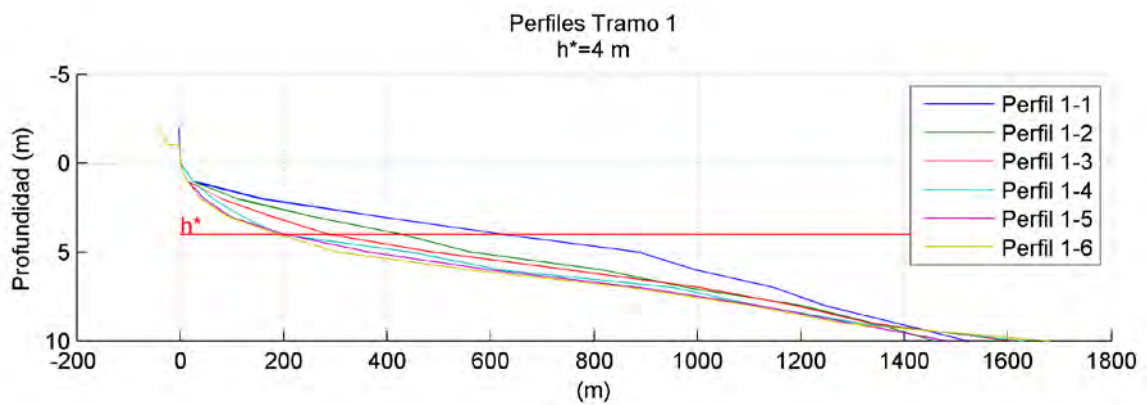


Figura 4.3 Perfiles medidos en el tramo 1.

	Pendiente del frente de playa	Pendiente media playa sumergida
P 1_1	1: 2	1: 156
P 1_2	1: 2	1: 107
P 1_3	1: 2	1: 71
P 1_4	1: 2	1: 48
P 1_5	1: 2	1: 50
P 1_6	1: 3	1: 47

Tabla 4.2. Pendientes del frente y media de la playa en el tramo 1.

**DOCUMENTO FINAL**

	Pendiente playa sumergida entre 0 y -2 m	Pendiente playa sumergida entre -2 y -4 m
P 1_1	1: 79	1: 241
P 1_2	1: 56	1: 173
P 1_3	1: 40	1: 109
P 1_4	1: 31	1: 72
P 1_5	1: 23	1: 106
P 1_6	1: 20	1: 97

Tabla 4.3. Pendientes en la playa sumergida en el tramo 1.

Los perfiles de los tramos 2 (salvo los dos primeros), 3 y 4 son relativamente parecidos, mostrando una pendiente del frente de playa bastante homogénea de 1:10. El perfil sumergido en estos tramos tiene una pendiente mayor cerca de la costa del orden de 1:20 mientras que a medida que nos acercamos a la profundidad de cierre del perfil la pendiente disminuye, siendo aproximadamente de 1:90.

En las figuras 4.4 y 4.5 se muestra la localización de los perfiles de la zona 2, 3 y 4.

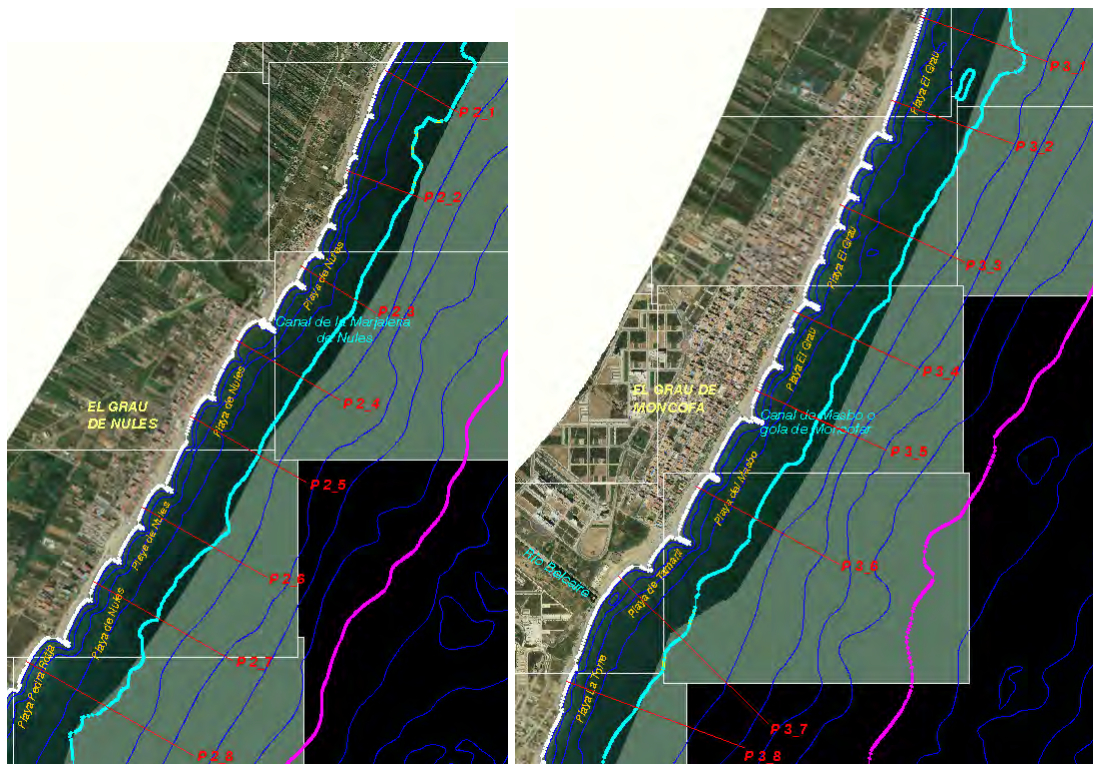


Figura 4.4. Localización de perfiles de los tramos 2 y 3

**DOCUMENTO FINAL**

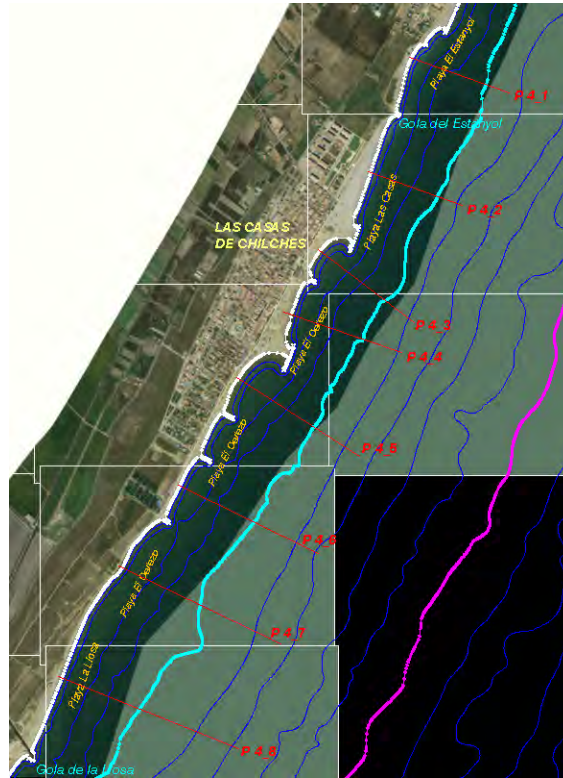


Figura 4.5. Localización de perfiles del tramo 4.

En las figuras 4.6, 4.7 y 4.8 se muestran todos los perfiles de los tramos 2, 3 y 4 agrupados por tramos.

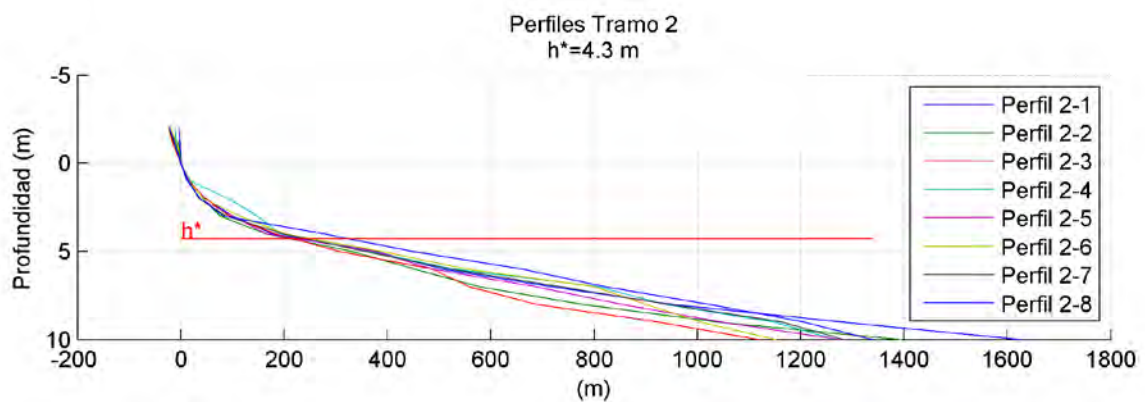


Figura 4.6. Perfiles medidos en el tramo 2.

DOCUMENTO FINAL

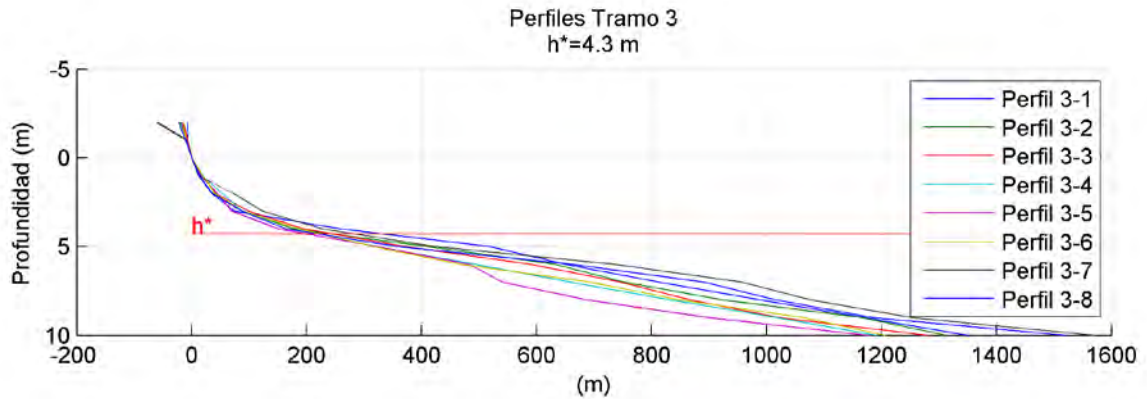


Figura 4.7. Perfiles medidos en el tramo 3.

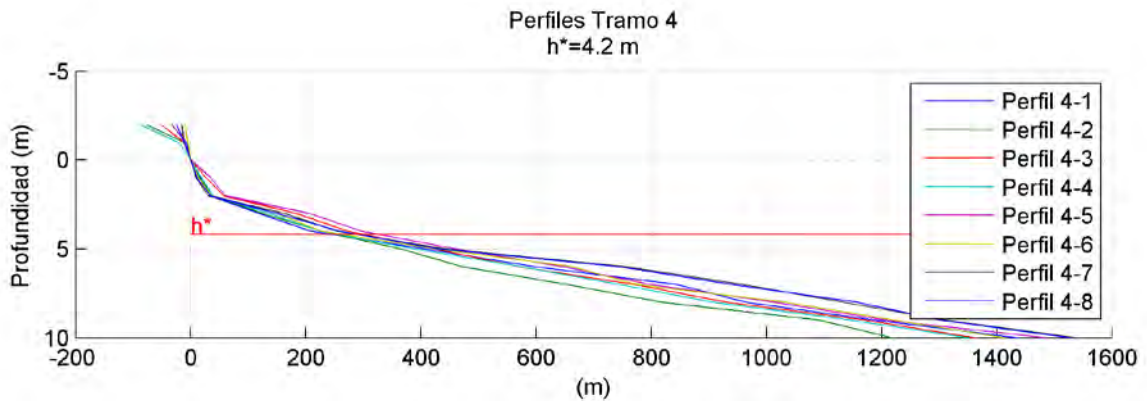


Figura 4.8. Perfiles medidos en el tramo 4.

	Pendiente del frente de playa	Pendiente media playa sumergida
P 2_1	1: 2	1: 44
P 2_2	1: 4	1: 41
P 2_3	1: 15	1: 45
P 2_4	1: 8	1: 48
P 2_5	1: 12	1: 41
P 2_6	1: 8	1: 50
P 2_7	1: 11	1: 49
P 2_8	1: 10	1: 69

Tabla 4.4. Pendientes del frente y media de la playa en el tramo 2.

**DOCUMENTO FINAL**

	Pendiente del frente de playa	Pendiente media playa sumergida
P 3_1	1: 7	1: 64
P 3_2	1: 9	1: 44
P 3_3	1: 7	1: 48
P 3_4	1: 9	1: 46
P 3_5	1: 9	1: 37
P 3_6	1: 10	1: 46
P 3_7	1: 10	1: 56
P 3_8	1: 11	1: 41

Tabla 4.5. Pendientes del frente y media de la playa en el tramo 3.

	Pendiente del frente de playa	Pendiente media playa sumergida
P 4_1	1: 8	1: 52
P 4_2	1: 11	1: 56
P 4_3	1: 12	1: 68
P 4_4	1: 21	1: 56
P 4_5	1: 11	1: 74
P 4_6	1: 6	1: 56
P 4_7	1: 12	1: 63
P 4_8	1: 11	1: 64

Tabla 4.6. Pendientes del frente y media de la playa en el tramo 4.

	Pendiente playa sumergida entre 0 y -2 m	Pendiente playa sumergida entre -2 y -4.3 m
P 2_1	1: 23	1: 76
P 2_2	1: 21	1: 88
P 2_3	1: 24	1: 89
P 2_4	1: 46	1: 44
P 2_5	1: 18	1: 64
P 2_6	1: 22	1: 86
P 2_7	1: 17	1: 111
P 2_8	1: 18	1: 194

Tabla 4.7. Pendientes en la playa sumergida en el tramo 2.

**DOCUMENTO FINAL**

	Pendiente playa sumergida entre 0 y -2 m	Pendiente playa sumergida entre -2 y -4.3 m
P 3_1	1: 17	1: 183
P 3_2	1: 18	1: 87
P 3_3	1: 21	1: 96
P 3_4	1: 26	1: 97
P 3_5	1: 22	1: 80
P 3_6	1: 20	1: 97
P 3_7	1: 36	1: 103
P 3_8	1: 18	1: 76

Tabla 4.8. Pendientes en la playa sumergida en el tramo 3.

	Pendiente playa sumergida entre 0 y -2 m	Pendiente playa sumergida entre -2 y -4.2 m
P 4_1	1: 17	1: 90
P 4_2	1: 19	1: 102
P 4_3	1: 29	1: 89
P 4_4	1: 19	1: 88
P 4_5	1: 30	1: 90
P 4_6	1: 18	1: 77
P 4_7	1: 15	1: 90
P 4_8	1: 17	1: 109

Tabla 4.9. Pendientes en la playa sumergida en el tramo 4.

Los 6 primeros perfiles del tramo 5 tienen, al igual que los anteriores perfiles, una pendiente del frente de playa aproximada de 1:10.

Los 4 primeros perfiles del tramo 5 presentan en la parte sumergida del perfil una pendiente de 1:15 en los 2 primeros metros y una pendiente media del orden de 1:200 desde la mitad del perfil sumergido hasta la profundidad de cierre de la playa.

Cabe destacar la presencia de escollera en el perfil 5-1, así como de barras situadas a unos 150 m de la playa seca y entre la cota -2 m y -3 m en los perfiles 5-1 y 5-2 y en el 5-7 en torno a la cota -2 m.

Los 2 últimos perfiles del tramo 5 muestran una transición entre las playas de gravas situadas al norte y las playas de arenas situadas al sur de este tramo, destacando la disminución de la pendiente del frente de playa.

En la figura 4.9 se muestra la localización de los perfiles del tramo 5 y en la figura 4.10 se muestran dichos perfiles.

DOCUMENTO FINAL

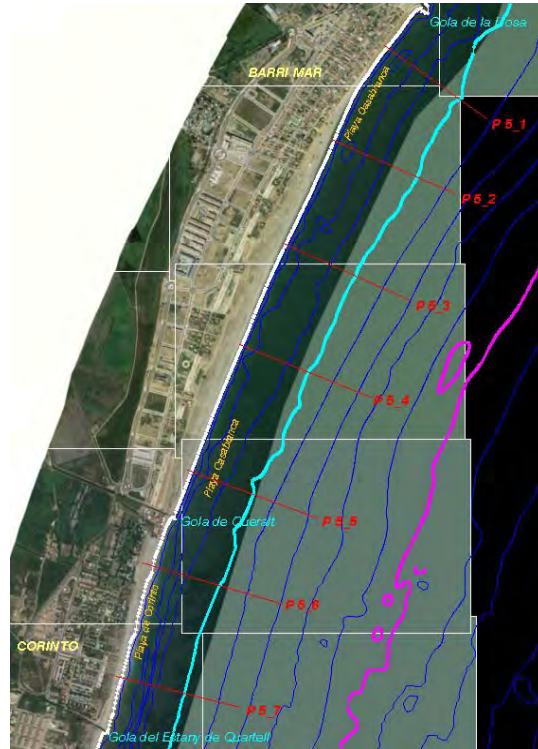


Figura 4.9. Localización de perfiles del tramo 5.

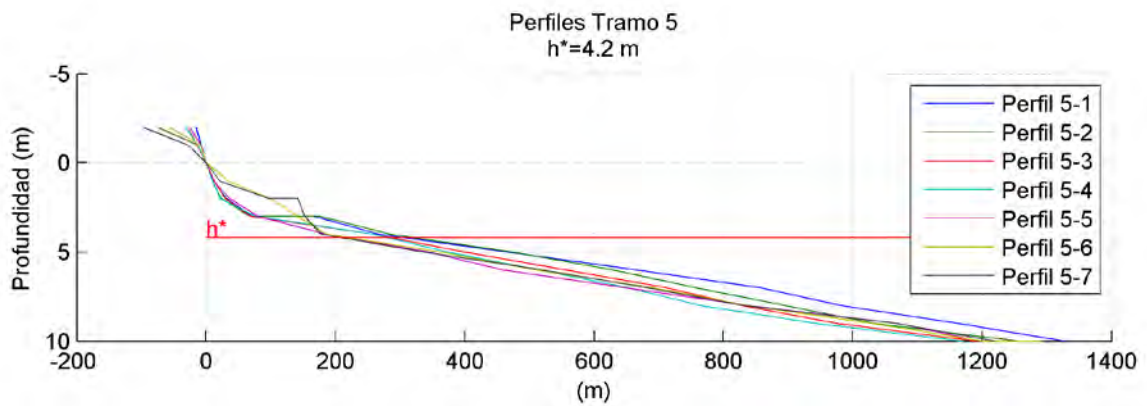


Figura 4.10. Perfiles medidos en el tramo 5.

**DOCUMENTO FINAL**

	Pendiente del frente de playa	Pendiente media playa sumergida
P 5_1	1: 8	1: 67
P 5_2	1: 13	1: 71
P 5_3	1: 13	1: 64
P 5_4	1: 13	1: 64
P 5_5	1: 8	1: 46
P 5_6	1: 9	1: 46
P 5_7	1: 28	1: 44

Tabla 4.10. Pendientes del frente y media de la playa en el tramo 5

	Pendiente playa sumergida entre 0 y -2 m	Pendiente playa sumergida entre -2 y -4.2 m
P 5_1	1: 16	1: 195
P 5_2	1: 12	1: 216
P 5_3	1: 15	1: 189
P 5_4	1: 11	1: 182
P 5_5	1: 18	1: 105
P 5_6	1: 50	1: 45
P 5_7	1: 71	1: 26

Tabla 4.11. Pendientes en la playa sumergida en el tramo 5

En los perfiles descritos hasta el momento, en los tramos de 1 a 5, la pendiente del perfil sumergido evolucionaba desde una pendiente del orden de 1:20 hacia pendientes mucho más tendidas, del orden de 1:90, a medida que se avanza en profundidad y hasta la profundidad de cierre. La diferencia entre la pendiente por encima y por debajo de la cota -2 nos indican un cambio en la granulometría, pasando de un tamaño de grano grueso por encima de la cota -2 a tamaños de arena más finos por debajo de esta cota. De acuerdo a la granulometría los tamaños de grano son de un orden de magnitud por encima de la cota -2 que por debajo.

Esta tendencia del perfil de playa a pendientes decrecientes con la profundidad se suaviza en los perfiles del tramo 6, encontrando incluso perfiles en los que la pendiente es creciente con la profundidad.

La pendiente del frente de playa en el tramo 6 resulta mucho menor que la de los anteriores perfiles, siendo menor de 1:20 en todos los casos.

Además, cabe destacar la presencia de algunas barras en el entorno de la cota -2 m en los perfiles 6-1, 6-4 y 6-6. La barra del perfil 6-4 se encuentra a unos 50 m de la playa seca mientras que la de los perfiles 6-1 y 6-6 se sitúa más lejos, en torno a los 150 m de la playa seca.



**DOCUMENTO FINAL**

En la figura 4.11 se muestra la localización de los perfiles del tramo 6 y en la figura 4.12 se muestran dichos perfiles.

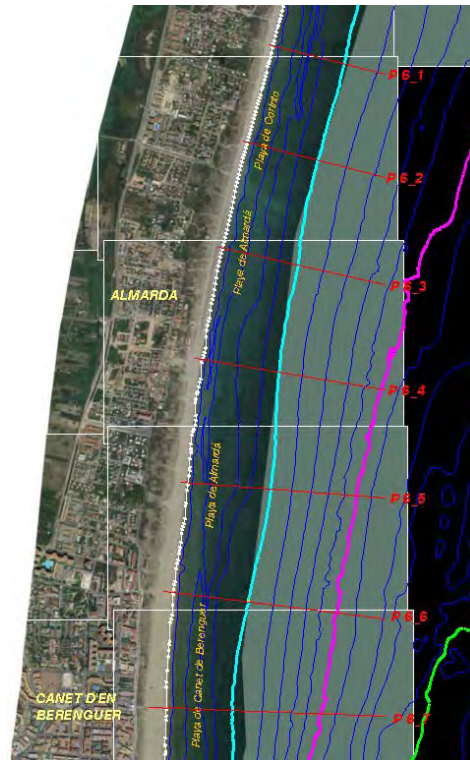


Figura 4.11. Localización de perfiles del tramo 6.

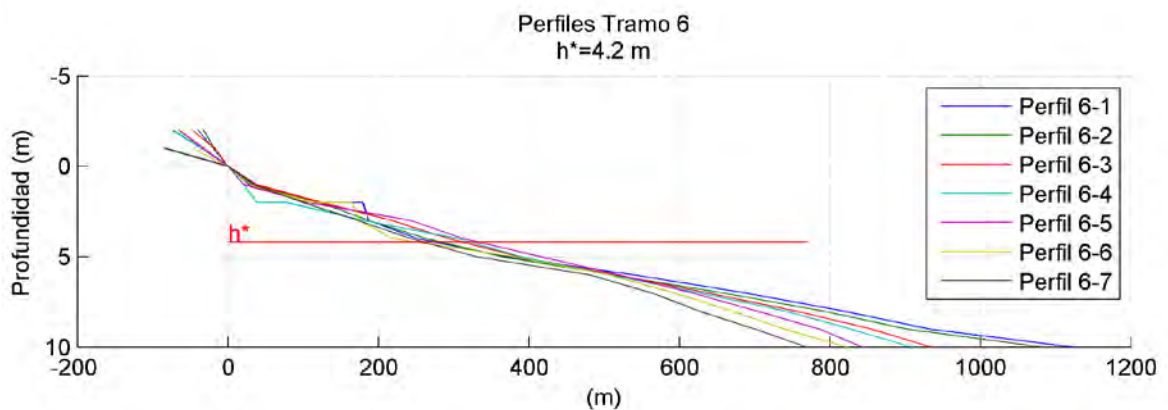


Figura 4.12. Perfiles medidos en el tramo 6.

**DOCUMENTO FINAL**

	Pendiente del frente de playa	Pendiente media playa sumergida
P 6_1	1: 20	1: 63
P 6_2	1: 18	1: 66
P 6_3	1: 18	1: 73
P 6_4	1: 35	1: 76
P 6_5	1: 33	1: 78
P 6_6	1: 46	1: 55
P 6_7	1: 84	1: 61

Tabla 4.12. Pendientes del frente y media de la playa en el tramo 6

	Pendiente playa sumergida entre 0 y -2 m	Pendiente playa sumergida entre -2 y -4.2 m
P 6_1	1: 90	1: 65
P 6_2	1: 62	1: 77
P 6_3	1: 62	1: 75
P 6_4	1: 39	1: 126
P 6_5	1: 54	1: 70
P 6_6	1: 83	1: 45
P 6_7	1: 51	1: 71

Tabla 4.13. Pendientes en la playa sumergida en el tramo 6

El primer perfil del tramo 7, dispuesto en el delta del río Palancia, muestra una fuerte pendiente en el frente de playa debido a la escollera existente, esta pendiente continua siendo muy acusada en la playa sumergida hasta la cota -2 m.

El segundo perfil, también ubicado en el delta, pero fuera de la escollera de protección, también presenta fuertes pendientes en el frente de playa y en los primeros metros del perfil sumergido aunque menos acusadas que en el anterior.

Los dos últimos perfiles del tramo 7, situados en la playa del Puerto de Sagunto muestran pendientes del frente de playa muy tendidas (1:59 y 1:75). En cuanto a la parte sumergida del perfil, la pendiente de los 2 primeros metros es aproximadamente de 1:60 y hasta la profundidad de cierre de 1:100.

En la figura 4.13 se muestra la localización de los perfiles del tramo 7 y en la figura 4.14 se muestran dichos perfiles.

DOCUMENTO FINAL

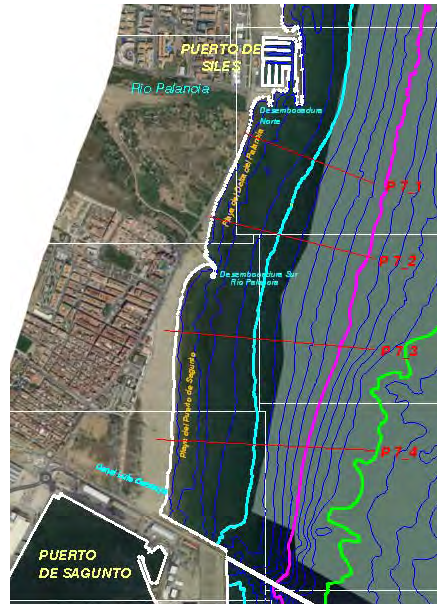


Figura 4.13. Localización de perfiles del tramo 7.

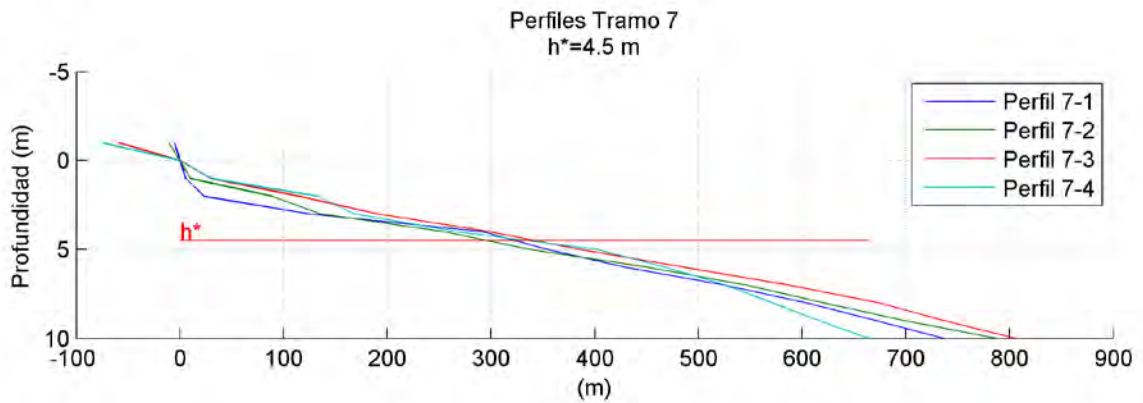


Figura 4.14. Perfiles medidos en el tramo 7.

	Pendiente del frente de playa	Pendiente media playa sumergida
P 7_1	1: 5	1: 73
P 7_2	1: 11	1: 64
P 7_3	1: 59	1: 74
P 7_4	1: 75	1: 67

Tabla 4.14. Pendientes del frente y media de la playa en el tramo 7

**DOCUMENTO FINAL**

	Pendiente playa sumergida entre 0 y -2 m	Pendiente playa sumergida entre -2 y -4.5m
P 7_1	1: 11	1: 168
P 7_2	1: 45	1: 120
P 7_3	1: 57	1: 108
P 7_4	1: 66	1: 99

Tabla 4.15. Pendientes en la playa sumergida en el tramo 7

**4.2.1.2 Aplicación del perfil de equilibrio a la zona de estudio**

Como ya ha sido comentado previamente, en la zona de estudio los perfiles existentes son perfiles mixtos caracterizados básicamente por diferentes tipos de sedimento y de pendientes en el tramo del perfil a profundidad menor que 1-2 m y en el tramo a profundidad mayor. En el tramo a menor profundidad las pendientes son mayores y el sedimento son gravas y en el tramo a mayor profundidad las pendientes son menores y el sedimento es de tipo arenoso.

Así pues, las formulaciones existentes para definir el perfil de equilibrio en todo el perfil activo de playa no han sido obtenidas para describir la situación existente en la zona objeto de estudio de este trabajo. A pesar de todo esto y con carácter orientativo, en este apartado se ajustan los 48 perfiles descritos en el apartado anterior a un perfil potencial con exponente 2/3 tipo Dean. En las figuras 4.15 a 4.21 se muestran los resultados obtenidos para cada una de las 7 zonas, presentándose el parámetro de forma A del perfil de Dean ajustado por mínimos cuadrados, así como el error cuadrático medio de este ajuste.

Tal y como puede observarse de las figuras 4.15 a 4.21, el parámetro de forma A adquiere un valor del orden de  $0.1 \text{ m}^{1/3}$  a  $0.15 \text{ m}^{1/3}$  en los perfiles de mayor pendiente. Asimismo, a la vista del error cuadrático medio el ajuste a un perfil potencial con exponente 2/3 es mejor en los perfiles ubicados en las zonas más al sur, ya que en estos casos los perfiles pierden su carácter mixto extendiéndose el sedimento arenoso en toda la longitud del perfil activo de playa. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que en el caso de perfiles de playa con bastante uniformidad del sedimento en profundidad, el mejor o peor ajuste del perfil a un perfil de equilibrio puede ser un indicador de la tasa de transporte existente, pudiéndose detectar perfiles con acumulación de sedimento o con pérdida del mismo.

DOCUMENTO FINAL

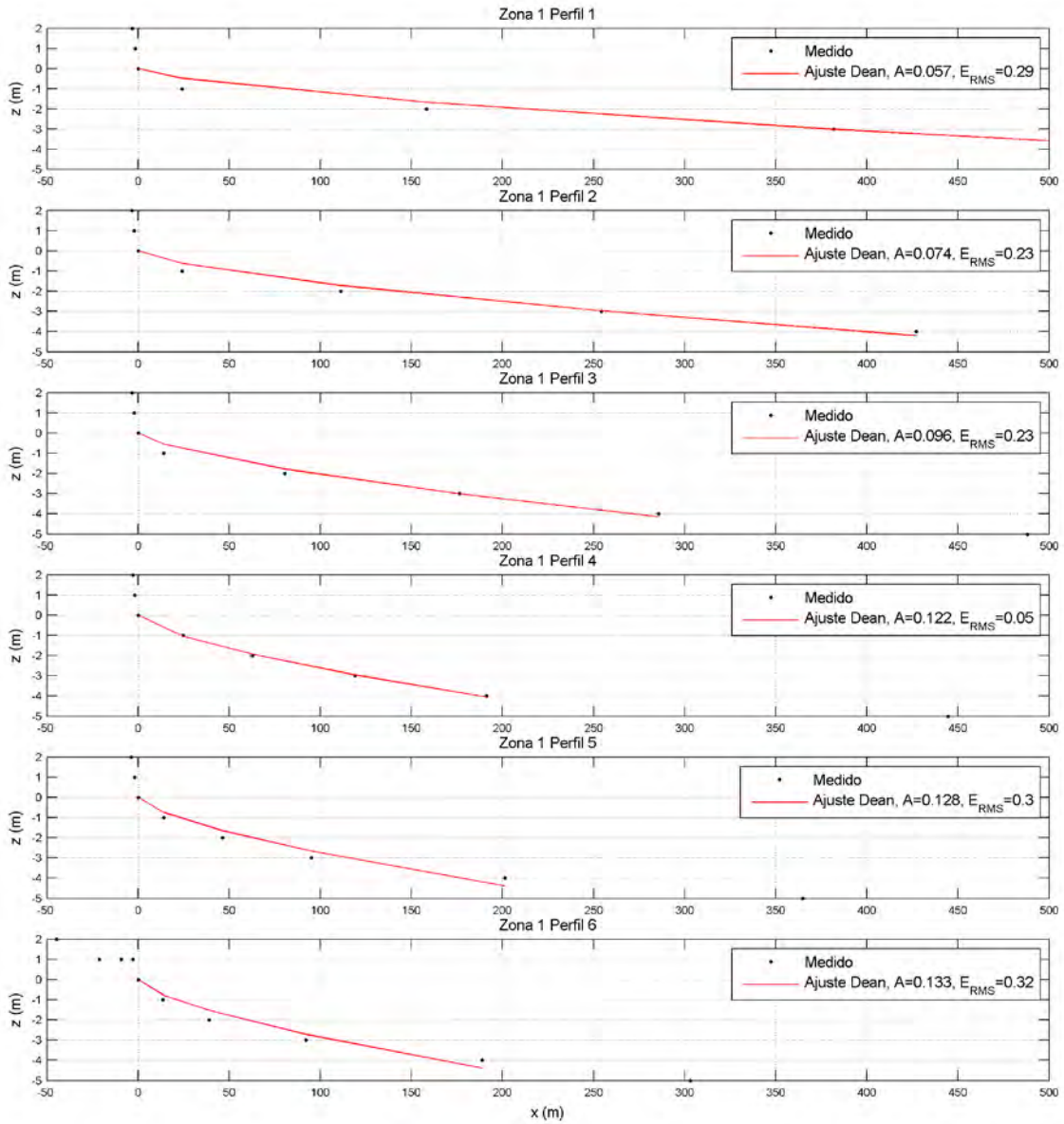


Figura 4.15. Ajuste del perfil existente al perfil de Dean (1977) en el tramo 1

DOCUMENTO FINAL

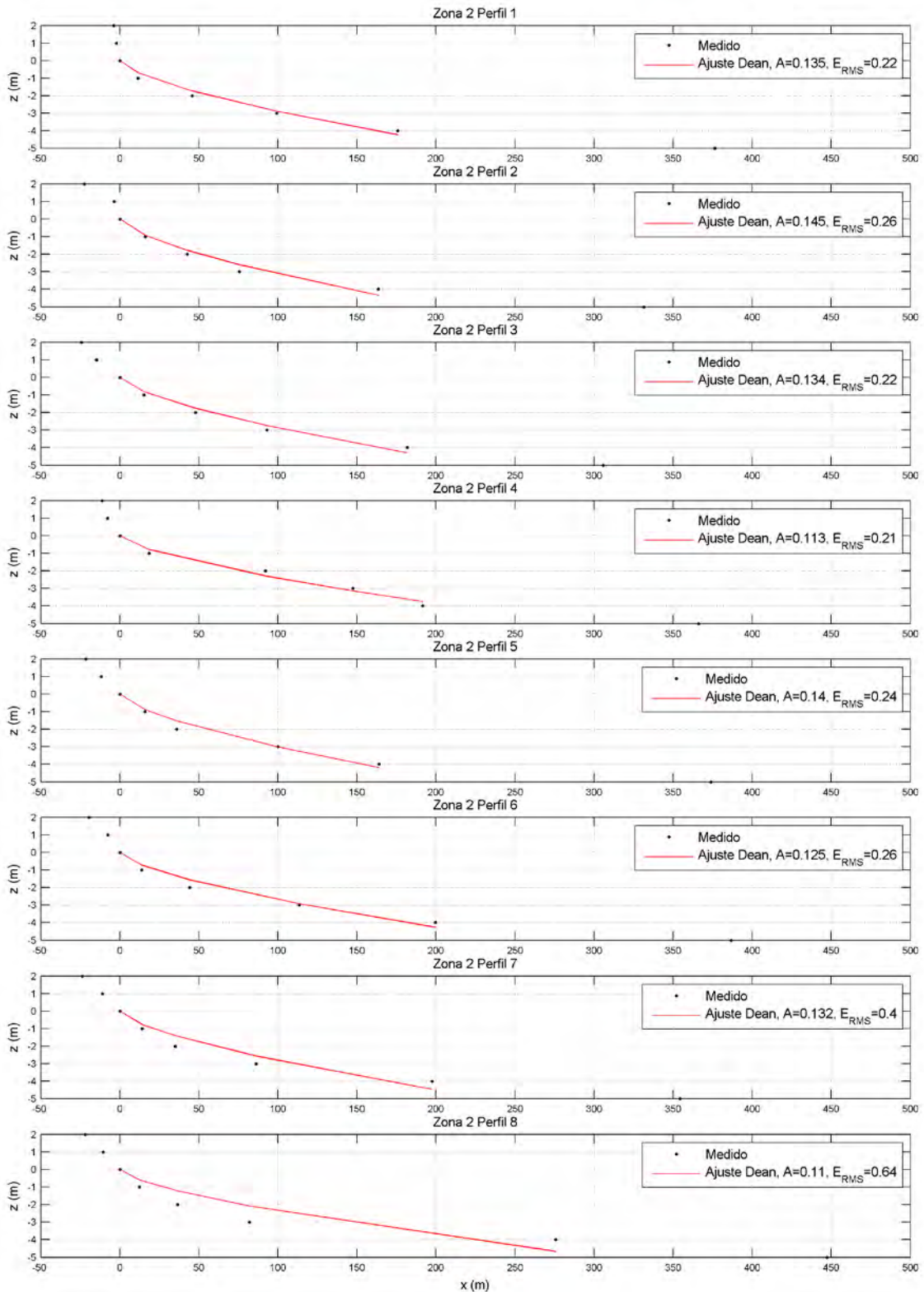


Figura 4.16. Ajuste del perfil existente al perfil de Dean (1977) en el tramo 2

DOCUMENTO FINAL

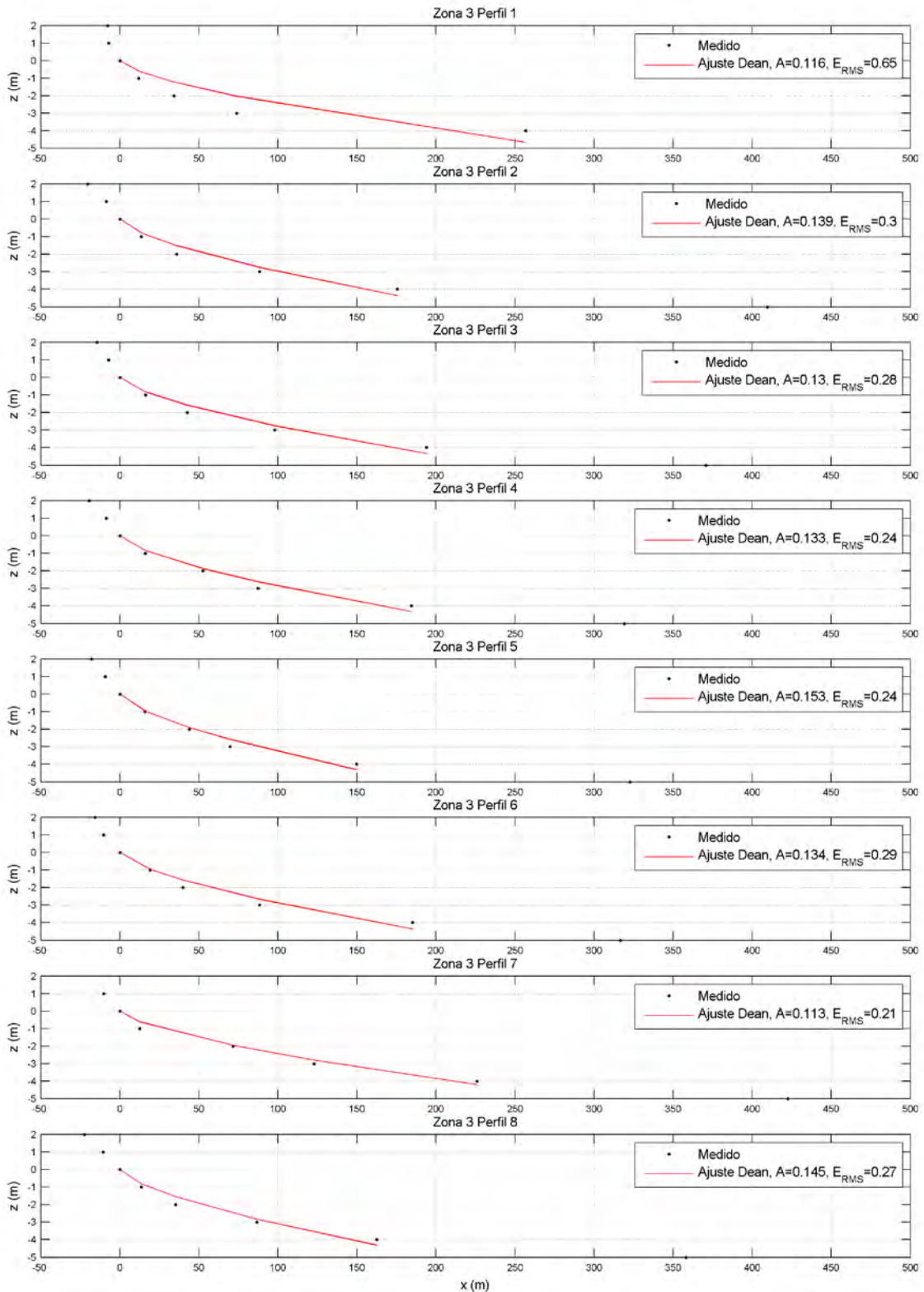


Figura 4.17. Ajuste del perfil existente al perfil de Dean (1977) en el tramo 3

DOCUMENTO FINAL

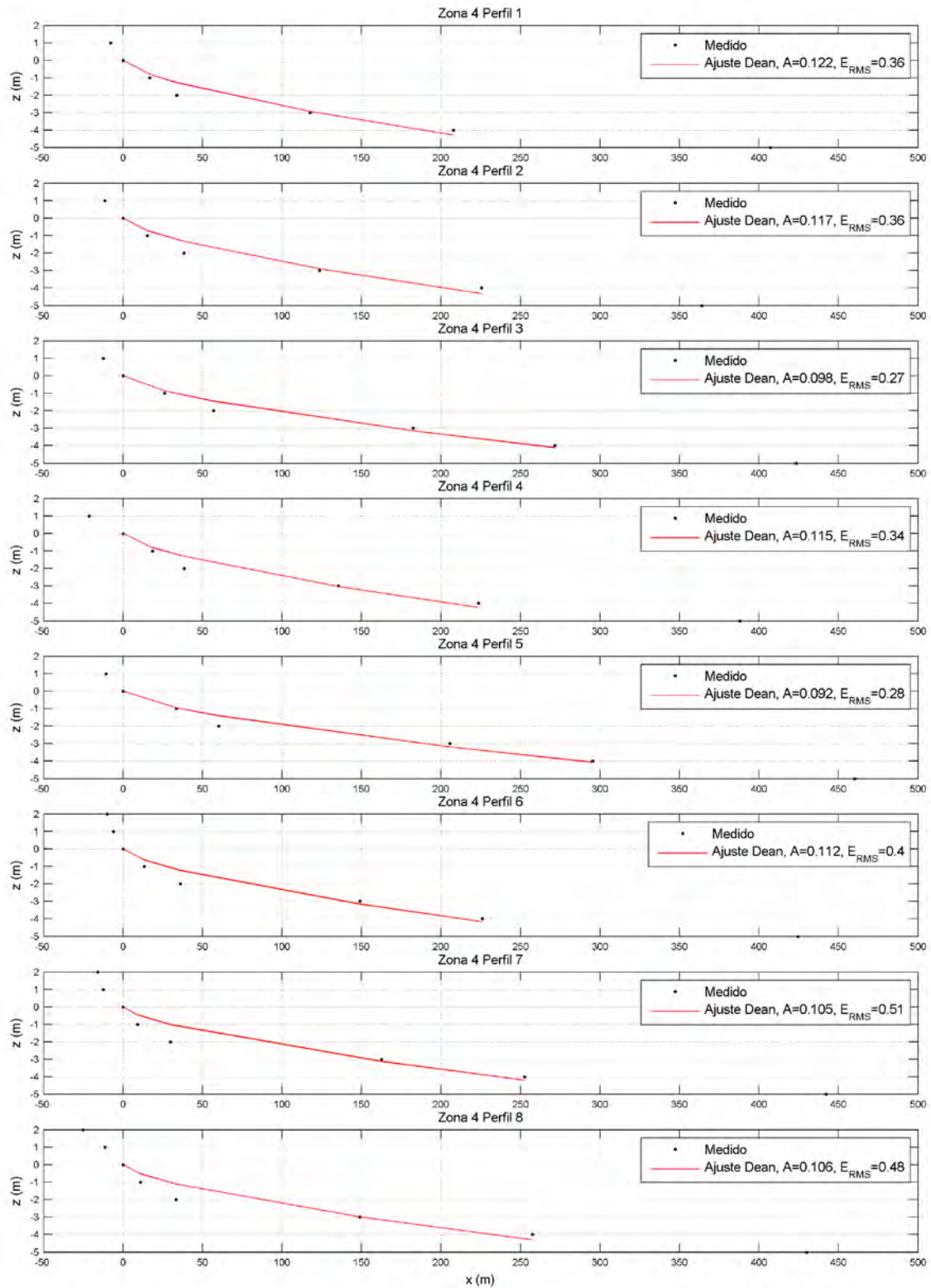


Figura 4.18. Ajuste del perfil existente al perfil de Dean (1977) en el tramo 4



DOCUMENTO FINAL

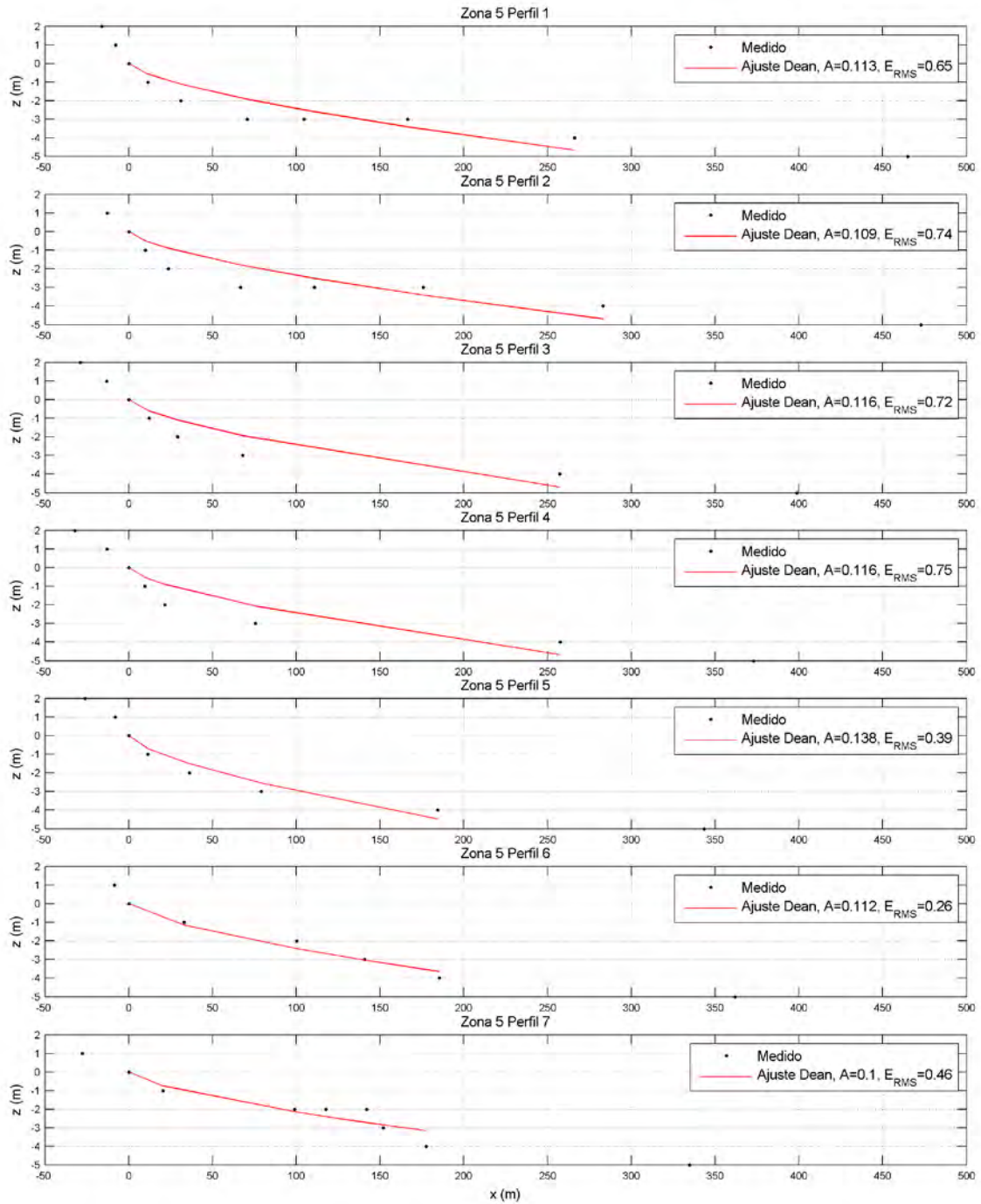


Figura 4.19. Ajuste del perfil existente al perfil de Dean (1977) en el tramo 5

DOCUMENTO FINAL

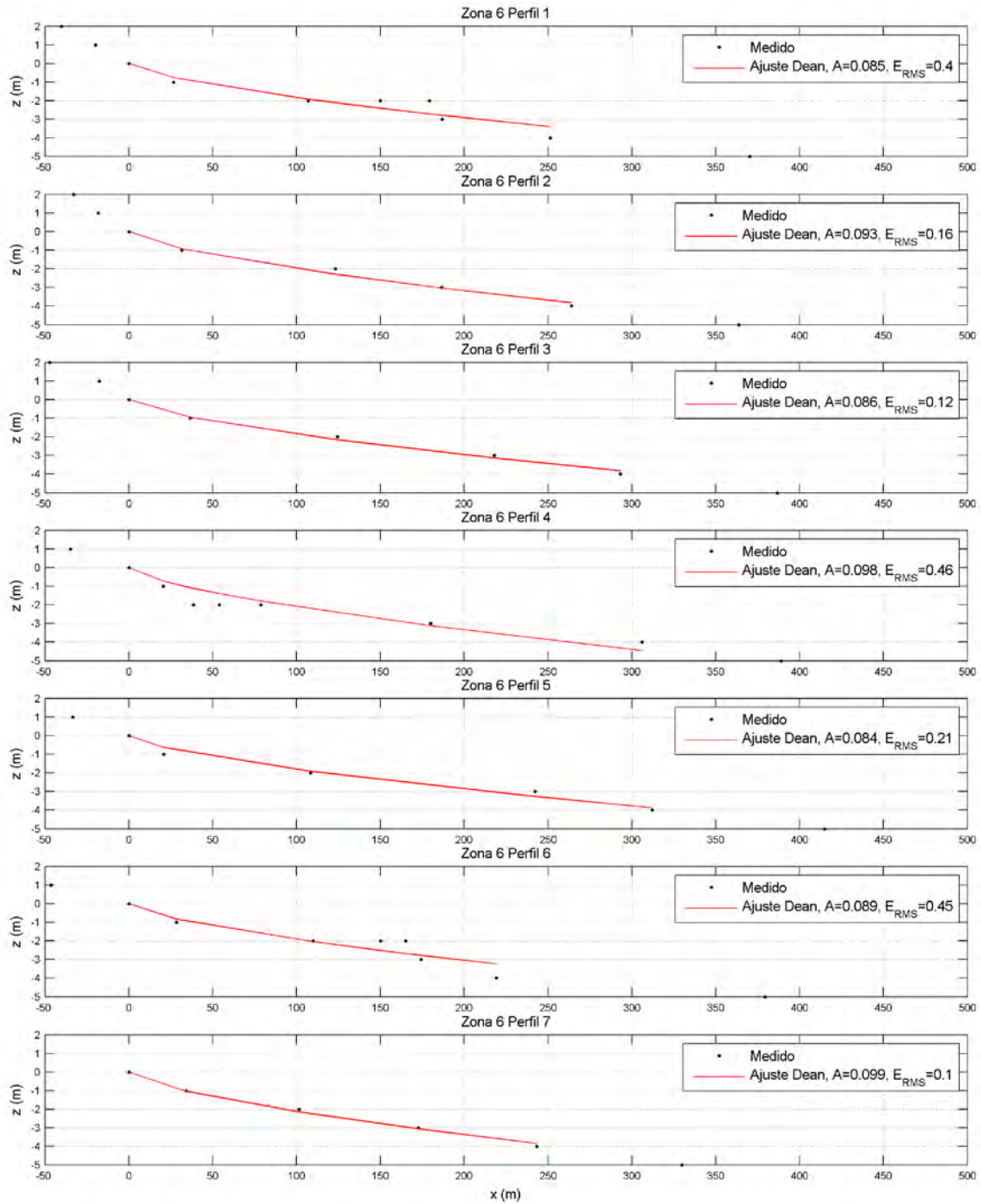


Figura 4.20. Ajuste del perfil existente al perfil de Dean (1977) en el tramo 6

**DOCUMENTO FINAL**

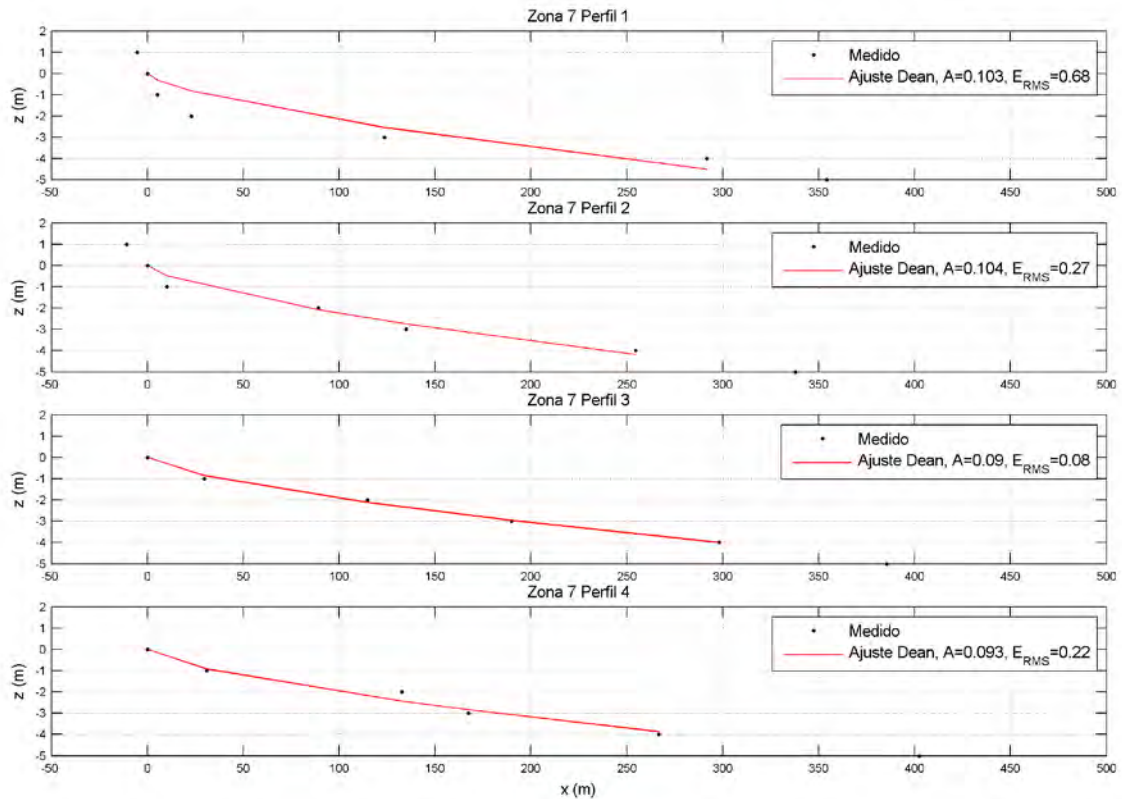


Figura 4.21. Ajuste del perfil existente al perfil de Dean (1977) en el tramo 7

## 4.2.2 Forma en planta

### 4.2.2.1 Forma en planta de equilibrio estático

Existen formulaciones empíricas que permiten estimar cuál es la forma en planta de playas ubicadas en la zona de sombra de un cabo o elemento de protección.

Hsu et al. (1989) propusieron para la forma en planta de una playa la expresión:

$$\left(\frac{R}{R_0}\right) = C_0 + C_1\left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2 \quad (5)$$

donde:

R=radio vector, tomado desde el punto de difracción, que define la forma de la playa.

**DOCUMENTO FINAL**

$R_0$ =radio vector, tomado desde el punto de difracción, correspondiente al extremo no abrigado de la playa.

$C_0, C_1, C_2$ =coeficientes (función de  $\beta$ ).

$\beta$ =ángulo (fijo) formado entre el frente de oleaje y el radio vector  $R_0$ .

$\theta$ =ángulo (variable) entre el frente de oleaje y el radio vector  $R$ .

González y Medina (2001) desarrollaron una metodología para el diseño de playas encajadas a partir de la formulación de Hsu. En el método desarrollado  $\beta$  es función de:

- El número de longitudes de onda o distancia adimensional que exista hasta la línea de costa ( $Y/L$ ), siendo  $Y$  la distancia a la línea de costa y  $L$  la longitud de onda.
- La dirección del frente del oleaje, que corresponde con la dirección del flujo medio de energía en la zona del polo de difracción (punto de control). En la figura 4.22 se muestra de forma resumida la metodología para obtener la forma en planta de equilibrio.

El primer paso para aplicar la metodología de González y Medina (2001) indicada anteriormente, es la determinación del punto de control que genera la difracción del oleaje. El segundo paso es obtener la dirección del flujo medio de energía en este punto de control. La forma en planta de una playa no es capaz de responder instantáneamente a los cambios de dirección del oleaje y tiende a ubicarse en una posición en equilibrio con las condiciones medias energéticas del oleaje. Consecuentemente, la dirección de los frentes que ha de utilizarse en el estudio de la forma en planta es la definida por el flujo medio anual de energía en el punto de control.

Nótese que en el caso que no exista punto de difracción, o que éste no afecte a la playa, la alineación de la misma será paralela al frente del oleaje que corresponde con la dirección del flujo medio de energía.

DOCUMENTO FINAL

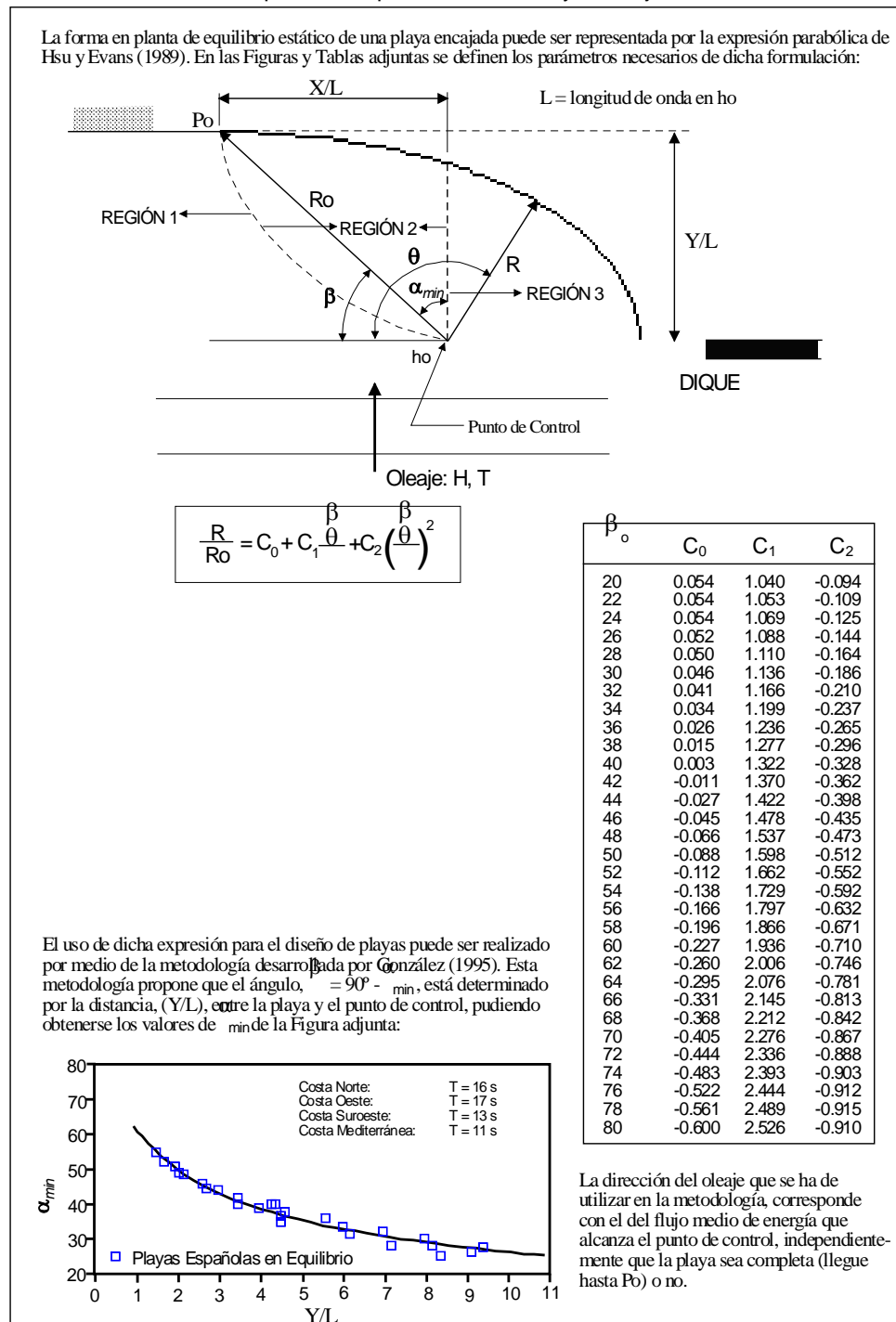


Figura 4.22. Forma en planta de equilibrio estático. Playas encajadas

DOCUMENTO FINAL

#### 4.2.2.2 Aplicación a la zona de estudio

Siguiendo el esquema anterior, se analizará la forma en planta de las playas del tramo costero situado entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto.

La forma en planta de las playas que se encuentran a la sombra de un elemento de difracción se ajustará con la formulación de la parábola de Hsu y para las zonas abiertas se comprobará si la alineación de la playa es paralela al frente del oleaje que corresponde con la dirección del flujo medio de energía, lo que indicaría que la playa se encuentra en equilibrio estático.

#### Tramo 1: Sur de Burriana y El Serradal

El tramo de costa inmediatamente al Sur del Puerto de Burriana se encuentra afectado por el Puerto de Burriana. Su forma en planta de equilibrio está determinada por el flujo medio de energía en el extremo del contradique Sur del Puerto y la difracción que este genera. En la figura 4.23 se observa que la línea de costa (línea blanca) en la actualidad (2009) no coincide con la planta de equilibrio generada por el abrigo del Puerto de Burriana, por lo que se puede afirmar que de existir sedimento susceptible de ser transportado se generaría un transporte neto de sedimentos hacia el Sur. Ahora bien, debe tenerse presente que toda esta zona está recubierta de escollera. Al Sur de la línea de  $\alpha_{min}$  (línea rosa), el efecto de la difracción generada por el Puerto desaparece, también ahí se observa que la orientación de la línea de costa (línea blanca) difiere de la dirección del flujo medio de energía (línea naranja), como se muestra en las figuras 4.23 y 4.24, lo cual indica lo mismo que anteriormente, que de existir sedimento susceptible de ser transportado se produciría tal transporte hacia el Sur. De nuevo recordar que la presencia de escollera en todo este tramo mantiene la línea de costa en una posición fija en el tiempo.

DOCUMENTO FINAL



Figura 4.23. Orientaciones de la forma en planta de equilibrio estático en el tramo 1.



Figura 4.24. Orientaciones de la forma en planta de equilibrio estático en el tramo 1.

**Tramo 2: Nules**

El tramo 2 comprende las playas de Nules y de Pedra Rotja. En general se observa (véase figura 4.25) que la forma en planta de estas playas es sensiblemente similar a la forma de equilibrio estático de las mismas (con flujo medio de energía en la zona entre S70°E y S72°E). Así, por lo tanto, las playas de gravas en el tramo 2 de Nules se encuentran en una posición cercana a la de equilibrio estático. La playa de este tramo que presenta mayor diferencia con respecto a la forma de equilibrio estático es la playa de Pedra Rotja, lo cual concuerda con lo que se verá posteriormente, ya que en esta zona el transporte de sedimentos en la línea de orilla adquiere un valor más elevado que en el resto del tramo.



Figura 4.25. Forma en planta de equilibrio estático en el tramo 2.



**DOCUMENTO FINAL**

**Tramo 3: Moncofar**

El tramo 3 comprende las playas del Grau al Norte de la Gola de Moncofar y las playas del Masbo, Tamarit y La Torre al Sur.

En la figura 4.26 se muestra la forma en planta de equilibrio estático de las playas del Grau al Norte de la Gola de Moncofar. La dirección del flujo medio de energía en estas playas es de S73°E-S75°E. Todas estas playas de gravas se encuentran en una situación próxima a la de equilibrio estático a excepción de las playas de El Grau más septentrionales en la proximidad de la playa de Pedra Rotja, así como la playa más meridional ubicada justo al Norte de la Gola de Moncofar. Esta playa se encuentra en su borde septentrional más avanzada que la forma en planta de equilibrio estático, sin embargo este hecho probablemente se encuentra asociado a la existencia de una laja rocosa en la proximidad de dicho borde.

En la figura 4.27 se presenta la forma en planta de equilibrio estático para las playas del Masbo, Tamarit y La Torre. Aunque las playas del Masbo y Tamarit se encuentran cercanas al equilibrio estático, sin embargo las playas comprendidas entre la playa de Tamarit y la playa de La Torre difieren considerablemente de dicha forma, con el consiguiente transporte de sedimentos hacia el Sur asociado. Esto ha ocasionado que la playa de La Torre haya sido protegida por escollera.



Figura 4.26. Forma en planta de equilibrio estático en la playa del Grau.



Figura 4.27. Forma en planta de equilibrio estático al Sur del tramo 3.

**DOCUMENTO FINAL**

**Tramo 4: Chilches**

El tramo 4 comprende las playas del Estanyol, las Casas de Chilches, El Cerezo y La Llosa.

En la figura 4.28 se presenta la forma en planta de equilibrio estático para las playas indicadas previamente. La playa de las Casas presenta una forma sensiblemente similar a la de equilibrio estático. Sin embargo, la orientación de la playa del Estanyol no coincide exactamente con la dirección del flujo medio de energía indicando la existencia de un transporte de sedimentos con sentido hacia el Sur.

En la figura 4.29 se muestra la forma en planta de equilibrio estático de las playas del Cerezo y de La Llosa. Tal y como puede observarse, las playas del Cerezo más septentrionales ubicadas entre espigones adoptan una posición similar a la del equilibrio estático. Sin embargo, el tramo al Sur de los espigones de la playa del Cerezo, así como la playa de La Llosa adopta una orientación diferente a la del flujo medio de energía indicando la existencia de un transporte de sedimentos hacia el Sur.



Figura 4.28. Forma en planta de equilibrio estático en las playas del Estanyol, las Casas de Chilches y El Cerezo.



Figura 4.29. Forma en planta de equilibrio estático en las playas del Cerezo y La Llosa.

### Tramo 5: Almenara

El tramo 5 comprende las playas de Casablanca y el Norte de Corinto y no está afectado por la difracción de ningún elemento. En la figura 4.30 se observa que la orientación de la costa varía de Norte a Sur entre  $S64^{\circ}E$  y  $S75^{\circ}E$  (línea blanca) y no se corresponde con el flujo medio de energía que varía igualmente entre  $S72^{\circ}E$  y  $S80^{\circ}E$  (líneas naranjas), existiendo una diferencia entre la orientación de la costa y el flujo medio de energía que varía entre  $8^{\circ}$  al Norte y  $5^{\circ}$  al Sur del tramo, lo cual indica la existencia de un transporte neto en dirección Sur, véase figura 4.30. Cabe destacar que se comienza a observar una tendencia en la reducción de esta diferencia a medida que nos dirigimos hacia el Sur. Es especialmente notable la gran diferencia que existe entre la orientación de la costa y la dirección del flujo medio de energía justo en la zona Sur adyacente a la Gola de La Llosa, zona que precisamente se encuentra escollera debido al gran transporte existente en la misma.

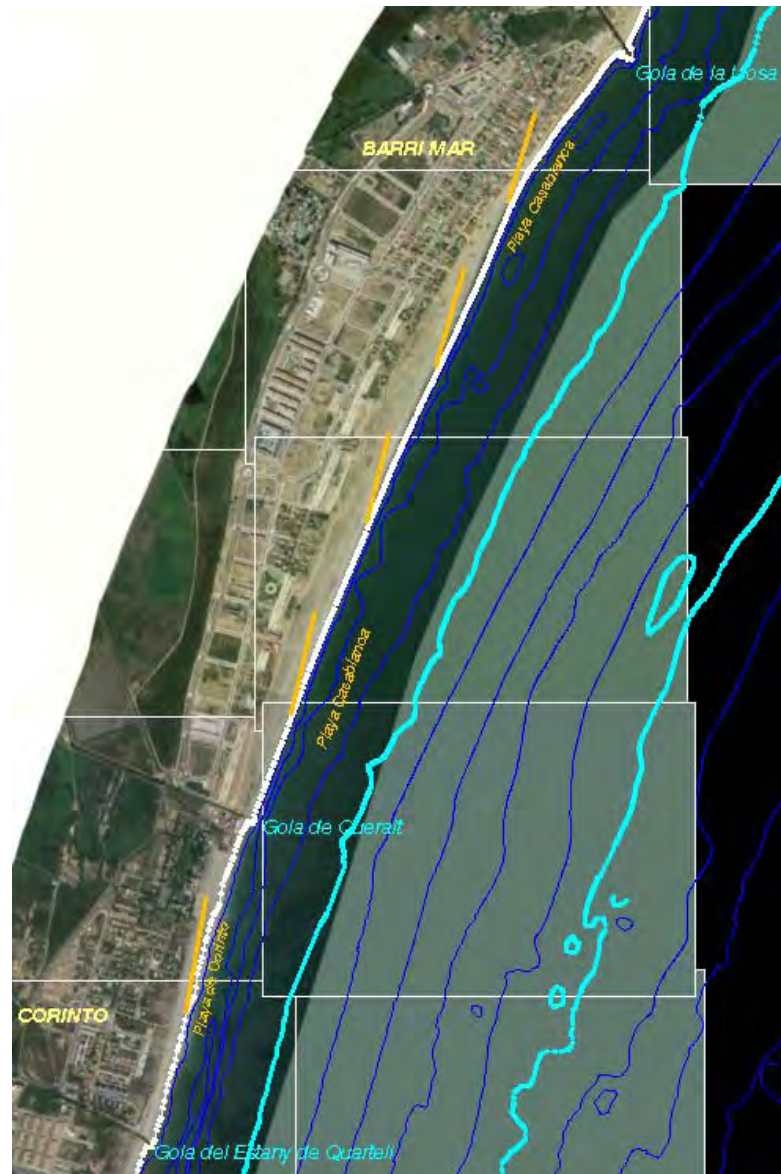


Figura 4.30. Orientaciones de la forma en planta de equilibrio estático en el tramo 5.

### **Tramo 6: Almardá a Puerto de Siles**

El tramo 6 se encuentra comprendido entre la Gola del Estany de Quartell y el Puerto de Siles. En la parte Norte del tramo se aprecia una diferencia entre la orientación de la costa (línea blanca),  $S77^{\circ}E$ , y la del flujo medio de energía (líneas naranjas), de entre  $S82^{\circ}E$  y  $S85^{\circ}E$ , de unos  $5^{\circ}$  a  $8^{\circ}$ , debido a la cual se mantiene un transporte de sedimentos hacia el Sur, como muestra la figura 4.31.



Figura 4.31. Orientaciones de la forma en planta de equilibrio estático al Norte del tramo 6.

Sin embargo, esta diferencia entre la orientación de la línea de costa y la dirección del flujo medio de energía disminuye a medida que nos acercamos al Sur, llegando a ser imperceptible como se muestra en la figura 4.32. Es decir, la forma en planta de equilibrio estático de la playa de Canet de Berenguer es sensiblemente parecida a la de equilibrio, con orientación aproximada de S87°E junto al Puerto de Siles.

Cabe señalar que el Puerto de Siles no llega hasta la profundidad de cierre del perfil de playa (situado alrededor de los 4 m), por lo que la playa de Almería carece de apoyo en su extremo Sur.





Figura 4.32. Orientaciones de la forma en planta de equilibrio estático al Sur del tramo 6.

### **Tramo 7: Sagunto**

El tramo 7, situado entre el Puerto de Siles y el Puerto de Sagunto, comprende la playa del Delta del Río Palancia y la playa del Puerto de Sagunto.

En la parte Norte de la playa del delta se encuentra una playa al abrigo del Puerto de Siles y se apoya al Sur sobre la escollera dispuesta a lo largo de gran parte del frente

**DOCUMENTO FINAL**

costero del delta. La orientación de la costa (línea blanca) y la del flujo medio de energía (línea naranja) coinciden tanto al Norte como al Sur del tramo con  $S68^{\circ}E$  y  $S76^{\circ}E$ , respectivamente (véase figura 4.33). Sin embargo, en la zona media del Delta, la orientación de la costa es de  $S66^{\circ}E$ , mucho menor que la del flujo medio de energía (entre  $S69^{\circ}E$  y  $S76^{\circ}E$ ), dicha orientación se mantiene así debido a la presencia de una escollera.

Por otro lado, la playa del Delta carece de apoyo al Sur puesto que el morro del espigón situado en la desembocadura Sur del río Palancia no alcanza la profundidad de cierre de la playa (línea naranja fina).



Figura 4.33. Forma en planta de equilibrio estático de la playa del Delta del Palancia.

La forma en planta de la playa del Puerto de Sagunto está determinada por el flujo medio de energía en el morro del espigón situado al Sur del delta del Río Palancia y la difracción que éste genera. La dirección del flujo medio de energía y la orientación de la costa coinciden ( $S87^{\circ}E$ ), por lo que la playa se encuentra en equilibrio estático.

**DOCUMENTO FINAL**

Cabe señalar que la playa del Puerto de Sagunto se encuentra saturada de arena, ya que la profundidad de cierre del perfil de playa (línea naranja fina) llega a aproximadamente hasta el codo del dique del Puerto de Sagunto (véase figura 4.34).



Figura 4.34. Forma en planta de equilibrio estático de la playa del Puerto de Sagunto.

### 4.3. Análisis en el medio-largo plazo

En este apartado se lleva a cabo el análisis de evolución en el medio-largo plazo del tramo de costa desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto, estudiándose en primer lugar el transporte sólido litoral en la zona y posteriormente los estados

**DOCUMENTO FINAL**

morfodinámicos. Merece la pena destacar la importancia de este análisis ya que va a condicionar el capítulo siguiente en el que se propondrán las diferentes alternativas de actuación en la zona analizada.

### **4.3.1 Transporte sólido litoral**

#### ***4.3.1.1 Introducción***

La costa está sometida al impacto constante del oleaje, este flujo de energía genera por diversos caminos campos de corrientes que predominantemente son longitudinales a la costa, es decir, paralelas. Dichas corrientes son susceptibles de poner en movimiento el sedimento existente en la costa una vez alcanza el umbral de movimiento. Sin embargo, a esta acción de las corrientes hay que sumarle la puesta en suspensión del material como consecuencia de la rotura del oleaje. Lo cual, genera efectos multiplicativos en las tasas de transporte.

El transporte longitudinal tiene lugar, principalmente, en la *surf zone*, justo tras la rotura, y justo antes de que las corrientes longitudinales se hagan máximas y se ha puesto gran parte de sedimento en suspensión. Esto no quiere decir que no se dé en otras partes sino que es de menor relevancia, como por ejemplo que el que tiene lugar en la zona de *Swash*, ya que en ella los movimientos son predominantemente transversales.

Tres son los elementos que controlan el fenómeno, por un lado las corrientes longitudinales, por otro la morfología de la playa y finalmente el sedimento.

#### ***Las corrientes longitudinales:***

Son el mecanismo forzador del transporte, el resto de parámetros por sí mismo no generan transporte sino que alteran su orden de magnitud. De ahí que muchas formulaciones estén estructuradas entorno a este parámetro.

Las corrientes longitudinales pueden ser generadas por dos mecanismos: Como consecuencia de variaciones longitudinales del set-up y por incidencia oblicua del oleaje. El primero es el responsable de los rip currents, corrientes longitudinales generadas desde los puntos de mayor set-up, por mayor altura de ola, hacia los de menor set-up, donde el oleaje es menor (Bowen, 1969). La segunda surge como consecuencia de una variación longitudinal del tensor de radiación, como demostró Longuet-Higgins en 1970.

#### ***Morfología de la playa:***

Este es un factor que influye en la magnitud de las corrientes longitudinales, pues estas son dependientes de la pendiente de la playa. A su vez, la tasa de transporte también es dependiente del tipo de rotura (Ping Wang, 2002) y de la pendiente de la playa.

DOCUMENTO FINAL

***El sedimento:***

El sedimento, al igual que la morfología de la playa, también influye en el valor de las corrientes longitudinales según un coeficiente de fricción. Pero su principal afección al transporte longitudinal viene dada por el tamaño de grano. Autores como Kamphuis (1991), Del Valle et al. (1994), encontraron relaciones que demuestran que el incremento en el tamaño de grano implican reducciones en la tasas de transporte.

***4.3.1.2 Métodos de cálculo del transporte sólido litoral***

El cálculo del transporte sólido longitudinal en la costa, puede ser obtenido a partir de diversos medios: (1) midiendo el transporte de sedimento en el campo; (2) evidencias morfológicas de la costa; (3) evolución de la línea de costa; y (4) cálculo teórico.

Respecto a la medición in situ del transporte sólido litoral, cabe señalar que se trata de un tema bastante complejo debido a la variabilidad espacial y temporal del mismo. Para la realización de medidas in situ de transporte de sedimentos se pueden utilizar distintos métodos con más o menos fiabilidad. Un método es la integración espacial y temporal mediante trazadores de arena fluorescentes distribuidos en la playa, método bastante complejo y que según Kraus et al (1982), pueden llegar a dar errores hasta del 400% en el transporte. Otro método es mediante la medición instrumental del transporte de arena, mediante trampas instantáneas, Kana, (1977) o sensores ópticos OBS Sternberg et al. (1984). El problema de este tipo de mediciones, es que normalmente miden sólo el transporte en suspensión, sin incluir el transporte por fondo, lo cual da resultados que subestiman el transporte litoral total. En general es muy difícil realizar mediciones fiables del transporte litoral en campo, lo cual ha generado problemas para la validación de las actuales formulaciones teóricas, que en algunos casos, han tenido que hacerse con datos medidos en laboratorio, las cuales involucran efectos de escala que afectan los resultados.

Otra forma de obtener el transporte litoral, es mediante evidencias morfológicas de la costa. La construcción de estructuras en el litoral, como diques de Puertos, espigones etc, normalmente genera una acumulación de la arena costa arriba, cuyo volumen se puede obtener mediante la resta de campañas batimétricas llevadas a cabo en diferentes instantes de tiempo. Estos métodos son bastante fiables, dado que integran eventos que ocurren en distintas escalas de tiempo, proporcionando así una tasa media de transporte sólido. Dentro de las limitaciones de este método, está el error que se puede llegar a cometer en áreas muy extensas, porque un error en vertical de centímetros, puede resultar en un volumen importante de arena (Dean et al. 1987).

Otro método del cálculo litoral es a partir de la evolución de línea de costa, la cual se puede obtener a partir de la restitución de fotos aéreas. La ventaja de este método es que nos permite obtener información valiosa de épocas históricas de las cuales no se cuenta con batimetrías ni mediciones, por supuesto, se encuentra sujeta a suponer un perfil de playa que avanza o retrocede con la línea de costa. Este método es mejor para

**DOCUMENTO FINAL**

playas con estados morfodinámicos extremos (perfil reflejante o disipativo), en los cuales no hay variaciones importantes en el transporte transversal a lo largo de un tramo específico de costa, reduciendo así el error que se comete al no incluir los cambios de sedimento en la zona sumergida de la playa. Ahora bien, debe tenerse presente que al no contar con la variabilidad del perfil no se pueden tener en cuenta los cambios estacionales del mismo, siendo por tanto recomendable realizar la comparación entre líneas de costa de diferentes años pero obtenidas en la misma estación, a ser posible, el mismo mes.

Finalmente están las formulaciones teóricas del transporte sólido potencial, las cuales dan muy buenos resultados cuando se combinan con alguno de los métodos anteriores, que permitan calibrarlas y/o validarlas. Este tipo de formulaciones han sido propuestas por sus autores a partir de una serie de validaciones en casos muy particulares en campo y laboratorio, siendo muy eligoso en algunos casos extenderlos a otros sitios o condiciones distintas a las de su calibración.

Al objeto del cálculo del transporte litoral en la zona de estudio se ha utilizado una formulación teórica que será descrita en apartados posteriores. Como no se ha contado con batimetrías históricas, dicha formulación ha sido calibrada y validada a partir de los volúmenes de sedimento obtenidos a partir de la evolución histórica de la línea de costa. Así pues, como paso previo para la determinación de las tasas de transporte en la zona analizada se va a describir la evolución de la línea de costa comprendida entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto.

#### **4.3.1.3 Evolución de la línea de costa**

El estudio de evolución de la línea de costa se ha realizado teniendo en consideración la siguiente información:

- Líneas de restitución históricas de la zona realizadas por el CEDEX. Las líneas con las que se ha contado corresponden a las siguientes fechas: Febrero de 1947, Junio de 1956 (o 1957 para la zona de Valencia), Agosto de 1965, Junio de 1973 (o 1972 para la zona de Valencia), Marzo de 1977, Diciembre de 1981 y Marzo de 1995.
- Líneas de costa obtenidas recientemente por la empresa IDYMA para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. Dichas líneas de costa sólo cubren la zona de Castellón y son de las siguientes fechas: 1956, 1981, 1989, 2001 y 2006. Es importante destacar que en aquellas fechas en las que se disponía la línea de costa de ambas fuentes (CEDEX e IDYMA) se pudieron apreciar diferencias en la posición de la línea de costa. En estos casos, como lo obtenido por IDYMA es más reciente, se ha considerado más fiable esta información. Ahora bien, las diferencias observadas también pudieran estar asociadas a variaciones estacionales, ya que de las líneas de costa proporcionadas por IDYMA no se contó con el mes exacto al que correspondían.

**DOCUMENTO FINAL**

- Ortofoto reciente a partir de donde se ha obtenido la línea de costa del año 2009.

Merece la pena recalcar que la determinación de la línea de costa a partir de fotografías aéreas es una información valiosa, aunque presenta ciertos inconvenientes. Dado que los vuelos no son efectuados en las mismas épocas o estaciones, se puede esperar que una línea de costa una vez pasado el invierno esté más retranqueada, respecto a una línea de costa al final del verano. Las restituciones tampoco tiene en cuenta correcciones por nivel de marea (meteorológicas, presión atmosférica). Adicionalmente, también hay que añadir los errores propios en la restitución por efectos de escala. En cualquier caso, aún con los inconvenientes señalados anteriormente, esta información nos permite definir en grandes escalas, cuál es el comportamiento y tendencias de la línea de costa.

Así pues, se han establecido 36 perfiles transversales en las diferentes zonas. Dichos perfiles que aparecen localizados en las figuras siguientes se han utilizado para todo el estudio de transporte sólido litoral, tanto para el presente análisis de la evolución de la línea de costa como para la determinación de las tasas de transporte llevada a cabo en apartados posteriores. En los perfiles transversales indicados se ha tomado como referencia la situación de la línea de costa en 1947 y se ha medido los avances o retrocesos de la costa para las diferentes fechas disponibles en cada tramo de estudio.

Nótese que, aunque la dinámica marina en la zona de estudio ha sido establecida con una resolución de 10 m (véase Capítulo 3), debido a la gran extensión de la zona analizada (26 kilómetros), el estudio de transporte sólido litoral se ha llevado a cabo considerando los 36 perfiles transversales indicados previamente, los cuales se encuentran separados entre sí una distancia media del orden del kilómetro. Dichos perfiles son representativos de las condiciones de transporte medias espaciales de la zona en la que se ubican pero no reproducen (ni tampoco era esa la intención) las condiciones puntuales de determinadas áreas. Por lo tanto, los resultados que serán mostrados a lo largo de este capítulo son acordes con la escala espacial previamente indicada. Así pues, el estudio de transporte litoral a una resolución de mayor detalle no ha sido el objetivo del presente trabajo.

En el tramo 1 los perfiles considerados (PT 1\_1 a PT 1\_4) se muestran en la figura 4.35. En este tramo destaca la construcción de la escollera de protección, que se extiende en todo el frente costero del tramo y que puso freno a la erosión que sufría la costa, con unos 6 m/año de retroceso relativamente homogéneo y constante en todo el tramo desde 1947 hasta 1973, como muestra la tabla 4.16. Desde la construcción de la escollera hasta la actualidad apenas se observan variaciones en la alineación de la línea de costa, véase figura 4.36.

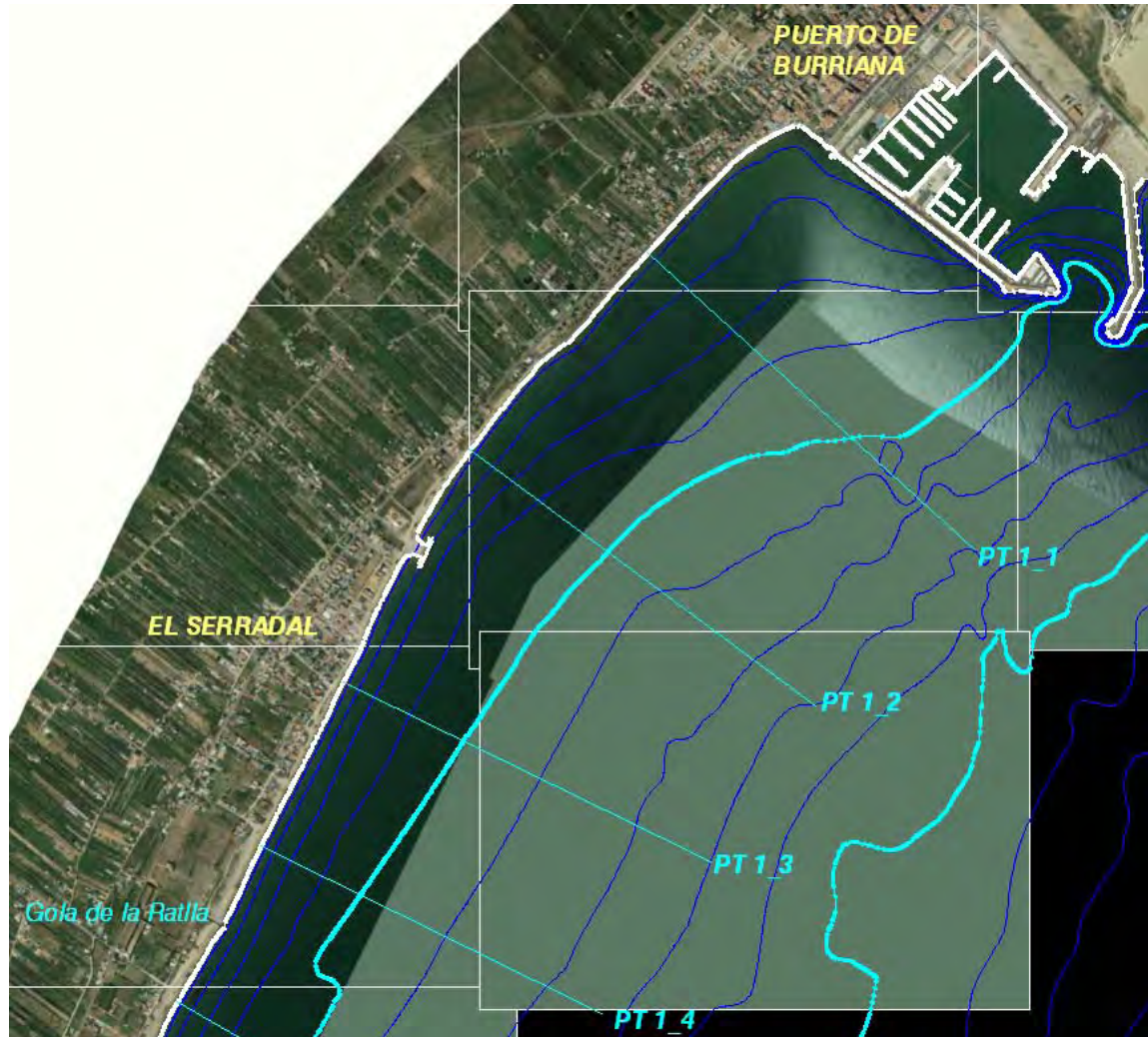


Figura 4.35. Localización de perfiles en el tramo 1.



DOCUMENTO FINAL

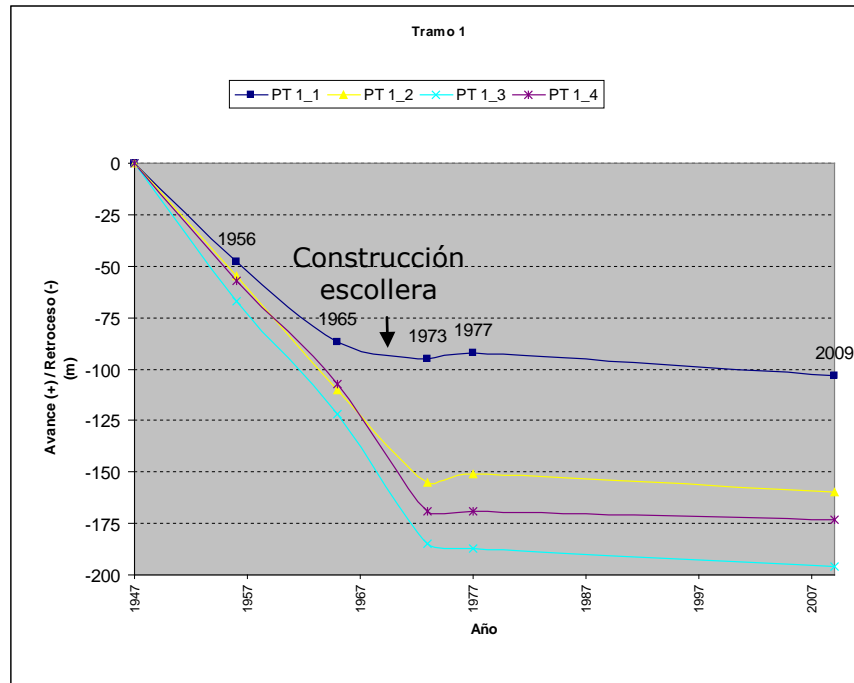


Figura 4.36. Evolución de la línea de costa en el tramo 1.

Perfil/año	1947-56	1956-65	1965-73	1973-77	1977-2009	1947-2009
PT 1_1	-5.3	-4.3	-1.0	0.8	-0.3	-1.7
PT 1_2	-6.1	-6.1	-5.6	1.0	-0.3	-2.6
PT 1_3	-7.4	-6.1	-7.9	-0.5	-0.3	-3.2
PT 1_4	-6.3	-5.6	-7.8	0.0	-0.1	-2.8
<b>Promedio</b>	<b>-6.3</b>	<b>-5.5</b>	<b>-5.6</b>	<b>0.3</b>	<b>-0.3</b>	<b>-2.5</b>

Tabla 4.16. Tasas de avance (+) o retroceso (-) de la línea de costa (m/año) en el tramo 1.

En la figura 4.37 se muestran los perfiles utilizados para el análisis de la evolución de la línea de costa en el tramo 2, así como las obras consideradas en dicho tramo.

En los dos primeros perfiles del tramo 2 (PT 2\_1 y PT 2\_2), hasta la disposición de la escollera de protección, se aprecia una erosión creciente, alcanzando hasta 10 m/año en el período de tiempo 1973-1977. En el resto de perfiles del tramo 2, el retranqueo de la línea de costa es menos acusado que en los dos primeros y, en lugar de disponer una escollera, se construyeron varios espigones que, junto con sucesivas recargas de sedimento a las playas, hacen que la línea de costa alcance retranqueos de hasta 5.3 m/año en el período de tiempo 1977-1981 para los perfiles PT 2\_3, PT 2\_4 y PT 2\_5. Por otra parte, la construcción de dichos espigones tiene un efecto negativo en el PT 2\_6, situado al Sur de éstos, retranqueándose la línea de costa en este último perfil hasta 10 m/año en el período de tiempo 1981-1989.

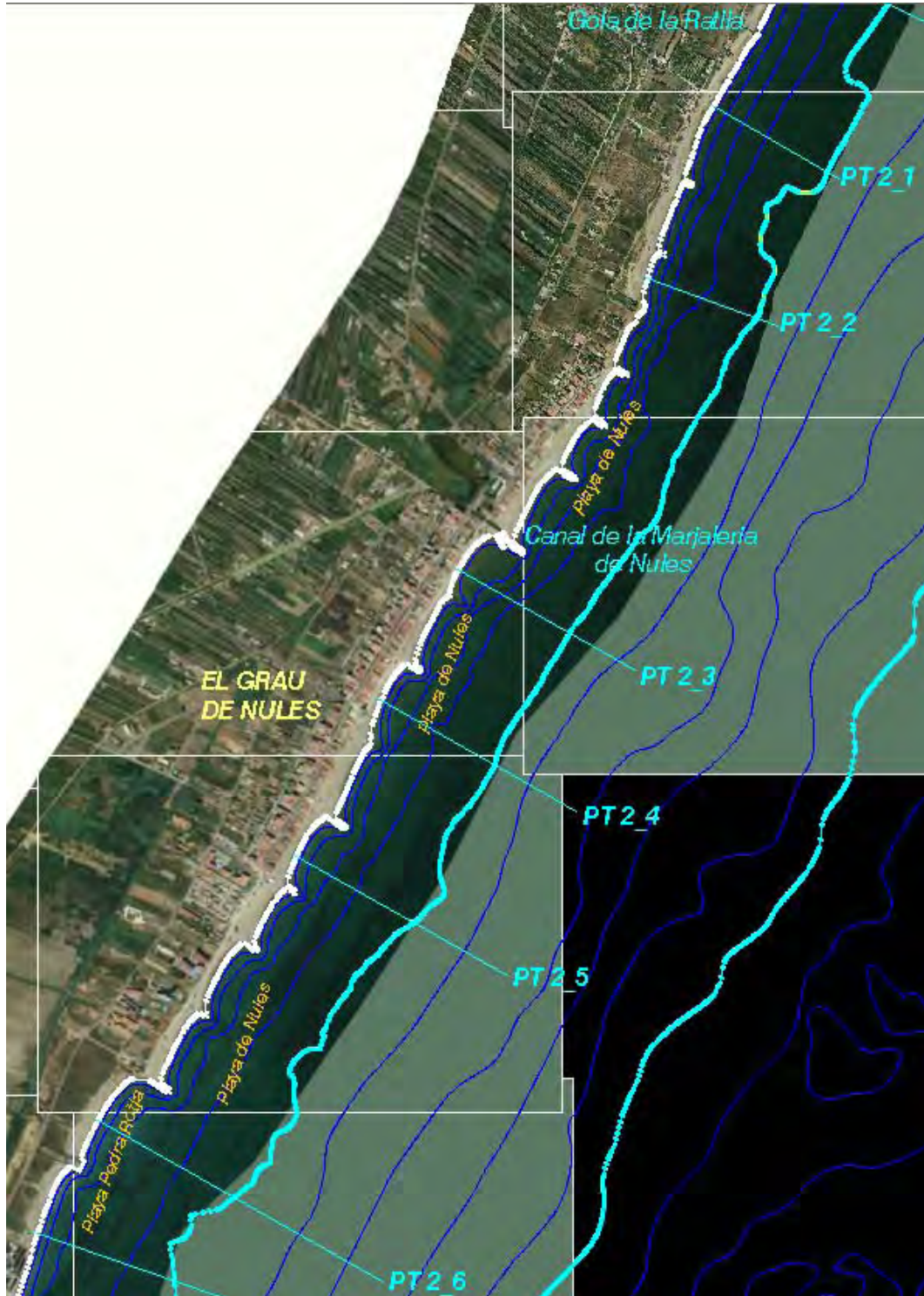


Figura 4.37. Localización de perfiles en el tramo 2.

**DOCUMENTO FINAL**

En la figura 4.38 y en la tabla 4.17 se muestra la evolución de la línea de costa en los diferentes perfiles del tramo 2.

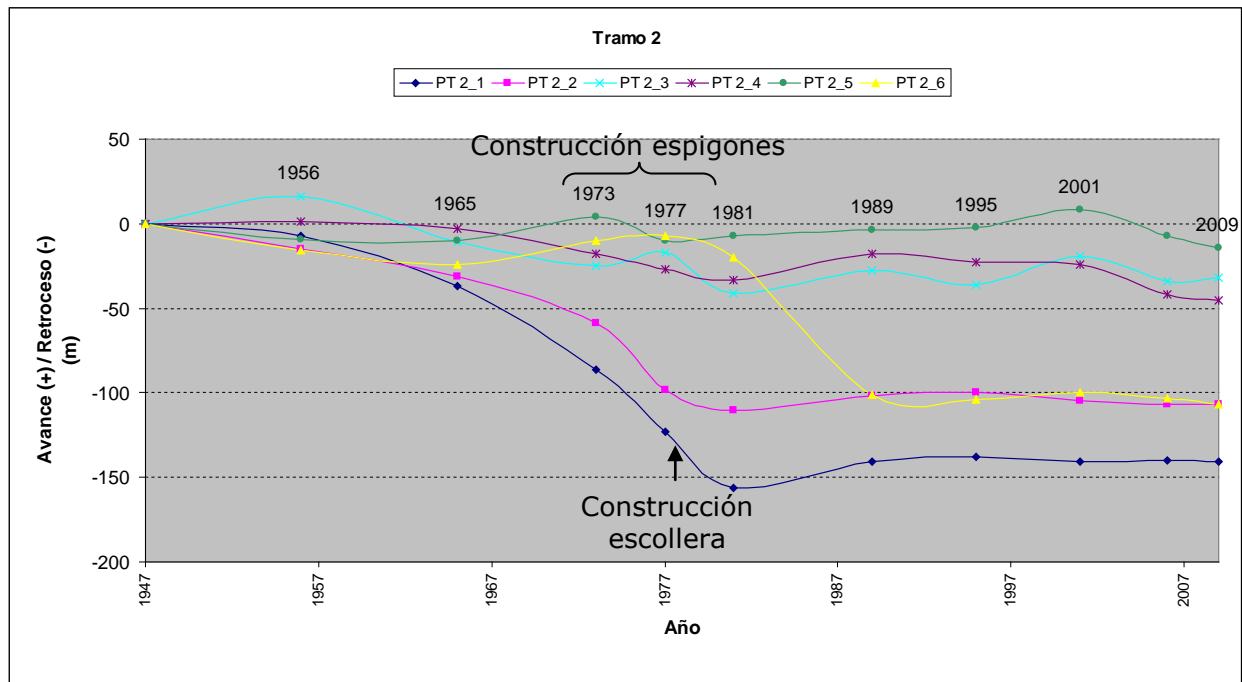


Figura 4.38. Evolución de la línea de costa en el tramo 2.

Perfil/año	1947-56	1956-65	1965-73	1973-77	1977-81	1981-89	1989-95	1995-01	2001-06	2006-09	1947-2009
PT 2_1	-0.8	-3.3	-6.1	-9.3	-7.3	1.9	0.5	-0.5	0.2	-0.3	<b>-2.3</b>
PT 2_2	-1.7	-1.8	-3.5	-9.8	-2.7	1.0	0.3	-0.8	-0.4	0.0	<b>-1.7</b>
PT 2_3	1.8	-3.0	-1.8	2.0	-5.3	1.6	-1.3	2.8	-3.0	0.7	<b>-0.5</b>
PT 2_4	0.1	-0.4	-1.9	-2.3	-1.3	1.9	-0.8	-0.2	-3.6	-1.0	<b>-0.7</b>
PT 2_5	-1.0	-0.1	1.8	-3.5	0.7	0.4	0.3	1.7	-3.0	-2.3	<b>-0.2</b>
PT 2_6	-1.8	-0.9	1.8	0.8	-2.9	-10.1	-0.5	0.7	-0.6	-1.3	<b>-1.7</b>
<b>Promedio</b>	<b>-0.6</b>	<b>-1.6</b>	<b>-1.6</b>	<b>-3.7</b>	<b>-3.1</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.3</b>	<b>0.6</b>	<b>-1.7</b>	<b>-0.7</b>	<b>-1.2</b>

Tabla 4.17. Tasas de avance (+) o retroceso (-) de la línea de costa (m/año) en el tramo 2.

En la figura 4.39 se muestran los perfiles utilizados para el análisis de la evolución de la línea de costa en el tramo 3, así como las obras consideradas en dicho tramo.

Al igual que el último perfil del tramo 2 (PT 2\_6), el primer perfil del tramo 3 (PT 3\_1) se ve afectado por la construcción de los espigones del tramo 2 que retienen el sedimento favoreciendo la erosión aguas abajo de los mismos. Por tanto, se observa cómo a partir de la construcción de dichos espigones en el perfil PT 3\_1 la línea de costa experimenta un importante retroceso de hasta 7.3 m/año en el período de tiempo 1977-1981 (véase figura 4.40 y tabla 4.18).

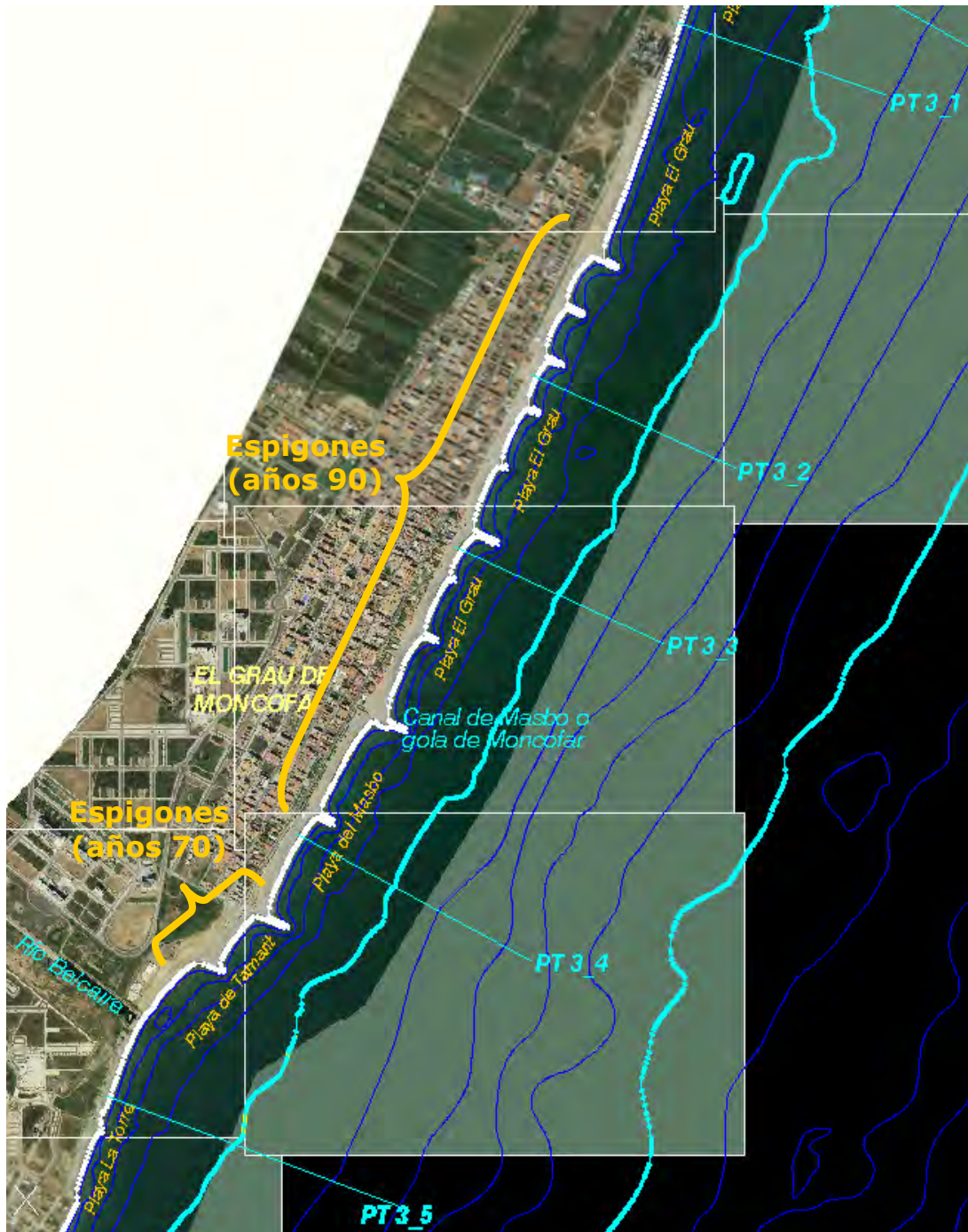


Figura 4.39. Localización de perfiles en el tramo 3.

Alrededor de los perfiles PT 3\_2 y PT 3\_3 se construyeron en los años 90 numerosos espigones que, junto con diversas aportaciones de sedimento, consiguieron mantener la

**DOCUMENTO FINAL**

línea de costa relativamente estable con tasas medias de retranqueo de la línea de costa en el período 1947-2009 de 0.3 m/año.

La construcción en los años setenta de dos espigones entre los perfiles PT 3\_4 y PT 3\_5 tiene efectos contrarios en los mencionados perfiles. Al interrumpir el transporte de sedimentos hacia el Sur, provoca un importante avance de la línea de costa en el perfil PT 3\_4 (situado al Norte de los mencionados espigones), con tasas de acreción de hasta casi 11 m/año en el período de tiempo 1977-1981, y un retranqueo de la línea de costa en el perfil PT 3\_5, con tasas de erosión de hasta 15.8 m/año en este mismo último período de tiempo.

La tendencia acumulativa en el perfil PT 3\_4 se invierte tras la construcción en los años 90 de los espigones situados inmediatamente al norte de este perfil en los alrededores de los perfiles PT 3\_2 y PT 3\_3. Debido a estos espigones en los últimos años se observan tasas erosivas de hasta 2 m/año en el período de tiempo 1989-1995. A pesar de esto último, en el perfil PT 3\_4 se obtiene una tasa media en el período 1947-2009 positiva de 0.3 m/año.

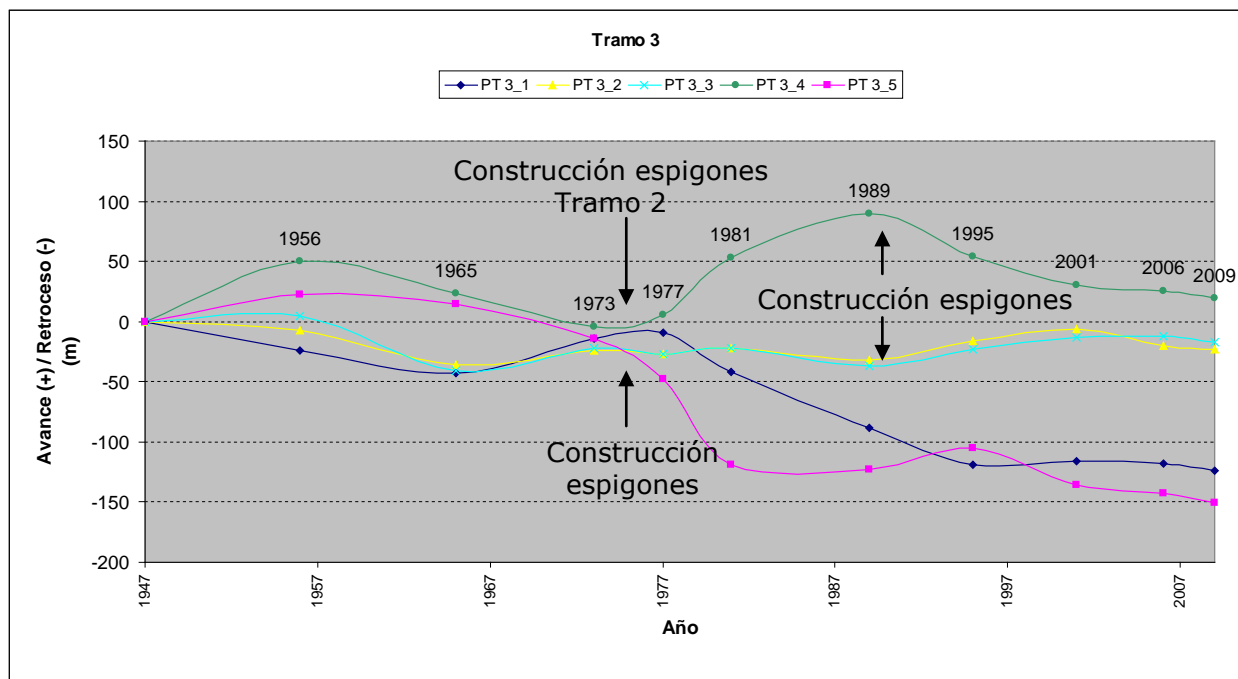


Figura 4.40. Evolución de la línea de costa en el tramo 3.

Perfil/año	1947-56	1956-65	1965-73	1973-77	1977-81	1981-89	1989-95	1995-01	2001-06	2006-09	1947-2009
<b>PT 3_1</b>	-2.7	-2.1	3.6	1.3	-7.3	-5.8	-5.2	0.5	-0.4	-2.0	<b>-2.0</b>
<b>PT 3_2</b>	-0.8	-3.2	1.5	-0.8	1.1	-1.3	2.7	1.7	-2.8	-1.0	<b>-0.4</b>
<b>PT 3_3</b>	0.6	-5.1	2.4	-1.3	1.1	-1.9	2.3	1.7	0.2	-1.7	<b>-0.3</b>
<b>PT 3_4</b>	5.6	-3.0	-3.4	2.5	10.4	4.6	-6.0	-4.0	-1.0	-2.0	<b>0.3</b>
<b>PT 3_5</b>	2.4	-0.8	-3.6	-8.5	-15.8	-0.5	3.0	-5.2	-1.4	-2.7	<b>-2.4</b>
<b>Promedio</b>	<b>1.0</b>	<b>-2.8</b>	<b>0.1</b>	<b>-1.4</b>	<b>-2.1</b>	<b>-1.0</b>	<b>-0.6</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.9</b>	<b>-1.0</b>

Tabla 4.18. Tasas de avance (+) o retroceso (-) de la línea de costa (m/año) en el tramo 3.

**DOCUMENTO FINAL**

En la figura 4.41 se muestran los perfiles utilizados para el análisis de la evolución de la línea de costa en el tramo 4, así como las obras consideradas en dicho tramo.

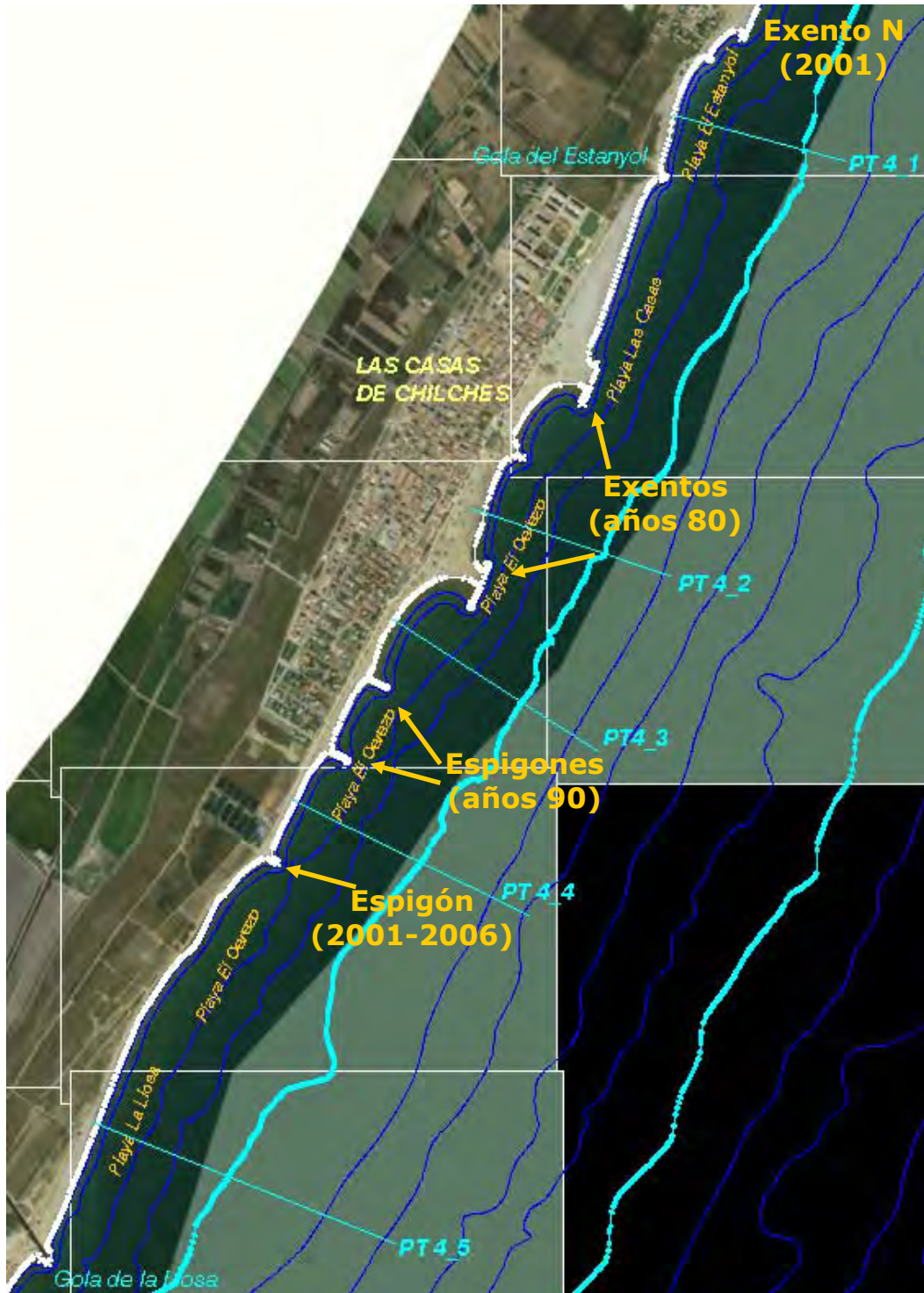


Figura 4.41. Localización de perfiles en el tramo 4.

**DOCUMENTO FINAL**

En los 3 primeros perfiles del tramo 4 (PT 4\_1, PT 4\_2 y PT 4\_3) se aprecia que la construcción de los espigones en los años setenta del tramo 3 supuso un aumento de la tasa de retranqueo de la línea de costa en estos tres perfiles, alcanzando dicha tasa valores próximos a los 5 m/año en el período de tiempo 1977-1981, como se observa en la figura 4.42 y en la tabla 4.19. En el año 2001 inmediatamente al Norte del PT 4\_1 se construyó un dique exento que, debido a su capacidad para retener los sedimentos provenientes del Norte, provocó una acentuación de la erosión sufrida en dicho perfil alcanzándose tasas de erosión de hasta 9 m/año en el período de tiempo 2001-2006.

La construcción a finales de los años 80 de dos diques exentos más al Sur, alrededor de los perfiles PT 4\_2 y PT 4\_3, así como el vertido de sedimento, tuvo un efecto beneficioso para los mencionados perfiles, en los que se observa un adelantamiento de la línea de costa con tasas de acreción de hasta 13 m/año en el perfil PT 4\_2 y 3 m/año en el perfil PT 4\_3 en el período de tiempo 1989-1995 (en este último perfil la tasa de acreción es menor que en el PT 4\_2 ya que todavía no había sido construido el espigón al Sur del mismo).

Por otra parte, los perfiles situados al Sur de dichos diques exentos (PT 4\_4 y PT 4\_5) experimentan desde su construcción un importante retroceso en la línea de costa con tasas de erosión de hasta 5.8 m/año en el mismo período de tiempo 1989-1995. También se puede observar cómo la construcción del espigón al Sur del perfil PT4\_4 en el año 2001 permite reducir la tasa de retranqueo de la línea de costa a 0.7 m/año en el período de tiempo 2006-2009.

La evolución de la línea de costa y las tasas de acreción o erosión de la misma en el tramo 4 se muestran en la figura 4.42 y en la tabla 4.19.

**DOCUMENTO FINAL**

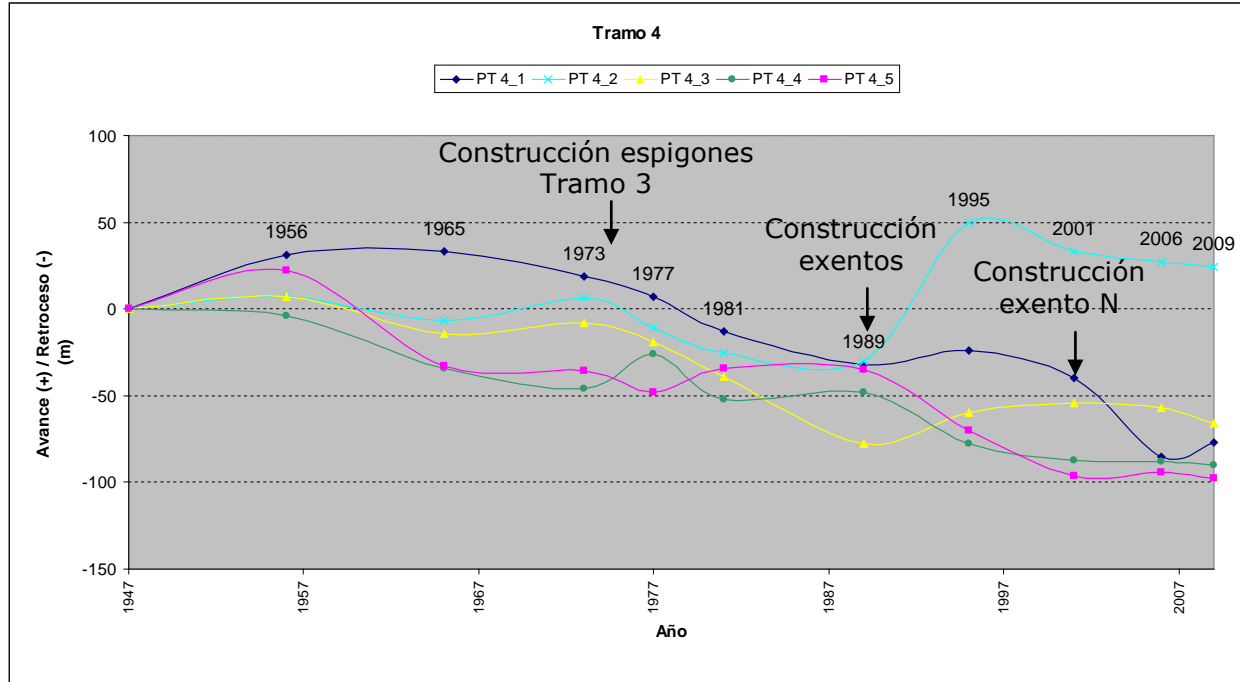


Figura 4.42. Evolución de la línea de costa en el tramo 4.

Perfil/año	1947-56	1956-65	1965-73	1973-77	1977-81	1981-89	1989-95	1995-01	2001-06	2006-09	1947-2009
PT 4_1	3.4	0.2	-1.8	-3.0	-4.4	-2.4	1.3	-2.7	-9.0	2.7	-1.2
PT 4_2	0.8	-1.6	1.6	-4.3	-3.1	-0.6	13.3	-2.8	-1.2	-1.0	0.4
PT 4_3	0.8	-2.3	0.8	-2.8	-4.4	-4.9	3.0	1.0	-0.6	-3.0	-1.1
PT 4_4	-0.4	-3.3	-1.5	5.0	-5.8	0.5	-5.0	-1.5	-0.2	-0.7	-1.5
PT 4_5	2.4	-6.1	-0.4	-3.0	3.1	-0.1	-5.8	-4.3	0.4	-1.3	-1.6
<b>Promedio</b>	<b>1.4</b>	<b>-2.6</b>	<b>-0.3</b>	<b>-1.6</b>	<b>-2.9</b>	<b>-1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>-2.1</b>	<b>-2.1</b>	<b>-0.7</b>	<b>-1.0</b>

Tabla 4.19. Tasas de avance (+) o retroceso (-) de la línea de costa (m/año) en el tramo 4.

En la figura 4.43 se muestran los perfiles utilizados para el análisis de la evolución de la línea de costa en el tramo 5, así como las obras consideradas en dicho tramo.

La construcción de los espigones de encauzamiento de la Gola de La Llosa alrededor de 1995 provoca la erosión de la línea de costa en el perfil PT 5\_1. Erosión que se ve frenada pocos años después mediante la construcción de una escollera de protección, como se observa en la figura 4.44.

La construcción de los espigones de encauzamiento de la Gola del Estany de Quartell provoca una cierta acumulación de sedimentos que se traduce en un ligero avance de la línea de costa en el perfil PT 5\_5 alrededor de 1965.

La construcción de los espigones de encauzamiento de la Gola de Queralt a finales de los años 70 permite la acumulación de sedimentos al Norte (perfiles PT 5\_2 y PT 5\_3) y provoca, por tanto, erosión de la costa al Sur (PT 5\_4 y PT 5\_5).



DOCUMENTO FINAL

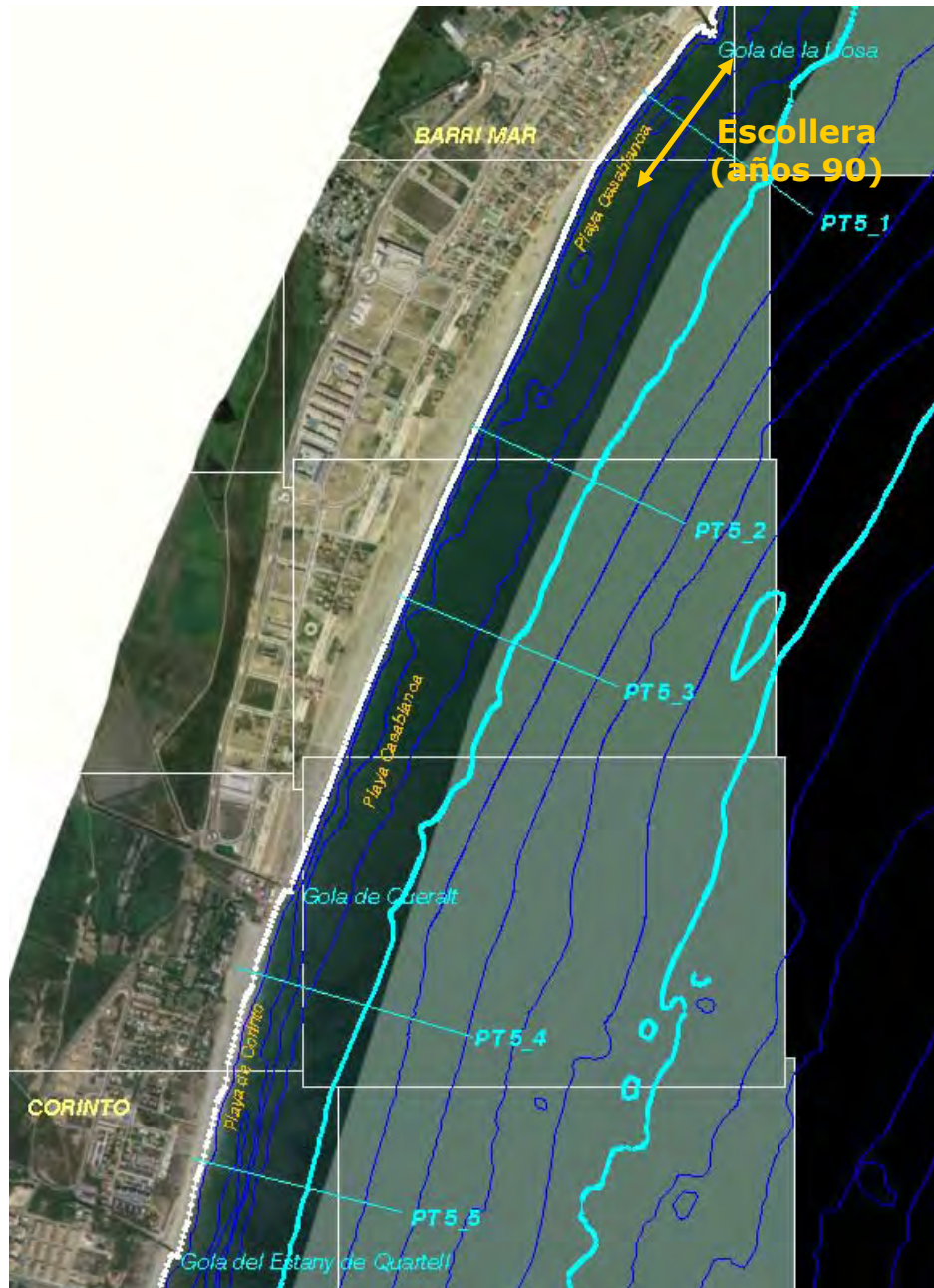


Figura 4.43. Localización de perfiles en el tramo 5.

Por otro lado, se observa en los perfiles PT 5\_4 y PT 5\_5 un importante avance de la línea de costa entre 1995 y la actualidad (2009) de 67 m y 23 m, respectivamente. Esta acreción en la línea de costa podría responder a un aporte de sedimento en la zona. De

**DOCUMENTO FINAL**

hecho, a partir de 1995 se observa en todos los perfiles del tramo, a excepción del perfil PT5\_1, un avance de la línea de costa. Esto concuerda con los datos con los que se contó de aportaciones realizadas en la zona de estudio, ya que existe constancia de que en la zona al Sur de la Gola de La Llosa en la playa de Casablanca se han venido realizando aportaciones de sedimento en diferentes años (1998, 2000, 2001, 2003, 2006, 2007-2009).

La evolución de la línea de costa y las tasas de acreción o erosión de la misma en el tramo 4 se muestran en la figura 4.44 y en la tabla 4.20.

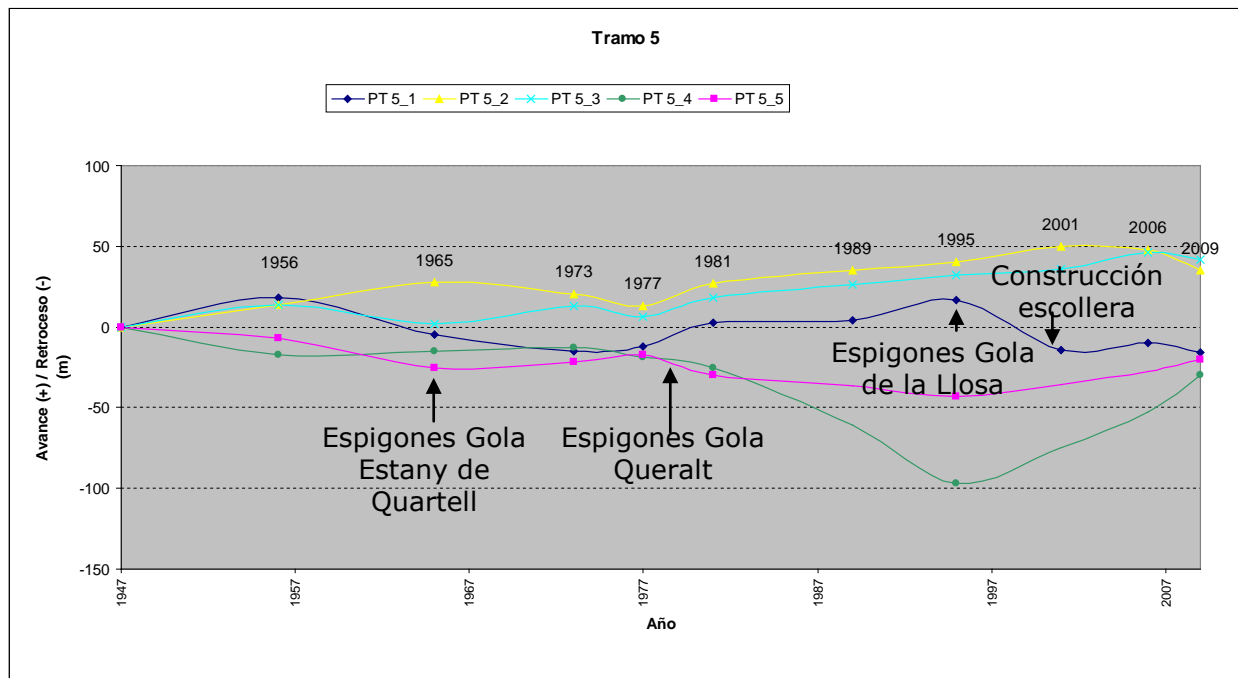


Figura 4.44. Evolución de la línea de costa en el tramo 5.

Perfil/año	1947-56	1956-65	1965-73	1973-77	1977-81	1981-89	1989-95	1995-01	2001-06	2006-09	1947-2009
PT 5_1	2.0	-2.6	-1.3	0.8	3.3	0.1	2.2	-5.2	0.8	-2.0	-0.3
PT 5_2	1.6	1.6	-1.0	-1.8	3.1	1.0	0.8	1.7	-0.4	-4.3	0.6
PT 5_3	1.6	-1.3	1.4	-1.8	2.7	1.0	1.0	0.7	2.0	-1.3	0.7
PT 5_4	-1.9	0.2	0.3	-1.5	-1.3	-4.5	-	-	-	-	-0.5
PT 5_5	-0.8	-2.0	0.4	1.3	-2.9	-0.8	-	-	-	-	-0.3
<b>Promedio</b>	<b>0.5</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.1</b>	<b>-0.6</b>	<b>1.0</b>	<b>-0.6</b>	<b>1.3</b>	<b>-0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>-2.6</b>	<b>0.0</b>

Tabla 4.20. Tasas de avance (+) o retroceso (-) de la línea de costa (m/año) en el tramo 5.

En la figura 4.45 se muestran los perfiles utilizados para el análisis de la evolución de la línea de costa en el tramo 6, así como las obras consideradas en dicho tramo.

**DOCUMENTO FINAL**

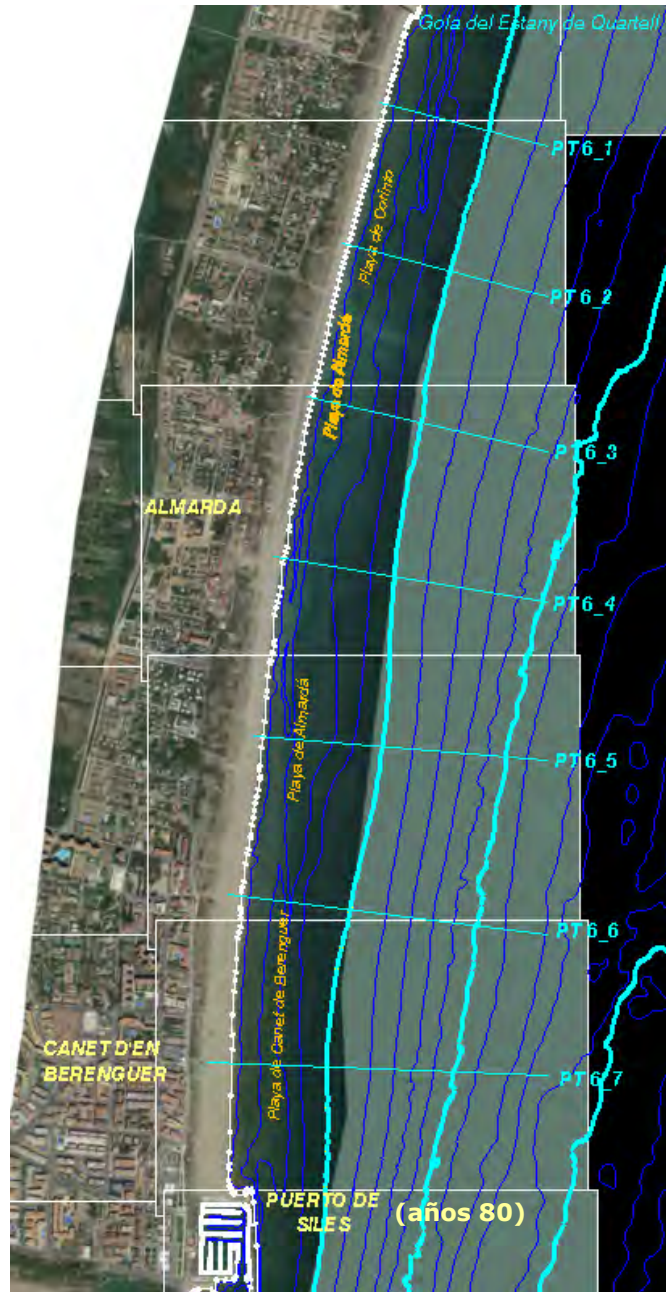


Figura 4.45. Localización de perfiles en el tramo 6.

En el tramo 6 destaca la influencia de la construcción del Puerto de Siles a principios de los años 80 en la evolución de la línea de costa. Dicha influencia, de menor importancia en los perfiles del Norte del tramo, es muy acusada en los del Sur con tasas de acreción de hasta 4.7 m/año en el período de tiempo 1981-1995 en el perfil PT 6\_7, como muestran la figura 4.46 y la tabla 4.21.

DOCUMENTO FINAL

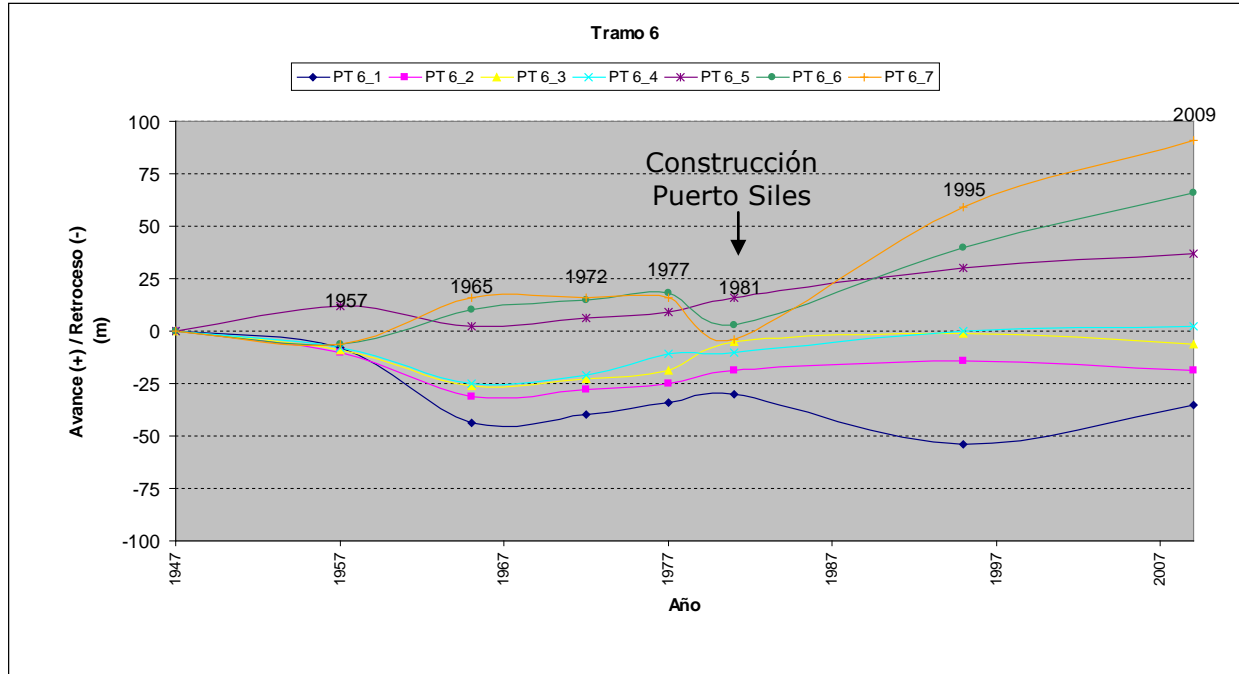


Figura 4.46. Evolución de la línea de costa en el tramo 6.

Perfil/año	1947-57	1957-65	1965-72	1972-77	1977-81	1981-95	1995-09	1947-2009
PT 6_1	-0.8	-4.5	0.6	1.2	0.9	-1.8	1.4	-0.6
PT 6_2	-1.0	-2.6	0.4	0.6	1.3	0.4	-0.4	-0.3
PT 6_3	-0.9	-2.1	0.4	0.8	3.1	0.3	-0.4	-0.1
PT 6_4	-0.8	-2.1	0.6	2.0	0.2	0.7	0.1	0.0
PT 6_5	1.2	-1.3	0.6	0.6	1.6	1.0	0.5	0.6
PT 6_6	-0.6	2.0	0.7	0.6	-3.3	2.7	1.9	1.1
PT 6_7	-0.6	2.8	0.0	0.0	-4.4	4.7	2.3	1.5
<b>Promedio</b>	<b>-0.5</b>	<b>-1.1</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>-0.1</b>	<b>1.2</b>	<b>0.8</b>	<b>0.3</b>

Tabla 4.21. Tasas de avance (+) o retroceso (-) de la línea de costa (m/año) en el tramo 6.

En la figura 4.47 se muestran los perfiles utilizados para el análisis de la evolución de la línea de costa en el tramo 7, así como las obras consideradas en dicho tramo.

En el tramo 7 se distinguen claramente dos zonas, por un lado están los perfiles más al Norte (perfiles PT 7\_1 y PT 7\_2) en los que la variación que experimenta la línea de costa es de menor importancia y, por otra parte, se encuentran los perfiles más al Sur (perfiles PT 7\_3 y PT 7\_4) en los que dicha variación es más elevada.

En los perfiles PT 7\_1 y PT 7\_2, situados en el Delta del Río Palancia, además de observar que la variación de la línea de costa es menor, se puede apreciar que la construcción del Puerto de Siles generó un retranqueo en dicha línea en el perfil PT 7\_1, zona en la que fue necesaria la disposición de una escollera de protección.

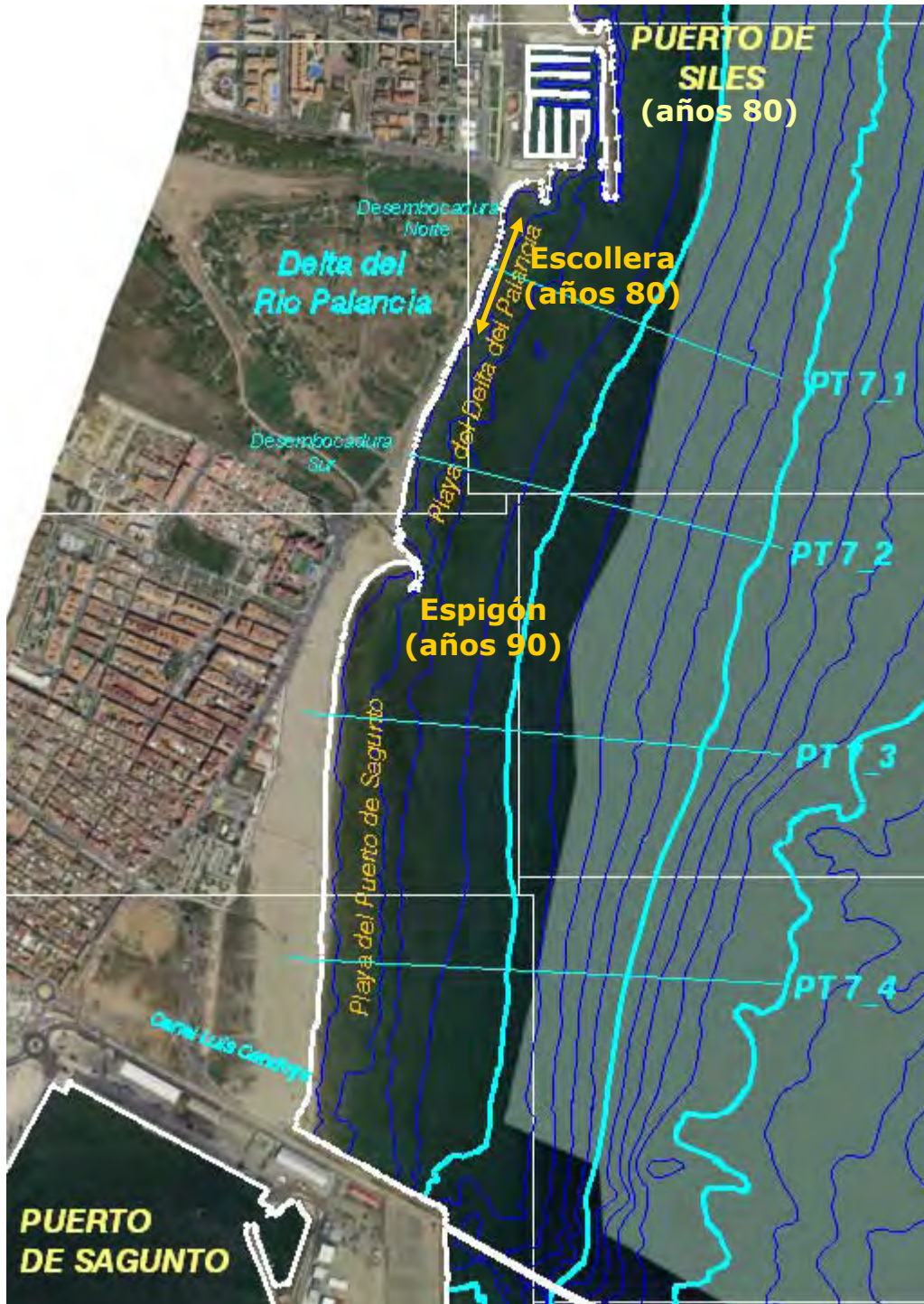


Figura 4.47. Localización de perfiles en el tramo 7.

**DOCUMENTO FINAL**

Por otra parte, en los perfiles PT 7\_3 y PT 7\_4 se observa como la velocidad de avance de la línea de costa experimenta un cambio en las tasas de acreción, pasando para el PT 7\_3 y PT 7\_4 de 10.8 m/año y 6.8 m/año en los años 70 (período de tiempo 1972-1977) a menos de 2 m/año en los 90 (período de tiempo 1995-2009), como se muestra en la tabla 4.22. Como causa de estos cambios merece la pena mencionar la construcción del Puerto de Siles, así como diferentes movimientos de sedimento que se llevaron a cabo en el tramo 7, que aún sabiendo que existieron se desconoce la fecha exacta, así como la cantidad de material puesta en juego.

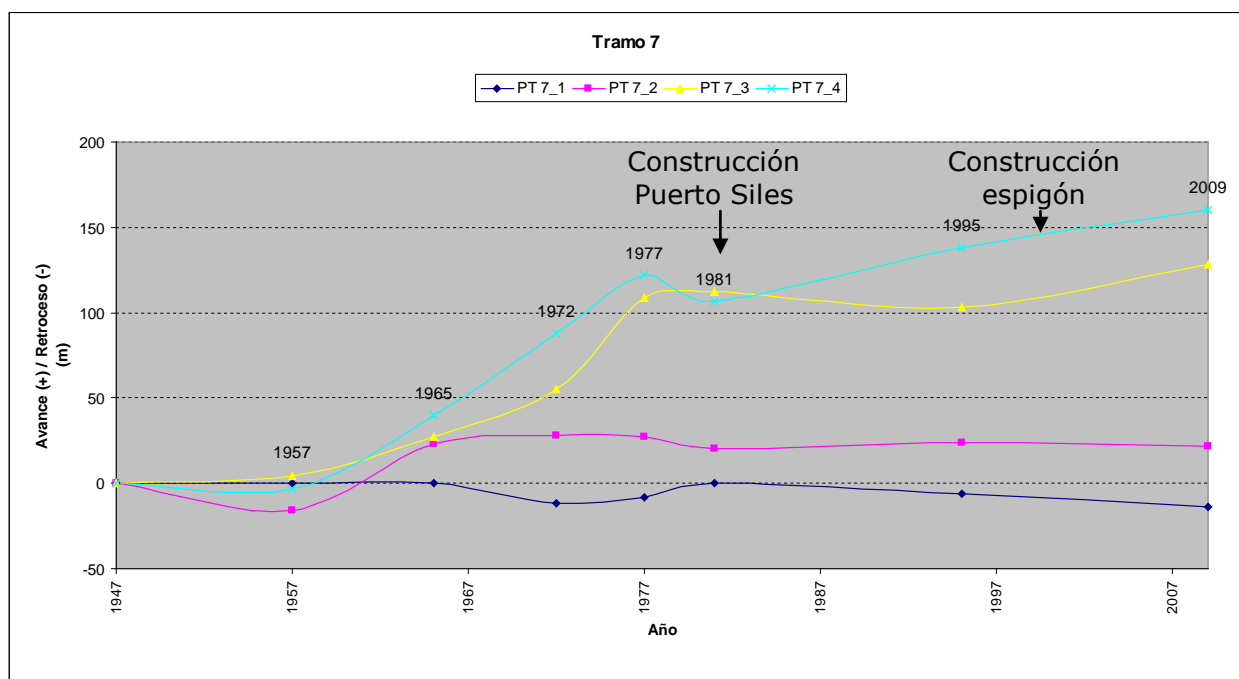


Figura 4.48. Evolución de la línea de costa en el tramo 7.

Perfil/año	1947-57	1957-65	1965-72	1972-77	1977-81	1981-95	1995-09	1947-2009
PT 7_1	0.0	0.0	-1.7	0.8	1.8	-0.4	-0.6	<b>-0.2</b>
PT 7_2	-1.6	4.9	0.7	-0.2	-1.6	0.3	-0.1	<b>0.4</b>
PT 7_3	0.4	2.9	4.0	10.8	0.7	-0.7	1.8	<b>2.1</b>
PT 7_4	-0.3	5.4	6.9	6.8	-3.3	2.3	1.6	<b>2.6</b>
<b>Promedio</b>	<b>-0.4</b>	<b>3.3</b>	<b>2.5</b>	<b>4.6</b>	<b>-0.6</b>	<b>0.4</b>	<b>0.7</b>	<b>1.2</b>

Tabla 4.22. Tasas de avance (+) o retroceso (-) de la línea de costa (m/año) en el tramo 7.

#### 4.3.1.4 Tasas de transporte históricas

En este apartado se lleva a cabo la estimación de las tasas de transporte históricas con base a las líneas de costa anteriormente indicadas. Como ya ha sido comentado

**DOCUMENTO FINAL**

previamente, este punto es fundamental para calibrar la formulación teórica que va a ser empleada para la determinación de las tasas de transporte actuales. Teniendo en mente cuál es el objetivo de este apartado, se han seleccionado las líneas de costa más adecuadas para la estimación del transporte histórico en la zona de estudio siguiendo una serie de condicionantes que se enumeran a continuación:

- Aunque se ha contado con una lista bastante amplia de aportaciones y extracciones de sedimento en el sistema analizado en diferentes localizaciones, se tiene constancia de que ha habido más movimientos de los cuales no se ha contado con información de la cantidad de material involucrado. Por consiguiente, el período analizado se ha elegido de modo tal que no incluya aportes o extracciones de sedimento en el tramo de costa comprendido entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto. Así pues, se ha analizado el listado de aportaciones y extracciones de sedimento en la zona de estudio con el que se ha contado para la realización de este trabajo (véase Capítulo 2 para ver el listado completo disponible), estableciéndose que la fecha más antigua en la que se realizó una aportación de sedimento en la zona es 1986. Por lo tanto, las líneas de costa a utilizar para la estimación del transporte histórico deben de ser anteriores a dicha fecha.
- El estimar las variaciones de sedimento a partir de la evolución de la línea de costa asume un perfil invariable en el tiempo, lo cual imposibilita ya de antemano el analizar la variación de sedimento por cambios estacionales. Por este motivo, es recomendable realizar la comparación entre líneas de costa de diferentes años pero que sean del mismo mes o, por lo menos, de la misma estación. Asimismo, tampoco interesa que la línea de costa que se utilice para analizar la variación de sedimento sea la existente después de un temporal, pues esto desvirtuaría todos los cálculos, por lo que a ser posible es recomendable que las líneas de costa seleccionadas correspondan a períodos de tiempo de menor severidad del oleaje, (como por ejemplo en verano).
- Como ya se indicó anteriormente las diferentes fuentes utilizadas para la determinación de la línea de costa no coinciden exactamente incluso para años coincidentes. Por esta razón es recomendable comparar entre sí líneas de costa de la misma fuente.
- Por último, debe existir sedimento susceptible de ser transportado. Así pues, en zonas donde la línea de costa haya alcanzado algún elemento, como por ejemplo, escollera, no es correcto estimar las tasas de transporte a partir de la variación de sedimento obtenida de las líneas de costa.

Considerando todos los condicionantes anteriores se estableció el período más adecuado para establecer las tasas históricas. Dicho período es el comprendido entre Agosto de 1965 y Junio de 1972. Por otra parte, como en este período de tiempo se dispuso la escollera de protección en el tramo 1, también se ha considerado oportuno determinar

**DOCUMENTO FINAL**

las variaciones de sedimento en los perfiles del tramo 1 para épocas anteriores previas a la construcción de la escollera de protección.

En la figura 4.49 se muestran las tasas históricas de transporte para todo el tramo de costa desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto establecidas con base a la variación de sedimento del período comprendido entre Agosto de 1965 y Junio de 1972 (valores positivos significa transporte de Norte a Sur y negativos de Sur a Norte). En dicha figura también se muestran las tasas para el tramo 1 del período de tiempo Febrero de 1947-Junio de 1956. Además, con el objeto de identificar la zona, también se indica en la figura el perfil en el que se ha calculado la tasa (véase la localización de los perfiles en las figuras 4.35, 4.37, 4.39, 4.41, 4.43, 4.45 y 4.47). Por otra parte, en las tablas 4.23 y 4.24 se presentan los valores de estas tasas, así como los valores medios para cada zona para ambos períodos de tiempo analizados (en concreto para el período más antiguo sólo se presenta para la zona 1 como ya fue comentado previamente).

Del estudio de las tasas históricas se puede establecer que en toda la zona analizada los transportes medios anuales llevaban sentido de Norte a Sur. Además, es relevante destacar (véase la figura 4.49) que los gradientes espaciales de estas tasas son muy importantes y son precisamente estos gradientes los que ocasionan zonas de erosión y zonas de acumulación de sedimento (en un apartado posterior se muestra en la figura 4.50 estos gradientes).

En la zona 1 (El Serradal) el transporte va en aumento desde el Puerto de Burriana hasta casi el final de la zona 2 (Nules), alcanzando valores medios espaciales en la zona 1 de 34085 m<sup>3</sup>/año en el período 1965-1972 (y de 60830 m<sup>3</sup>/año en el período 1947-1956 donde todavía no se había dispuesto la escollera) y de 121456 m<sup>3</sup>/año en la zona 2, siendo esta tasa, como se verá a continuación, la más elevada de toda la unidad fisiográfica analizada desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto. Por consiguiente, toda la zona 1 y hasta casi el final de la zona 2 se encontraba en estado de erosión.

En la zona 3 (Moncofar) el transporte empieza a disminuir (zona de acumulación de sedimento) hasta el perfil PT 3\_4, punto a partir del cual el transporte comienza de nuevo a aumentar (zona de erosión) hasta el primer perfil del tramo 4 (Chilches). En el tramo 3 el transporte medio espacial es de 90424 m<sup>3</sup>/año.

A partir del primer perfil del tramo 4 el transporte comienza a decrecer (zona de acumulación de sedimento) hasta el perfil PT 4\_4, punto a partir del cual el transporte aumenta (zona de erosión) hasta el segundo perfil del tramo 5 (perfil PT 5\_2). En el tramo 4 el transporte medio espacial es de 89719 m<sup>3</sup>/año. Así, por lo tanto, en este tramo el transporte medio es bastante similar al tramo anterior.

En el tramo 5 (Almenara), desde el perfil PT5\_2 hasta el final del tramo el transporte es decreciente (zona de acumulación de sedimento), con una tasa media espacial de 89549 m<sup>3</sup>/año. También en este tramo la tasa de transporte es bastante similar a los tramos 3 y 4.



**DOCUMENTO FINAL**

En todo el tramo 6 (Almardá hasta el Puerto de Siles) la tasa de transporte es decreciente (zona de acumulación de sedimento) siendo la tasa media espacial de 66944 m<sup>3</sup>/año, tasa inferior a la del tramo anterior.

Por último, en el tramo 7 (Sagunto) la tasa también es decreciente (zona de acumulación de sedimento) con valores medios espaciales en el tramo de 43379 m<sup>3</sup>/año.

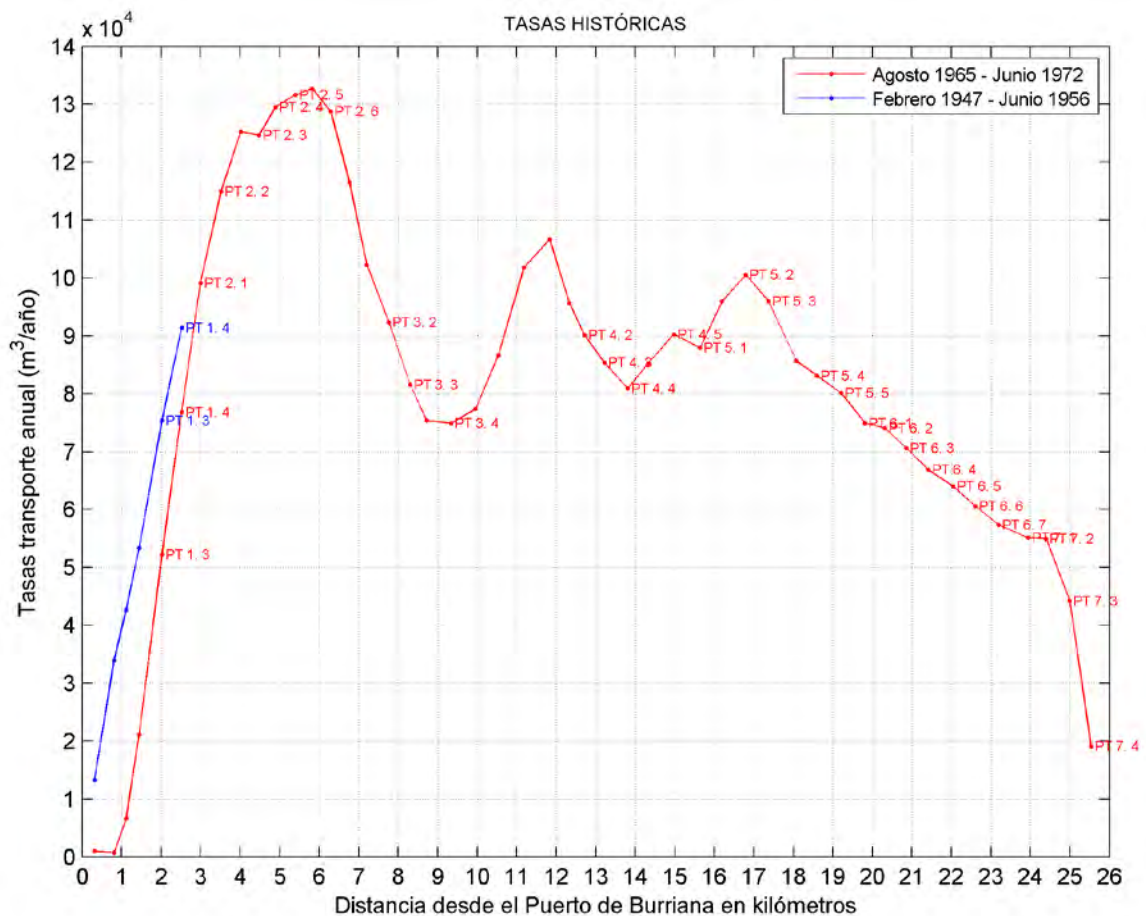


Figura 4.49. Tasas históricas (+ significa de Norte a Sur).

Transporte medio anual (m <sup>3</sup> /año)	
Perfil	Febrero 1947-Junio 1956
PT 1_1	33905
PT 1_2	42684
PT 1_3	75347
PT 1_4	91382
<b>Media Zona 1</b>	<b>60830</b>

Tabla 4.23. Tasas históricas período Febrero 1947-Junio 1956 (+ significa de Norte a Sur).

**DOCUMENTO FINAL**

<b>Transporte medio anual (m<sup>3</sup>/año)</b>	
<b>Perfil</b>	<b>Agosto 1965-Junio 1972</b>
PT 1_1	732
PT 1_2	6655
PT 1_3	52167
PT 1_4	76786
<b>Media Zona 1</b>	<b>34085</b>
PT 2_1	99087
PT 2_2	114948
PT 2_3	124648
PT 2_4	129601
PT 2_5	131652
PT 2_6	128801
<b>Media Zona 2</b>	<b>121456</b>
PT 3_1	116623
PT 3_2	92345
PT 3_3	81583
PT 3_4	74889
PT 3_5	86682
<b>Media Zona 3</b>	<b>90424</b>
PT 4_1	101812
PT 4_2	90183
PT 4_3	85449
PT 4_4	80883
PT 4_5	90270
<b>Media Zona 4</b>	<b>89719</b>
PT 5_1	87959
PT 5_2	100548
PT 5_3	95991
PT 5_4	83135
PT 5_5	80109
<b>Media Zona 5</b>	<b>89549</b>
PT 6_1	74953
PT 6_2	74089
PT 6_3	70645
PT 6_4	66857
PT 6_5	64022
PT 6_6	60631
PT 6_7	57410
<b>Media Zona 6</b>	<b>66944</b>
PT 7_1	55162
PT 7_2	55013
PT 7_3	44200
PT 7_4	19140
<b>Media Zona 7</b>	<b>43379</b>

Tabla 4.24. Tasas históricas período Agosto 1965-Junio 1972 (+ significa de Norte a Sur).

#### 4.3.1.5 Formulación de transporte sólido litoral

Los perfiles de playa en la zona de estudio corresponden a perfiles mixtos (véase comienzo de este capítulo en el que se describía estos perfiles), en los que existe una variabilidad importante tanto en la pendiente del perfil, como en el tamaño de grano del sedimento a diferentes profundidades, pasando de un tamaño de grano superior a 4 mm (gravas) en la línea de costa a tamaños de grano de hasta 0.1 mm (arena) a profundidades de 2 m. Además de esta variabilidad en profundidad, debido a la gran longitud de la zona objeto de estudio (del orden de los 26 kilómetros), también existe una variabilidad longitudinal del tipo de sedimento, pasando de materiales más gruesos (gravas) en la zona más al Norte adyacente al Puerto de Burriana a tamaños de grano más finos (arena) en la zona más al Sur próxima al Puerto de Sagunto.

Las peculiaridades previamente indicadas de la zona analizada tienen como consecuencia que la mayoría de las formulaciones usuales utilizadas para la determinación del transporte sólido litoral sean inadecuadas para ser aplicadas en el presente caso. Así por ejemplo, formulaciones como la de Kraus et al (1982) que tiene la ventaja de que el transporte sólido litoral se establece en función de las corrientes, no puede ser utilizada para el caso presente al haber sido establecida a partir de datos medidos en campo con  $D_{50}$  entre 0,18 y 0,5 mm, no incluyendo por lo tanto esta formulación la dependencia con el tamaño de grano. Por otra parte, formulaciones como la del CERC (1984) con el coeficiente  $K$  propuesto por Del Valle, Medina y Losada (1991) función del tamaño de grano  $D_{50}$ , tampoco fue diseñada para tamaños de grano superiores a 1.5 mm, resultando las tasas de transporte obtenidas con esta formulación inadecuadas para tamaños de grano superiores.

Así pues, siguiendo el estudio realizado por Van Wellen, Chadwick y Mason (2000) en el que efectúan un análisis comparativo de diferentes formulaciones para la determinación de las tasas de transporte longitudinal en playas con materiales gruesos, se ha considerado la formulación de Kamphuis et al (1986) como la más adecuada al caso presente.

Entre las ventajas de la formulación de Kamphuis et al (1986) destaca el acierto de la misma para ser aplicada en playas con un gran abanico en el tamaño del sedimento (pudiendo ser utilizada no sólo para gravas sino también para arenas), así como el hecho de que se incluya en la formulación la dependencia del transporte con la pendiente del fondo, lo cual como es lógico es de gran interés en el caso presente.

A continuación se presenta la formulación de Kamphuis et al (1986) utilizada en el presente trabajo para la determinación del transporte sólido litoral:

$$Q = 1.28 \frac{\tan \alpha H_{sb}^{\frac{7}{2}}}{\rho_s (1-n) D} \sin(2 \theta_b) \quad (6)$$

**DOCUMENTO FINAL**

donde:

$\tan \alpha$  es la pendiente del fondo en la zona de rompientes.

$H_{sb}$  es la altura de ola significativa del oleaje en rotura.

$\theta_b$  es el ángulo en rotura del oleaje con respecto a la orientación de la línea de costa.

$\rho_s$  es la densidad del sedimento.

$n$  es la porosidad del sedimento.

$D$  es el tamaño de grano medio del sedimento.

$Q$  es el transporte en  $m^3/s$ .

#### **4.3.1.6 Metodología para la determinación de las tasas de transporte potencial**

El método de cálculo utilizado para la determinación de las tasas de transporte potencial se resume en los siguientes pasos:

- El transporte se ha establecido en los 36 perfiles y a indicados en apartados anteriores (véase la localización de estos perfiles para cada una de las 7 zonas en las figuras 4.35, 4.37, 4.39, 4.41, 4.43, 4.45 y 4.47) que cubren la unidad fisiográfica analizada desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto con una separación media entre perfiles de aproximadamente 700 m.
- En cada uno de los perfiles establecidos es necesario determinar las características del oleaje en rotura, así como las corrientes, para los casos representativos seleccionados con la metodología MaxDiss y detallada en el Capítulo 3.
- Toda la base de datos de oleaje en profundidades indefinidas es transferida para cada perfil al punto de rotura utilizando la técnica RBF (*radial basis functions*), ya descrita en el Capítulo 3. Recuérdese (véase Capítulo 3) que en el presente estudio se ha empleado como base de datos en profundidades indefinidas los datos de reanálisis calibrados GOW 2.1 (*Global Ocean Waves 2.1*) del IH Cantabria y que dicho reanálisis comprende el período de tiempo entre el año 1989 y el año 2008 con una resolución temporal horaria y una resolución espacial de  $0.125^\circ$  a lo largo del Mediterráneo.
- Una vez determinadas las características en rotura para cada perfil para el período de tiempo 1989-2008, se calculan las tasas de transporte potencial longitudinal hora a hora con la formulación de Kamphuis et al (1986) indicada previamente.

#### **4.3.1.7 Determinación de las tasas medias anuales de transporte potencial longitudinal**

Siguiendo la metodología indicada en el apartado anterior se han establecido las tasas medias anuales de transporte potencial longitudinal en el período de tiempo 1990-2008 (para calcular las tasas medias anuales no se ha considerado el año 1989 ya que este año estaba incompleto al comenzar los datos del GOW 2.1 en febrero de 1989). Dichas tasas se han calculado con diferentes tamaños de grano que se indican a continuación:

- Con  $D_{50}=0.2$  mm. Estas tasas son de interés ya que permite realizar un análisis comparativo de las tasas actuales con las tasas históricas.
- Con  $D_{50}=0.35$  mm. Estas tasas son relevantes de cara al diseño de alternativas que se realizará en el capítulo siguiente ya que de acuerdo al documento "Caracterización sedimentológica y bionómica de zonas en aguas profundas de Valencia y Alicante" realizado por Intecsa-Inarsa en 2007 se dispone de un yacimiento del que se extraerá el sedimento en caso de necesidad para las alternativas diseñadas, el cual posee un volumen total de arena explotable de aproximadamente 90 millones de  $m^3$  y tiene un  $D_{50}$  medio de 0.35 mm.
- Con  $D_{50}$  variable. Estas tasas son fundamentales, ya que se han establecido con el sedimento real extraído de las diferentes campañas efectuadas con tal fin. En concreto para todos los perfiles del tramo 1, 2, 3 y 4 y para los perfiles PT 5\_1, PT 5\_2 y PT 5\_3 del tramo 5 el tamaño de grano del sedimento se ha extraído de la campaña de Noviembre de 2009. Para el resto de los perfiles del tramo 5, así como todos los perfiles de los tramos 6 y 7, la campaña más reciente con la que se ha contado para determinar el tamaño de grano ha sido la de Septiembre 2006. Además, para tener en cuenta la característica fundamental de los perfiles mixtos de la zona, en los que en la línea de orilla el tamaño de grano es más elevado (gravas) que en profundidad (a partir de 2 m de profundidad se encuentran por lo general arenas), se ha trabajado con un tamaño de grano variable en profundidad. En las tablas siguientes se muestran los tamaños de grano considerados a diferente profundidad para cada uno de los perfiles de las diferentes zonas. Tal y como puede observarse en dichas tablas, en algún perfil en la proximidad de la costa existe escollera (perfiles de la zona 1, perfiles PT 2\_1 y PT 2\_2 de la zona 2, perfil PT 5\_1 de la zona 5 y perfil PT 7\_1 de la zona 7).

<b>D50 (mm)</b>	<b>z=0 m</b>	<b>z=-2 m</b>
<b>PT 1_1</b>	ESCOLLERA	0.44
<b>PT 1_2</b>	ESCOLLERA	0.42
<b>PT 1_3</b>	ESCOLLERA	0.2
<b>PT 1_4</b>	ESCOLLERA	0.2

Tabla 4.25. Tamaños de grano considerados para los perfiles de la zona 1.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>D50 (mm)</b>	<b>z=0 m</b>	<b>z=-2 m</b>
<b>PT 2_1</b>	ESCOLLERA	0.43
<b>PT 2_2</b>	ESCOLLERA	0.43
<b>PT 2_3</b>	4.21	0.39
<b>PT 2_4</b>	4.36	0.38
<b>PT 2_5</b>	4.36	0.38
<b>PT 2_6</b>	1.13	0.19

Tabla 4.26. Tamaños de grano considerados para los perfiles de la zona 2.

<b>D50 (mm)</b>	<b>z=0 m</b>	<b>z=-2 m</b>
<b>PT 3_1</b>	3.6	0.1
<b>PT 3_2</b>	3.09	0.14
<b>PT 3_3</b>	0.93	0.16
<b>PT 3_4</b>	0.69	0.11
<b>PT 3_5</b>	0.64	0.15

Tabla 4.27. Tamaños de grano considerados para los perfiles de la zona 3.

<b>D50 (mm)</b>	<b>z=0 m</b>	<b>z=-2 m</b>
<b>PT 4_1</b>	0.64	0.2
<b>PT 4_2</b>	0.2	0.19
<b>PT 4_3</b>	0.2	0.19
<b>PT 4_4</b>	1.59	0.42
<b>PT 4_5</b>	1.25	0.41

Tabla 4.28. Tamaños de grano considerados para los perfiles de la zona 4.

<b>D50 (mm)</b>	<b>z=0 m</b>	<b>z=-2 m</b>
<b>PT 5_1</b>	ESCOLLERA	0.14
<b>PT 5_2</b>	0.95	0.46
<b>PT 5_3</b>	0.51	0.19
<b>PT 5_4</b>	1.62	0.12
<b>PT 5_5</b>	2.07	0.43

Tabla 4.29. Tamaños de grano considerados para los perfiles de la zona 5.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>D50 (mm)</b>	<b>z=0 m</b>	<b>z=-2 m</b>
<b>PT 6_1</b>	0.34	0.22
<b>PT 6_2</b>	0.34	0.16
<b>PT 6_3</b>	0.62	0.16
<b>PT 6_4</b>	0.28	0.21
<b>PT 6_5</b>	0.22	0.18
<b>PT 6_6</b>	0.22	0.15
<b>PT 6_7</b>	0.19	0.2

Tabla 4.30. Tamaños de grano considerados para los perfiles de la zona 6.

<b>D50 (mm)</b>	<b>z=0 m</b>	<b>z=-2 m</b>
<b>PT 7_1</b>	ESCOLLERA	0.17
<b>PT 7_2</b>	0.21	0.14
<b>PT 7_3</b>	0.26	0.16
<b>PT 7_4</b>	0.21	0.19

Tabla 4.31. Tamaños de grano considerados para los perfiles de la zona 7.

**4.3.1.8 Tasas actuales medias anuales de transporte potencial longitudinal con  $D_{50}=0.2$  mm y  $D_{50}=0.35$  mm**

En este apartado se establecen las tasas actuales medias anuales de transporte potencial longitudinal para los primeros casos indicados en el apartado anterior, esto es, para un tamaño de grano de 0.2 mm y de 0.35 mm.

En este punto merece la pena recalcar lo ya comentado de que, aunque la dinámica marina en la zona de estudio ha sido establecida con una resolución de 10 m (véase Capítulo 3), debido a la gran extensión de la zona analizada (26 kilómetros), el estudio de transporte sólido litoral se ha llevado a cabo considerando los 36 perfiles transversales indicados, los cuales se encuentran separados entre sí una distancia media del orden del kilómetro. Dichos perfiles son representativos de las condiciones de transporte medias espaciales de la zona en la que se ubican pero no reproducen (ni tampoco era esa la intención) las condiciones puntuales de determinadas áreas. Por lo tanto, de cara a la interpretación de los resultados que se muestran a continuación se debe tener en cuenta que son acordes con la escala espacial previamente indicada.

En la parte superior de la figura 4.50 se presentan las tasas actuales medias anuales en el período de tiempo comprendido entre 1990 y 2008 para los 36 perfiles considerados en el cálculo del transporte, tanto para el caso del tamaño de grano de 0.2 mm como para el caso de 0.35 mm. Asimismo y con carácter comparativo, en dicha figura también

**DOCUMENTO FINAL**

se muestran las tasas históricas ya indicadas en apartados previos. Tal y como era lógico de esperar, las tasas medias actuales son más pequeñas que las correspondientes tasas históricas, a excepción de los perfiles PT 5\_1 y PT 7\_1. Esto concuerda con el hecho de que en la actualidad en estos dos perfiles debido a las tasas elevadas de transporte ha sido necesario la disposición de una escollera de protección.

Por otra parte, también se puede observar que, aunque a la vista de la parte superior de la figura 4.50 se pudiera pensar que las tasas históricas en la zona 1 son menores que las tasas actuales medias en dicha zona, tal y como ya se ha comentado en el correspondiente apartado, la escollera realizada entre 1965 y 1973 en la zona 1 tiene como consecuencia que la estimación de las tasas históricas en esta zona a partir de las líneas de costa no sea adecuada (por eso en el apartado de tasas históricas también se calculó estas tasas para períodos de tiempo previos).

Asimismo, de la gráfica superior de la figura 4.50 se puede destacar algunos perfiles en los que las tasas de transporte actuales se han reducido considerablemente con respecto a la situación del pasado. Estos perfiles son: por una parte el perfil PT 4\_1 y por otra los perfiles PT 6\_5, PT 6\_6 y PT 6\_7. Con respecto al perfil PT 4\_1, debe tenerse presente que la configuración de la zona en la que se ubica este perfil ha cambiado notablemente con respecto al pasado, ya que en la actualidad se han dispuesto una serie de estructuras en la zona que tienen como consecuencia que la orientación del tramo de costa analizado se encuentre más próximo a la dirección del flujo medio de energía. En cuanto a los perfiles PT 6\_5 a PT 6\_7, ubicados en la zona adyacente al Puerto de Siles, la configuración de la zona también ha cambiado considerablemente por la realización del Puerto de Siles, siendo la orientación actual de este tramo de costa sensiblemente similar a la correspondiente dirección del flujo medio de energía.

En la parte inferior de la figura 4.50 se presentan los gradientes espaciales de las tasas potenciales medias anuales, tanto para el caso de tamaño de grano de 0.2 mm, como para el caso de tamaño de grano de 0.35 mm (recuérdese que son precisamente estos gradientes los que ocasionan zonas de erosión y zonas de acumulación de sedimento). Asimismo, y con carácter comparativo también se presentan los gradientes históricos (Agosto 1965-Junio 1972). Téngase presente que un valor positivo del gradiente significa pérdida de sedimento y un gradiente negativo ganancia del mismo.

A la hora de comparar los gradientes que se presentan en la parte inferior de la figura 4.50, lo primero que se debe de recalcar es que la situación actual y la situación pasada no pueden ser estrictamente comparadas ya que existen una serie de estructuras que no existían en el pasado (diques exentos, espigones e incluso el Puerto de Siles, entre otros elementos). Asimismo, también merece la pena comentar que en este apartado no se ha tenido en cuenta a la hora de calcular las tasas la posible existencia de escollera en determinados puntos. Esto último tiene como consecuencia que en determinadas zonas los gradientes espaciales del transporte tengan un valor más elevado que el que cabe esperar a lo que se puede considerar la existencia de la escollera (véase por ejemplo la zona de transición entre el perfil PT 7\_1 y el perfil PT 7\_2 en la parte inferior de la figura 4.50).



**DOCUMENTO FINAL**

Teniendo en cuenta los anteriores puntos, se pueden destacar los siguientes principales rasgos en cuanto a los gradientes espaciales de las tasas:

- En la zona adyacente al Puerto de Burriana (zona 1) los gradientes espaciales de las tasas históricas eran más elevados que los actuales. Así pues, en el pasado la tasa de erosión de la costa en esta zona era mayor.
- La zona 2 ( Nules) en el pasado se encontraba en erosión, siendo los gradientes espaciales históricos en esta zona de mayor magnitud que los de la actualidad. En la actualidad en esta zona en un tramo hay erosión y en otro acumulación, pero de una menor importancia que en el pasado ( gradientes espaciales menores).
- En la zona 3 (Moncofar), a excepción del tramo de transición entre el perfil PT 3\_5 y el PT 4\_1, en la que en la actualidad se observa un gradiente espacial más elevado (este gradiente particular está asociado a la construcción de un dique exento en este punto que genera acumulación de sedimento), en el resto del tramo los gradientes espaciales pasados eran mayores. El tramo 3 en el pasado tenía un primer tramo en estado de acumulación de sedimento y un segundo tramo en estado de erosión. En el presente este tramo se encuentra en estado acumulativo pero de una menor importancia, a excepción del tramo de costa con el dique exento ya indicado.
- En la zona 4 (Chilches), a excepción del tramo de transición entre el perfil PT 4\_5 y el PT 5\_1, en la que en la actualidad el gradiente espacial es más elevado (este gradiente particular está asociado a la existencia en la actualidad de la Gola de La Llosa), en el resto del tramo los gradientes espaciales pasados y presentes son similares pero con una diferencia en cuanto a la tendencia, que en el caso pasado era acumulativa y en el caso presente erosiva (en este punto es importante tener en cuenta la diferencia pasado-actualidad en cuanto a la configuración de la costa en este tramo en el que se han construido diversas estructuras: diques exentos, espigones).
- En la zona 5 (Almenara) los gradientes espaciales actuales son ligeramente más elevados que los que existían en el pasado y con tendencia acumulativa.
- En la zona 6 (Almardá hasta Puerto de Siles) los gradientes espaciales actuales son más elevados que los que existían en el pasado y con tendencia algo erosiva en el primer tramo y bastante acumulativa en el segundo tramo. En este punto también es importante destacar la presencia en la actualidad del Puerto de Siles.
- Por último en la zona 7 (Sagunto), a excepción del tramo de transición entre el perfil PT 7\_1 y el PT 7\_2 (en la realidad hoy en día existe una escollera de protección por lo que los gradientes son menores), en la actualidad los gradientes espaciales son menores. Esto es lógico, ya que aunque tanto en el pasado como

**DOCUMENTO FINAL**

en el presente la tendencia de este tramo es acumulativa, sin embargo en el presente es de mucha menor magnitud al estar este tramo saturado de arena y con orientación de la costa cercana a la del flujo medio de energía.

Con el objetivo de visualizar la zona de estudio al completo, en la figura 4.51 se muestra la unidad fisiográfica analizada desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto, localizándose los 36 perfiles considerados para el cálculo del transporte e indicándose los valores de las tasas actuales medias anuales en determinados perfiles representativos, tanto para el caso del tamaño de grano de 0.2 mm, como para el tamaño de grano de 0.35 mm. Asimismo, en las tablas 4.32 a 4.38 se indican estas tasas actuales medias anuales pero para todos los perfiles (los 36), indicándose también los valores medios espaciales de dichas tasas para cada zona (recuérdese que tasas positivas significan transporte de Norte a Sur y tasas negativas transporte de Sur a Norte).

En la zona 1 (El Serradal) el transporte crece (zona de erosión) a medida que se avanza del Puerto de Burriana hacia el Sur para ambos valores de tamaño de grano, con un valor medio espacial en el tramo 1 de la tasa media anual de 65858 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.2 mm y de 37633 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.35 mm.

DOCUMENTO FINAL

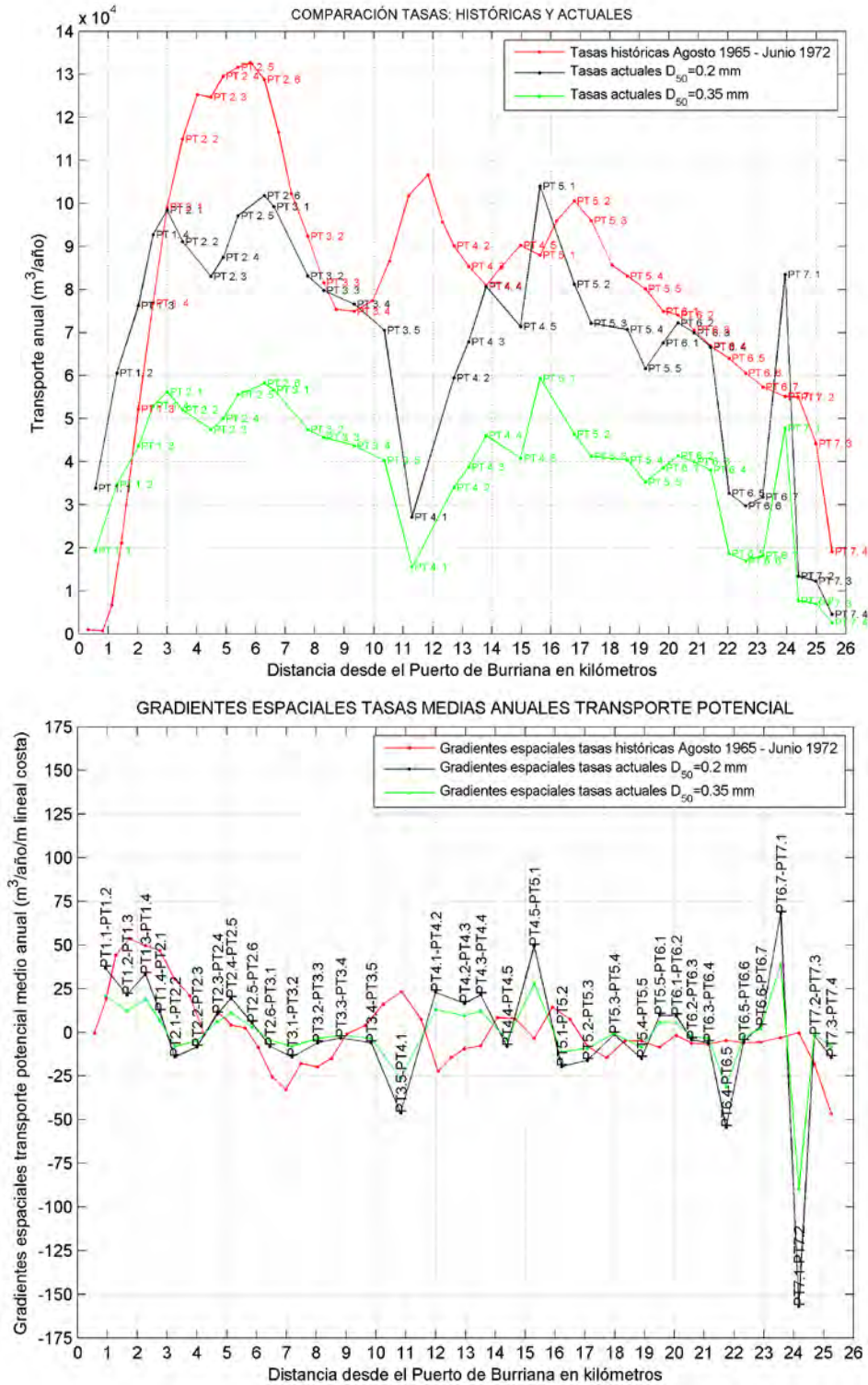


Figura 4.50. En la parte superior comparación tasas medias anuales históricas y actuales con tamaño de grano de 0.2 mm y de 0.35 mm (+ significa de Norte a Sur). En la parte inferior gradientes espaciales de las anteriores tasas (+ significa pérdida de sedimento).

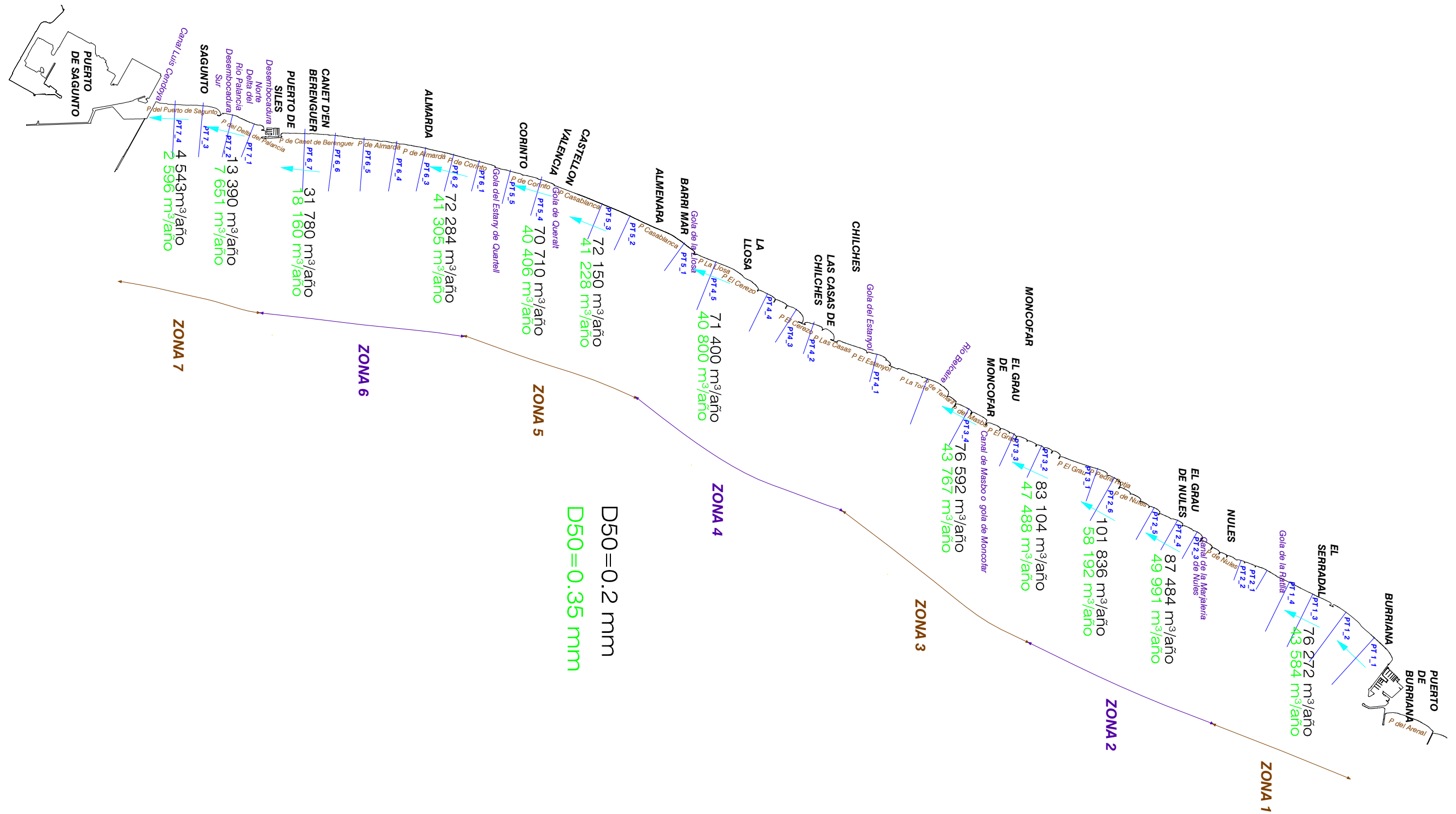


Figura 4.51. Tasas actuales medias anuales con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm. Las tasas de transporte corresponden a los perfiles indicados pero no son representativas de la zona.

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

En la zona 2 (Nules) el transporte decrece hasta casi la mitad del tramo, punto a partir del cual crece hasta finalizar dicho tramo. Las tasas medias espaciales de las tasas medias anuales en este tramo son de 93170 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.2 mm y de 53240 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.35 mm. Por consiguiente, en este tramo las tasas medias espaciales son más elevadas que las existentes en el tramo 1 (recuérdese que esto también ocurría para las tasas históricas).

En la zona 3 (Moncofar) los transportes son decrecientes en todo el tramo (zona de acumulación de sedimento), con valores de las tasas medias espaciales de las tasas medias anuales en este tramo de 81844 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.2 mm y de 46768 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.35 mm. Las tasas medias espaciales de este tramo son bastante similares a las del tramo anterior, aunque ligeramente inferiores.

En el primer perfil de la zona 4 (Chilches) se adoptan valores mínimos de la tasa de transporte. A partir de este perfil el transporte aumenta (zona de erosión) hasta el perfil PT 4\_4, reduciéndose la tasa en el perfil PT 4\_5 ubicado al final del tramo. Los valores medios espaciales de las tasas medias anuales en esta zona son de 61308 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.2 mm y de 35033 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.35 mm. Tal y como se observó en esta zona las tasas son más pequeñas que en la zona anterior.

En la zona 5 (Almenara) los transportes son decrecientes en todo el tramo (zona de acumulación de sedimento), alcanzando valores máximos en el primer perfil del tramo PT 5\_1. Los valores medios espaciales de las tasas medias anuales en esta zona son de 77933 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.2 mm y de 44533 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.35 mm. En esta zona las tasas son superiores que en el tramo 4.

En la zona 6 (Almardá hasta el Puerto de Siles) los transportes son decrecientes desde el perfil PT 6\_2 al PT 6\_6 (zona de acumulación de sedimento). En este tramo es importante destacar el gradiente espacial de la tasa de transporte que se produce entre el perfil PT 6\_4 y el PT 6\_5, pudiéndose definir dos zonas, una primera zona que va del PT 6\_1 al PT 6\_4 con un valor medio espacial de las tasas medias anuales de 69101 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.2 mm y de 39486 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.35 mm y una segunda zona que va del PT 6\_5 al PT 6\_7 con un valor medio espacial de las tasas medias anuales de 31397 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.2 mm y de 17941 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.35 mm. Como puede observarse, las tasas para ambas zonas son inferiores a las del tramo anterior.

Por último, en la zona 7 (Sagunto) los transportes son también decrecientes en todo el tramo. Los valores medios espaciales de las tasas medias anuales en esta zona son de 28418 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.2 mm y de 16239 m<sup>3</sup>/año para el tamaño de grano de 0.35 mm. Téngase presente que las tasas medias espaciales de este tramo son incluso inferiores ya que el perfil PT 7\_1 tiene una tasa especialmente alta debido a

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

la configuración local de la costa justo para ese perfil, por lo que no se debiera tener en cuenta para obtener el valor medio espacial de este tramo.

<b>Tte potencial medio anual (m<sup>3</sup>/año)</b>		
<b>D50 (mm)</b>	<b>0.20</b>	<b>0.35</b>
<b>PT 1_1</b>	33798	19313
<b>PT 1_2</b>	60586	34620
<b>PT 1_3</b>	76272	43584
<b>PT 1_4</b>	92778	53016
<b>Media</b>	<b>65858</b>	<b>37633</b>

Tabla 4.32. Tasas actuales medias anuales en la zona 1 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

<b>Tte potencial medio anual (m<sup>3</sup>/año)</b>		
<b>D50 (mm)</b>	<b>0.20</b>	<b>0.35</b>
<b>PT 2_1</b>	98443	56253
<b>PT 2_2</b>	91103	52059
<b>PT 2_3</b>	83017	47438
<b>PT 2_4</b>	87484	49991
<b>PT 2_5</b>	97135	55506
<b>PT 2_6</b>	101836	58192
<b>Media</b>	<b>93170</b>	<b>53240</b>

Tabla 4.33. Tasas actuales medias anuales en la zona 2 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

<b>Tte potencial medio anual (m<sup>3</sup>/año)</b>		
<b>D50 (mm)</b>	<b>0.20</b>	<b>0.35</b>
<b>PT 3_1</b>	99193	56682
<b>PT 3_2</b>	83104	47488
<b>PT 3_3</b>	79809	45605
<b>PT 3_4</b>	76592	43767
<b>PT 3_5</b>	70521	40298
<b>Media</b>	<b>81844</b>	<b>46768</b>

Tabla 4.34. Tasas actuales medias anuales en la zona 3 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

<b>Tte potencial medio anual (m<sup>3</sup>/año)</b>		
<b>D50 (mm)</b>	<b>0.20</b>	<b>0.35</b>
<b>PT 4_1</b>	27098	15484
<b>PT 4_2</b>	59505	34003
<b>PT 4_3</b>	67891	38795
<b>PT 4_4</b>	80649	46085
<b>PT 4_5</b>	71400	40800
<b>Media</b>	<b>61308</b>	<b>35033</b>

Tabla 4.35. Tasas actuales medias anuales en la zona 4 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

DOCUMENTO PRELIMINAR

<b>Tte potencial medio anual (m3/año)</b>		
<b>D50 (mm)</b>	<b>0.20</b>	<b>0.35</b>
<b>PT 5_1</b>	103964	59408
<b>PT 5_2</b>	81223	46413
<b>PT 5_3</b>	72150	41228
<b>PT 5_4</b>	70710	40406
<b>PT 5_5</b>	61620	35211
<b>Media</b>	<b>77933</b>	<b>44533</b>

Tabla 4.36. Tasas actuales medias anuales en la zona 5 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

<b>Tte potencial medio anual (m3/año)</b>		
<b>D50 (mm)</b>	<b>0.20</b>	<b>0.35</b>
<b>PT 6_1</b>	67547	38598
<b>PT 6_2</b>	72284	41305
<b>PT 6_3</b>	69967	39981
<b>PT 6_4</b>	66606	38060
<b>PT 6_5</b>	32710	18692
<b>PT 6_6</b>	29702	16972
<b>PT 6_7</b>	31780	18160
<b>Media 1-4</b>	<b>69101</b>	<b>39486</b>
<b>Media 4-7</b>	<b>31397</b>	<b>17941</b>

Tabla 4.37. Tasas actuales medias anuales en la zona 6 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

<b>Tte potencial medio anual (m3/año)</b>		
<b>D50 (mm)</b>	<b>0.20</b>	<b>0.35</b>
<b>PT 7_1</b>	83490	47709
<b>PT 7_2</b>	13390	7651
<b>PT 7_3</b>	12249	6999
<b>PT 7_4</b>	4543	2596
<b>Media</b>	<b>28418</b>	<b>16239</b>

Tabla 4.38. Tasas actuales medias anuales en la zona 7 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

En las figuras 4.52 a 4.58 se muestran los valores ya comentados de las tasas medias anuales de transporte potencial para cada uno de los perfiles ubicados en cada una de las 7 zonas de la unidad fisiográfica analizada.

DOCUMENTO PRELIMINAR

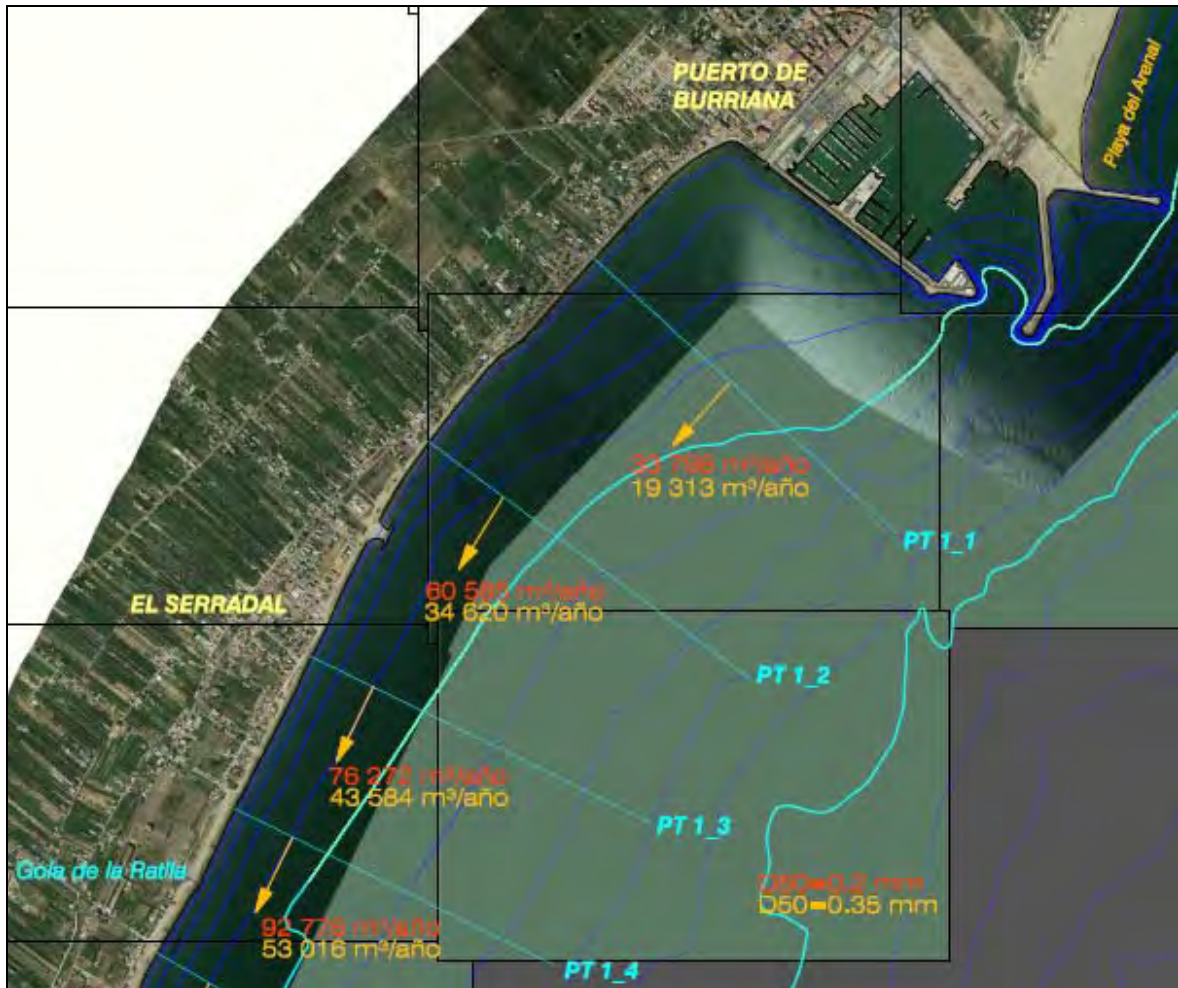


Figura 4.52. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 1 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.



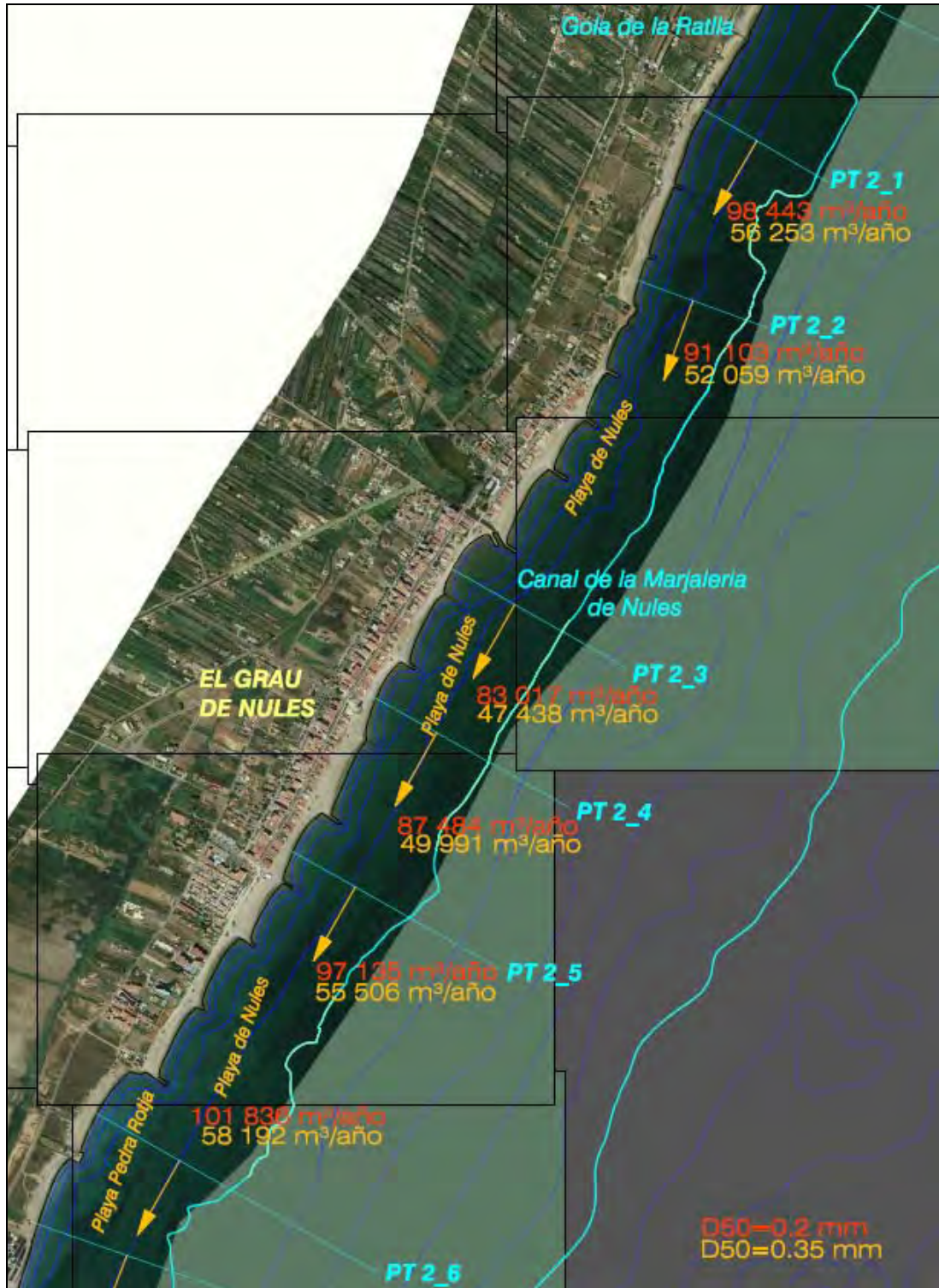


Figura 4.53. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 2 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

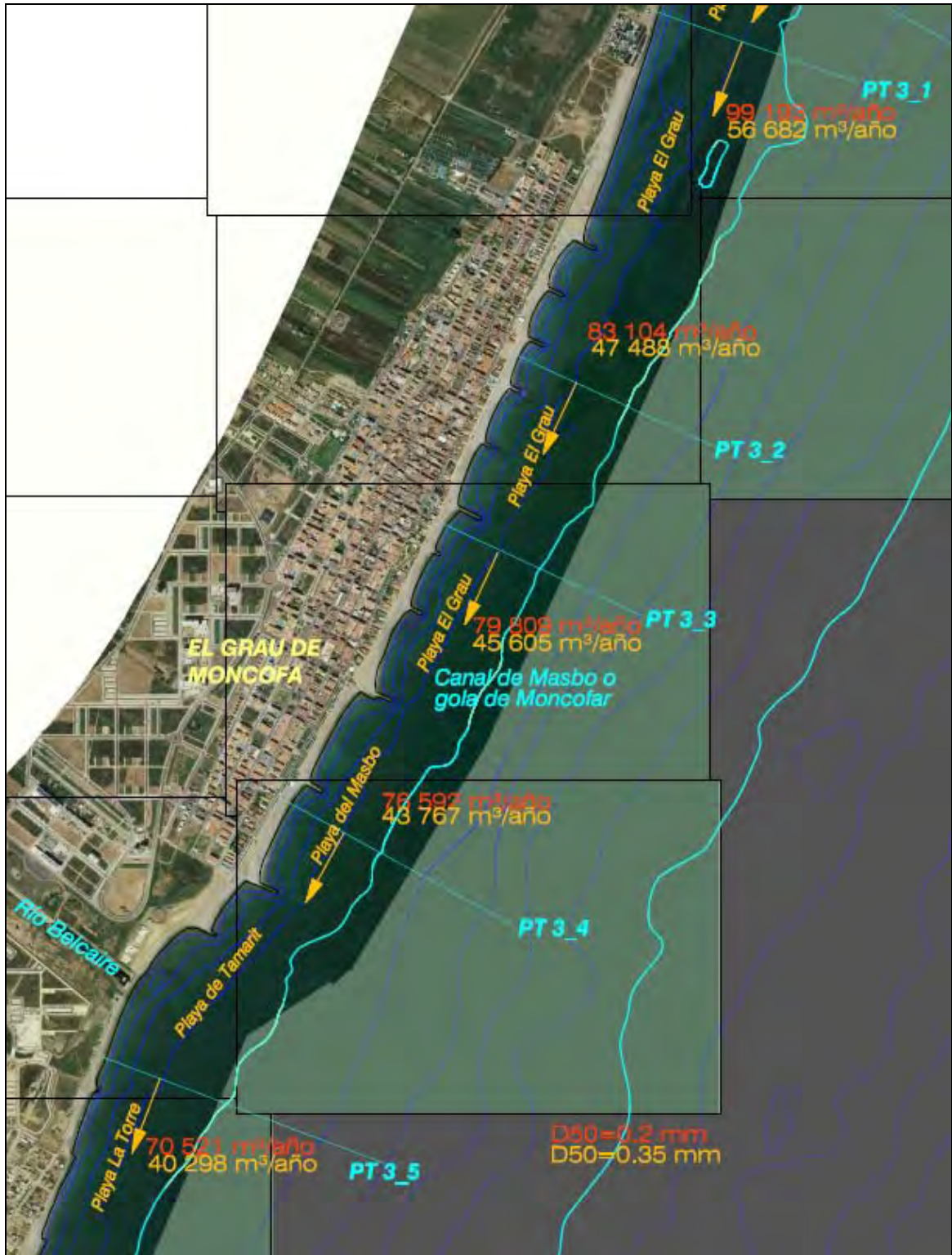


Figura 4.54. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 3 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

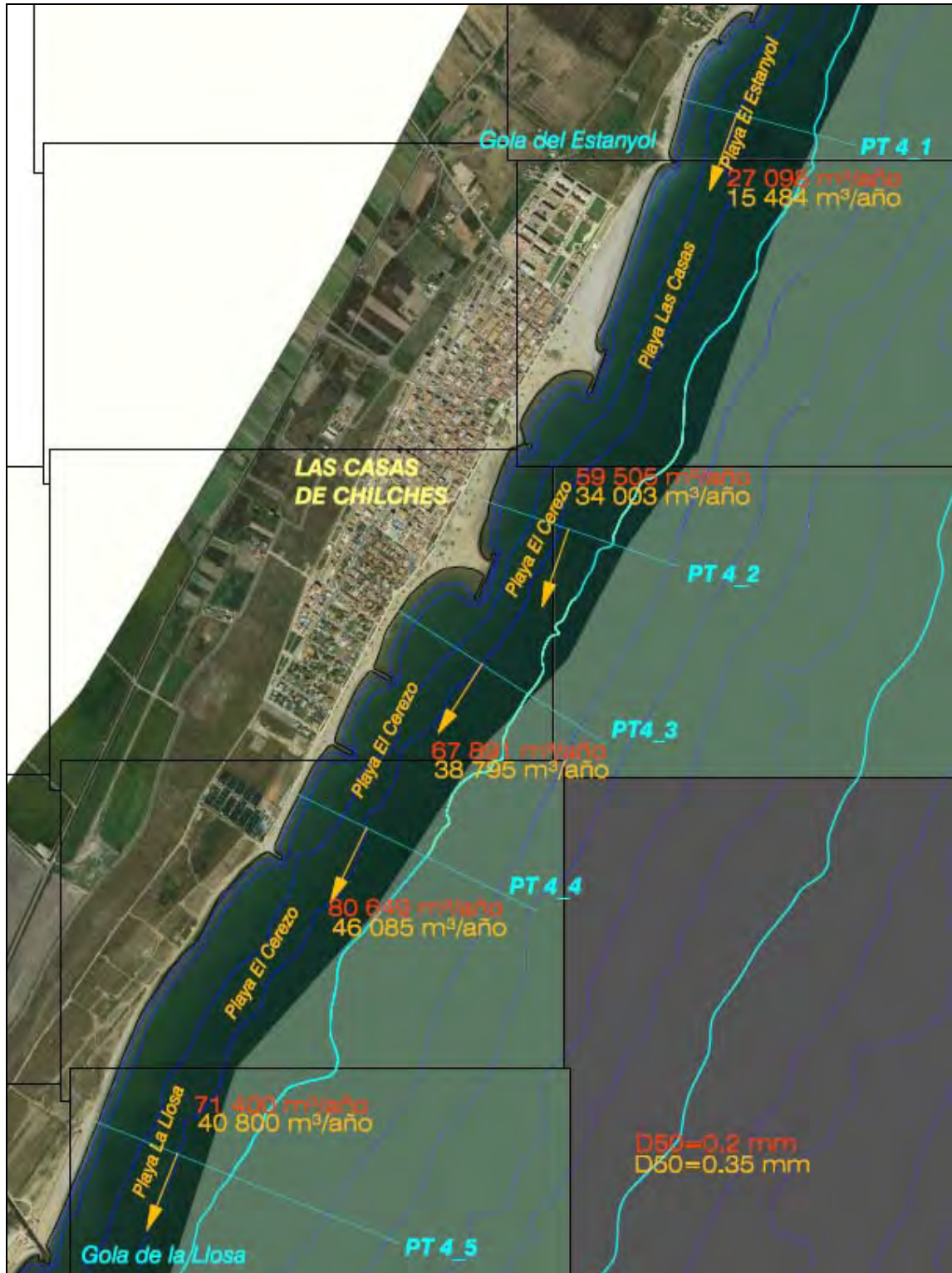


Figura 4.55. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 4 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

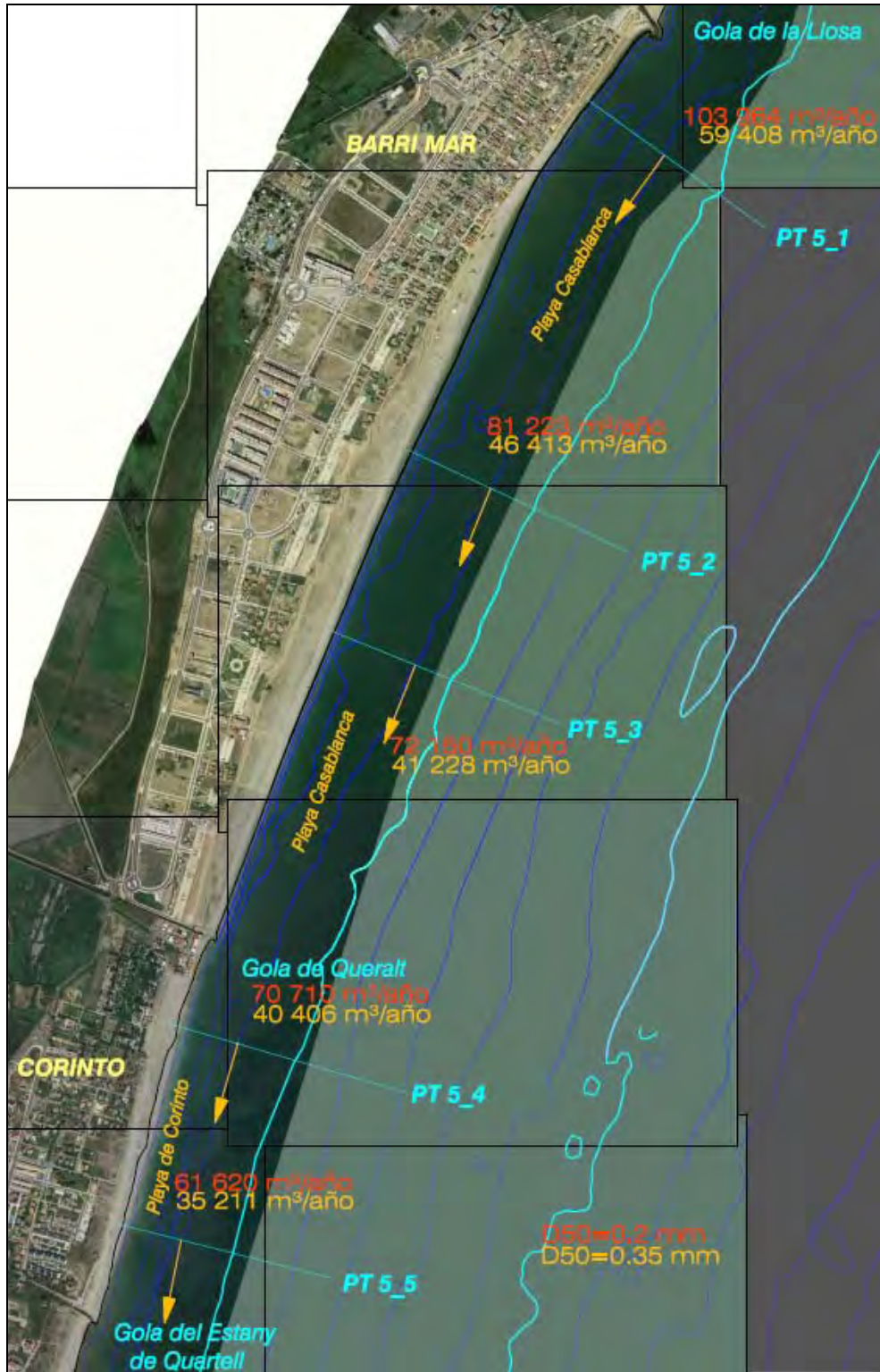


Figura 4.56. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 5 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

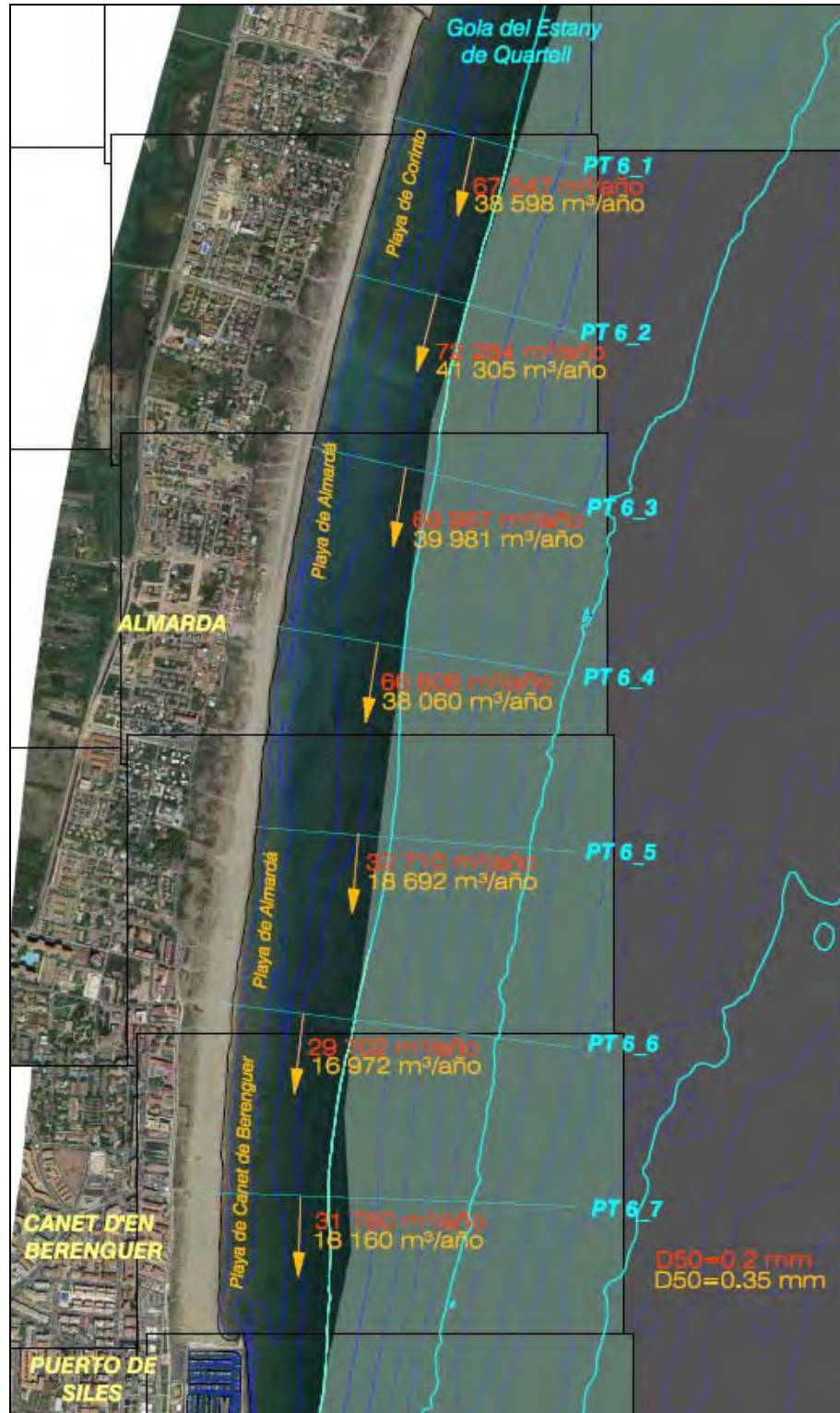


Figura 4.57. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 6 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

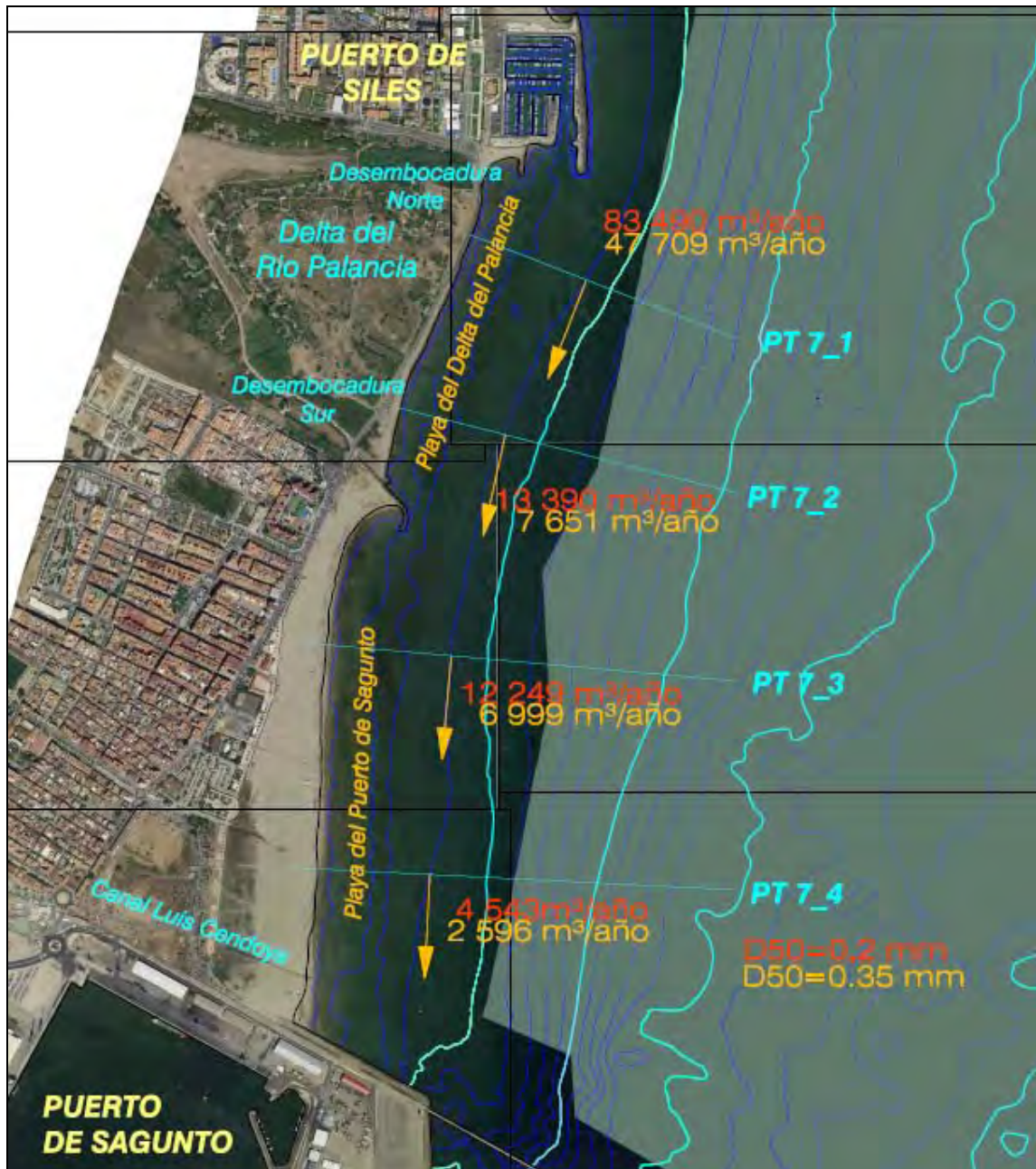


Figura 4.58. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 7 con tamaño de grano de 0.2 mm y 0.35 mm.

#### **4.3.1.9 Tasas actuales medias anuales de transporte potencial longitudinal con $D_{50}$ variable**

En este apartado se establecen las tasas actuales medias anuales de transporte potencial longitudinal para el tercer caso indicado en el apartado 4.3.1.7, esto es, para el tamaño de grano real existente en cada uno de los perfiles, el cual como ya fue indicado en repetidas ocasiones es un tamaño de grano variable en profundidad (véase el apartado 4.3.1.7 en el que se detalló el tamaño de grano utilizado a diferentes profundidades para los diferentes perfiles en los que se calcula el transporte).

Así, por lo tanto, estas tasas son fundamentales al calcularse sobre el perfil mixto existente. Las tasas se han calculado para dos situaciones, un primer caso en el que el sedimento existente a cota cero se extiende hasta la batimétrica de 2 m y un segundo caso en el que dicho material sólo se extiende hasta la batimétrica de 1 m. Por consiguiente, en los cálculos realizados, además de las tasas actuales medias anuales en todo el perfil, también se ha considerado oportuno separar el transporte existente en una profundidad inferior a 2 m o 1 m, según el caso (con sedimento tipo gravas en la mayoría de los perfiles a excepción de los de las zonas más al Sur) del que existe en una profundidad superior a 2 m o 1 m, según el caso (con sedimento tipo arenas).

En este punto de nuevo merece la pena recalcar lo ya comentado de que, aunque la dinámica marina en la zona de estudio ha sido establecida con una resolución de 10 m (véase Capítulo 3), debido a la gran extensión de la zona analizada (26 kilómetros), el estudio de transporte sólido litoral se ha llevado a cabo considerando los 36 perfiles transversales indicados, los cuales se encuentran separados entre sí una distancia media del orden del kilómetro. Dichos perfiles son representativos de las condiciones de transporte medias espaciales de la zona en la que se ubican pero no reproducen (ni tampoco era esa la intención) las condiciones puntuales de determinadas áreas. Por lo tanto, de cara a la interpretación de los resultados que se muestran a continuación se debe tener en cuenta que son acordes con la escala espacial previamente indicada.

#### **Caso de que el sedimento existente a cota cero se extienda hasta la batimétrica de 2 m**

De las dos situaciones indicadas previamente en este apartado se analiza la primera de ellas. En la parte superior de la figura 4.59 se presentan las tasas actuales medias anuales en el período de tiempo comprendido entre 1990 y 2008 para los 36 perfiles considerados en el cálculo del transporte. En esta figura, no sólo se muestran los valores de las tasas totales en el perfil completo, sino que también se puede diferenciar el transporte existente en una profundidad inferior a 2 m del que existe a una profundidad mayor, ya que la profundidad indicada separa zonas del perfil con tamaños de grano muy diferentes para la mayoría de los perfiles (excepto los perfiles de los tramos más al Sur).

En la parte inferior de la figura 4.59 se presentan los gradientes espaciales de las tasas potenciales medias anuales para el caso de perfil mixto con tamaño de grano variable,

DOCUMENTO PRELIMINAR

tanto los gradientes del transporte total, como los del transporte en cada una de las zonas (profundidad menor y mayor que 2 m). De nuevo recordar que un valor positivo del  $g$  radiente significa pérdida de sedimento y un  $g$  radiente negativo ganancia del mismo.

Merece la pena destacar que en la situación presente al incluir la variabilidad del tamaño de grano, tanto en profundidad, como longitudinalmente, se está contribuyendo al aumento de los gradientes espaciales de las tasas de transporte.

A partir de la figura 4.59 se pueden destacar los siguientes principales rasgos en cuanto a las tasas de transporte y a los gradientes espaciales de las mismas:

- En la zona adyacente al Puerto de Burriana (zona 1) como en la actualidad existe escollera los gradientes espaciales de transporte son nulos en profundidad menor que 2 m y despreciables a mayor profundidad.
- En la zona 2 (Nules), debido al gran tamaño del sedimento en línea de orilla (del orden de 4 mm), la mayor parte del transporte se produce en profundidad (a profundidad mayor que 2 m). Asimismo, los gradientes espaciales del transporte en profundidad son más elevados que los existentes en proximidad de la línea de costa (profundidad menor que 2 m) y tienen una tendencia erosiva en este tramo (con el consecuente cambio de la batimetría a profundidad mayor que 2 m).
- En la zona 3 (Moncofar), debido a que empieza a ser menor la variabilidad en profundidad del tamaño de grano, en algunos perfiles el principal transporte es en profundidad (PT 3\_1, PT 3\_2 y PT 3\_5) y en otros en proximidad de la línea de costa (PT 3\_3 y PT 3\_4). Por otra parte, los gradientes espaciales del transporte en profundidad son mayores que los que existen próximos a la línea de orilla. Otro aspecto interesante de mencionar es que las tendencias en este tramo suelen ser opuestas, así en el primer tramo la tendencia es erosiva en el transporte en línea de orilla y acumulativa en el transporte en profundidad y en el segundo tramo ocurre justo lo contrario, acumulativa en línea de orilla y erosiva en profundidad. Las tendencias en el transporte total en profundidad coinciden con las del transporte en profundidad.
- En la zona 4 (Chilches) ocurre como en el tramo anterior que, debido a que empieza a ser menor la variabilidad en profundidad del tamaño de grano, en algunos perfiles el principal transporte es en profundidad (PT 4\_1 y PT 4\_5) y en otros en proximidad de la línea de costa (PT 4\_2, PT 4\_3 y PT 4\_4). En este caso los gradientes espaciales del transporte en línea de costa y en profundidad son similares (el sedimento también tiene menos variabilidad en profundidad) y las tendencias también coinciden, en un primer tramo la tendencia es erosiva y en un segundo tramo es acumulativa.



DOCUMENTO PRELIMINAR

- En la zona 5 (Almenara) el principal transporte ocurre en profundidad para los perfiles PT 5\_1, PT 5\_2 y PT 5\_3, y en línea de orilla para los perfiles PT 5\_4 y PT 5\_5. Por otra parte, los gradientes espaciales del transporte en profundidad son más elevados que los existentes en línea de orilla, con el consecuente cambio de la batimetría a partir de 2 m de profundidad, con ganancia de sedimento, pérdida de sedimento y de nuevo ganancia a medida que se avanza de Norte a Sur en la presente zona.
- En la zona 6 (Almardá hasta Puerto de Siles) el transporte ocurre principalmente en profundidad menor que 2 m. Ahora bien, los gradientes espaciales del transporte en profundidad son de mayor importancia que los que ocurren en línea de costa (lo que implica variación del fondo a profundidad mayor que 2 m). En cuanto al transporte en profundidad existe una tendencia acumulativa, erosiva y de nuevo acumulativa a medida que se avanza de Norte a Sur en el tramo. En el transporte en línea de orilla la tendencia es acumulativa en un primer tramo y luego en un segundo tramo erosiva.
- Por último en la zona 7 (Sagunto) el transporte ocurre principalmente en profundidad, siendo los gradientes espaciales del transporte en esta zona de menor importancia que los existentes en el tramo comprendido entre el perfil PT 7\_1 y el PT 7\_2, en el que los gradientes en profundidad son considerables. En el resto del tramo los gradientes espaciales en profundidad son del mismo orden que los existentes en línea de orilla (profundidad menor que 2 m).

Con el objetivo de visualizar la zona de estudio al completo, en la figura 4.60 se muestra la unidad fisiográfica analizada desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto, localizándose los 36 perfiles considerados para el cálculo del transporte e indicándose los valores de las tasas actuales medias anuales en perfil mixto con tamaño de grano variable en determinados perfiles representativos. En esta figura se indican las correspondientes tasas existentes en una profundidad menor que 2 m (tasas en línea de orilla), las tasas en una profundidad mayor que 2 m (tasas en profundidad) y las tasas totales en todo el perfil mixto.

DOCUMENTO PRELIMINAR

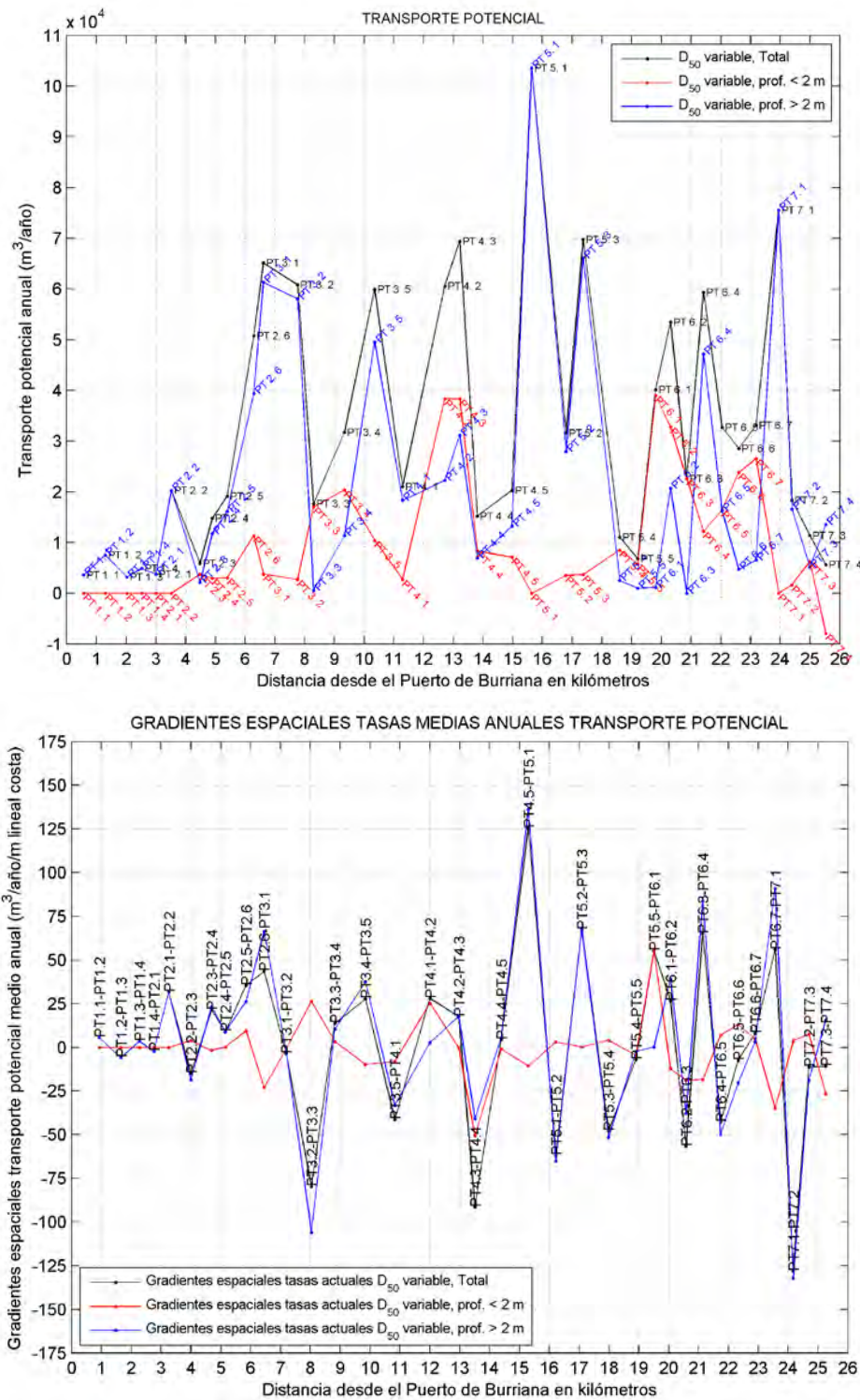


Figura 4.59. En la parte superior tasas actuales medias anuales con tamaño de grano variable en profundidad (+ significa de Norte a Sur). En la parte inferior gradientes espaciales de las anteriores tasas (+ significa pérdida de sedimento).

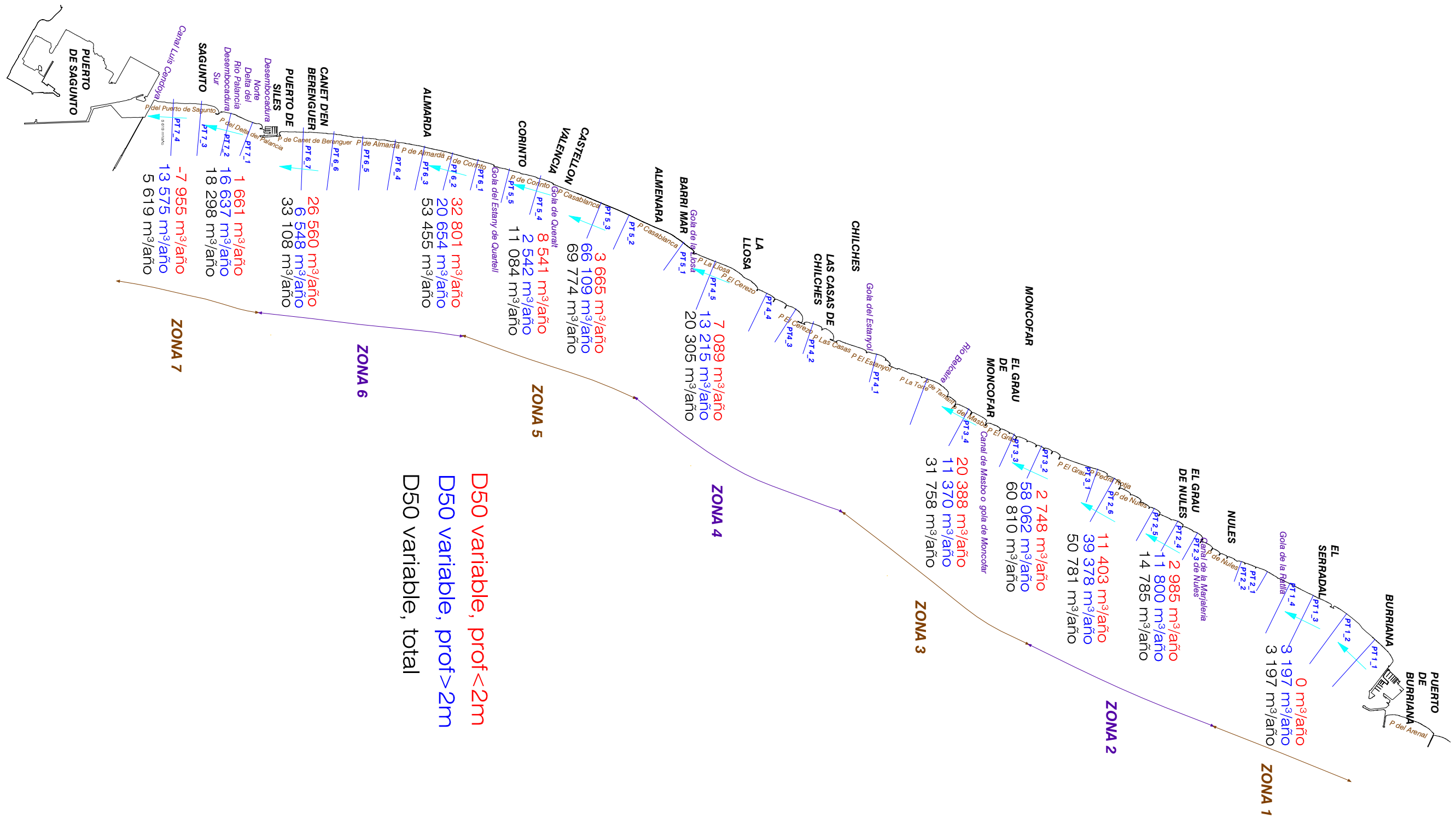


Figura 4.60. Tasas actuales medias anuales con tamaño de grano variable en perfil mixto. Las tasas de transporte corresponden a los perfiles indicados pero no son representativas de la zona.

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

En las tablas 4.39 a 4.45 se indican las tasas actuales medias anuales en perfil mixto con tamaño de grano variable pero para todos los perfiles (los 36), indicándose también los valores medios espaciales de dichas tasas para cada zona (recuérdese que tasas positivas significa transporte de Norte a Sur y tasas negativas transporte de Sur a Norte). En las tablas mencionadas se muestran no sólo los valores totales de las tasas en todo el perfil mixto sino también los correspondientes valores en profundidad menor que 2 m (tasas en línea de orilla) y los de profundidad mayor que 2 m (tasas en profundidad).

<b>Tte potencial medio anual (m3/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 2 m</b>	<b>Prof &gt; 2 m</b>
<b>PT 1_1</b>	3577	0	3577
<b>PT 1_2</b>	7569	0	7569
<b>PT 1_3</b>	3197	0	3197
<b>PT 1_4</b>	4889	0	4889
<b>Media</b>	<b>4808</b>	<b>0</b>	<b>4808</b>

Tabla 4.39. Tasas actuales medias anuales en la zona 1 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.

<b>Tte potencial medio anual (m3/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 2 m</b>	<b>Prof &gt; 2 m</b>
<b>PT 2_1</b>	3798	0	3798
<b>PT 2_2</b>	20259	0	20259
<b>PT 2_3</b>	5875	3747	2128
<b>PT 2_4</b>	14785	2985	11800
<b>PT 2_5</b>	19175	3050	16124
<b>PT 2_6</b>	50781	11403	39378
<b>Media 3 a 6</b>	<b>22654</b>	<b>5296</b>	<b>17358</b>

Tabla 4.40. Tasas actuales medias anuales en la zona 2 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.

<b>Tte potencial medio anual (m3/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 2 m</b>	<b>Prof &gt; 2 m</b>
<b>PT 3_1</b>	65123	3808	61316
<b>PT 3_2</b>	60810	2748	58062
<b>PT 3_3</b>	17649	17062	587
<b>PT 3_4</b>	31758	20388	11370
<b>PT 3_5</b>	59962	10428	49533
<b>Media</b>	<b>47060</b>	<b>10887</b>	<b>36174</b>

Tabla 4.41. Tasas actuales medias anuales en la zona 3 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.

## DOCUMENTO PRELIMINAR

<b>Tte potencial medio anual (m3/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 2 m</b>	<b>Prof &gt; 2 m</b>
<b>PT 4_1</b>	21055	2747	18308
<b>PT 4_2</b>	60618	38367	22251
<b>PT 4_3</b>	69448	38318	31130
<b>PT 4_4</b>	15242	8315	6927
<b>PT 4_5</b>	20305	7089	13215
<b>Media 1, 4 y 5</b>	<b>18867</b>	<b>6050</b>	<b>12817</b>

Tabla 4.42. Tasas actuales medias anuales en la zona 4 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.

<b>Tte potencial medio anual (m3/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 2 m</b>	<b>Prof &gt; 2 m</b>
<b>PT 5_1</b>	103567	0	103567
<b>PT 5_2</b>	31543	3540	28003
<b>PT 5_3</b>	69774	3665	66109
<b>PT 5_4</b>	11084	8541	2542
<b>PT 5_5</b>	6763	5741	1022
<b>Media 2 a 5</b>	<b>29791</b>	<b>5372</b>	<b>24419</b>

Tabla 4.43. Tasas actuales medias anuales en la zona 5 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.

<b>Tte potencial medio anual (m3/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 2 m</b>	<b>Prof &gt; 2 m</b>
<b>PT 6_1</b>	40132	39002	1130
<b>PT 6_2</b>	53455	32801	20654
<b>PT 6_3</b>	22578	22567	11
<b>PT 6_4</b>	59373	12184	47188
<b>PT 6_5</b>	32692	16438	16254
<b>PT 6_6</b>	28508	23774	4734
<b>PT 6_7</b>	33108	26560	6548
<b>Media 1-4</b>	<b>43884</b>	<b>26639</b>	<b>17246</b>
<b>Media 5-7</b>	<b>31436</b>	<b>22257</b>	<b>9179</b>

Tabla 4.44. Tasas actuales medias anuales en la zona 6 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.

<b>Tte potencial medio anual (m3/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 2 m</b>	<b>Prof &gt; 2 m</b>
<b>PT 7_1</b>	75531	0	75531
<b>PT 7_2</b>	18298	1661	16637
<b>PT 7_3</b>	11413	6237	5176
<b>PT 7_4</b>	5619	-7955	13575
<b>Media 2 a 4</b>	<b>11777</b>	<b>-19</b>	<b>11796</b>

Tabla 4.45. Tasas actuales medias anuales en la zona 7 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

En la zona 1 (El Serradal) debido a la escollera existente no existe transporte en línea de orilla y todo el transporte existente es en profundidad. Dicho transporte tiene un valor medio espacial en este tramo 1 de 4808 m<sup>3</sup>/año.

En la zona 2 (Nules), en los dos primeros perfiles del tramo ocurre exactamente lo mismo que en los perfiles de la zona 1, es decir, todo el transporte ocurre en profundidad debido a la existencia de una escollera de protección. En el resto de los perfiles de este tramo la tasa media anual media espacial en profundidad menor que 2 m es de 5296 m<sup>3</sup>/año y en profundidad mayor que 2 m es de 17358 m<sup>3</sup>/año. Otras tasas interesantes a resaltar es la tasa más elevada del transporte en línea de costa que es de 11403 m<sup>3</sup>/año y la tasa más elevada del transporte en profundidad que es de 39378 m<sup>3</sup>/año.

En la zona 3 (Moncofar) los dos primeros perfiles tienen un tamaño de grano en línea de orilla del orden de los 3 mm, mientras que en los tres últimos perfiles el tamaño de grano oscila entre los 0.93 mm y los 0.64 mm, esto tiene como consecuencia que el transporte en línea de orilla sea más reducido en los dos primeros perfiles que en el resto de perfiles del tramo, con una tasa media anual entre 3000-4000 m<sup>3</sup>/año para estos dos primeros perfiles y entre 10000-20000 m<sup>3</sup>/año para los tres últimos. Por otra parte, la tasa media anual media espacial en profundidad es de 36174 m<sup>3</sup>/año, con valores máximos de dicha tasa de 61316 m<sup>3</sup>/año.

En la zona 4 (Chilches) básicamente se pueden diferenciar los perfiles PT 4\_2 y PT 4\_3 del resto de perfiles del tramo. Los dos perfiles previamente mencionados poseen un sedimento muy diferente al del resto de perfiles de tramo, siendo el sedimento de tipo arena tanto en línea de orilla como en profundidad con un tamaño de grano de 0.2 mm. Esto tiene como consecuencia que las tasas en estos dos perfiles, tanto en línea de orilla como en profundidad, sean más elevadas que en el resto de los perfiles del tramo, siendo de 38367-38318 m<sup>3</sup>/año en línea de orilla y de 22251-31130 m<sup>3</sup>/año en profundidad. En el resto de perfiles de este tramo las tasas medias anuales medias espaciales son de 6050 m<sup>3</sup>/año en profundidad menor que 2 m (con tasas máximas de 8315 m<sup>3</sup>/año) y de 12817 m<sup>3</sup>/año en profundidad mayor que 2 m (con tasas máximas de 31130 m<sup>3</sup>/año).

En la zona 5 (Almenara) existe un primer perfil en el que debido a la configuración particular de esta zona la tasa de transporte existente era elevada, lo cual motivó la disposición de una escollera de protección en dicho perfil. Por esta razón en este perfil sólo existe transporte en profundidad con una tasa bastante elevada de 103567 m<sup>3</sup>/año. En el resto de perfiles del tramo, la tasa media anual media espacial de transporte en línea de orilla es de 5372 m<sup>3</sup>/año con un valor máximo de esta tasa de 8541 m<sup>3</sup>/año y la correspondiente tasa media anual media espacial de transporte en profundidad es de 24419 m<sup>3</sup>/año con un valor máximo de esta tasa de 66109 m<sup>3</sup>/año.

En la zona 6 (Almardá hasta el Puerto de Siles) se pueden distinguir dos zonas. Un primer tramo, que va del PT 6\_1 al PT 6\_4, con un valor de la tasa media anual media espacial de 26639 m<sup>3</sup>/año en profundidad menor de 2 m (con valores máximos de dicha

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

tasa de 39002 m<sup>3</sup>/año) y de 17246 m<sup>3</sup>/año en profundidad mayor que 2 m (con valores máximos de dicha tasa de 47188 m<sup>3</sup>/año). Un segundo tramo, que va del PT 6\_5 al PT 6\_7, con un valor de la tasa media anual media espacial de 22257 m<sup>3</sup>/año en profundidad menor de 2 m (con valores máximos de dicha tasa de 26560 m<sup>3</sup>/año) y de 9179 m<sup>3</sup>/año en profundidad mayor que 2 m (con valores máximos de dicha tasa de 16254 m<sup>3</sup>/año).

Por último, en la zona 7 (Sagunto) existe un primer perfil en el que debido a la tasa elevada de transporte existente se dispuso una escollera de protección en el mismo. Por este motivo en este perfil sólo existe transporte en profundidad con una tasa de considerable importancia (75531 m<sup>3</sup>/año). En el resto de los perfiles del tramo, la tasa media anual media espacial en línea de orilla es prácticamente nula (recuérdese que la playa en esta zona está saturada de sedimento). Sin embargo, sí que existe una tasa media anual media espacial en profundidad de 11796 m<sup>3</sup>/año con valores máximos de 16637 m<sup>3</sup>/año.

En las figuras 4.61 a 4.67 se muestran los valores ya comentados de las tasas medias anuales de transporte potencial en perfil mixto con tamaño de grano variable para cada uno de los perfiles ubicados en cada una de las 7 zonas de la unidad fisiográfica analizada. En dichas figuras se indican tanto las correspondientes tasas existentes en línea de orilla (profundidad menor que 2 m), como las existentes en profundidad (profundidad mayor que 2 m), así como las totales en el perfil de playa completo.

DOCUMENTO PRELIMINAR

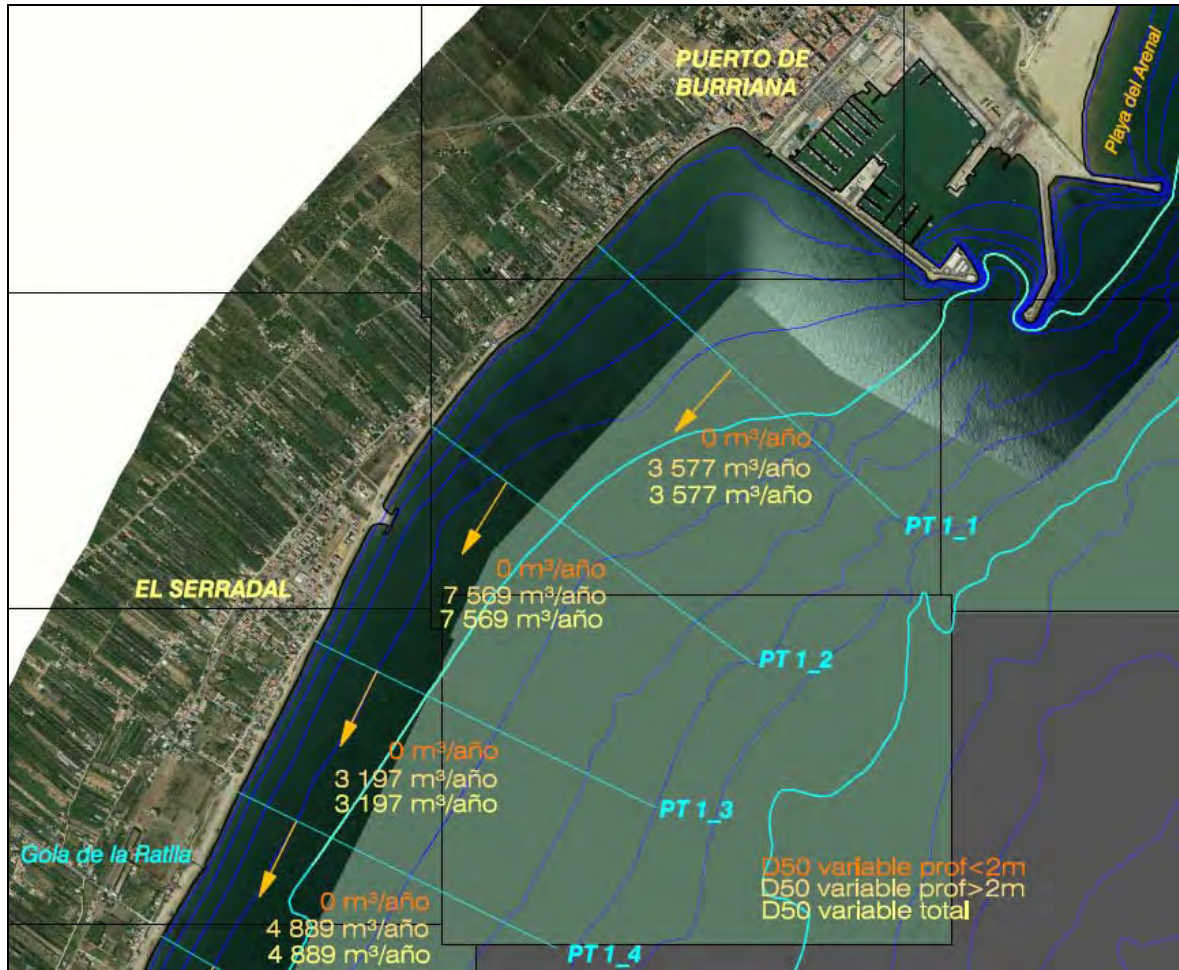


Figura 4.61. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 1 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.



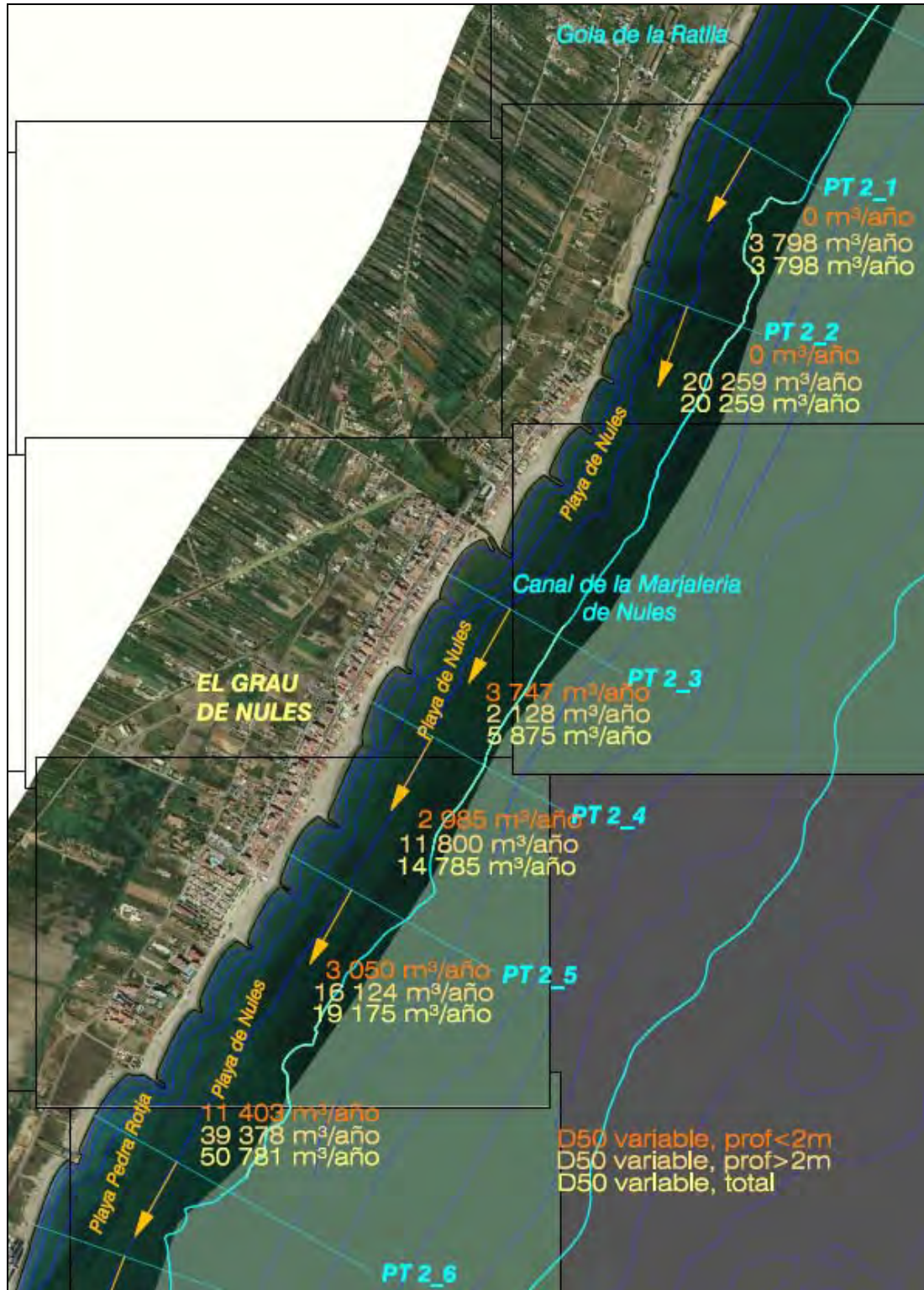


Figura 4.62. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 2 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.



Figura 4.63. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 3 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.

DOCUMENTO PRELIMINAR

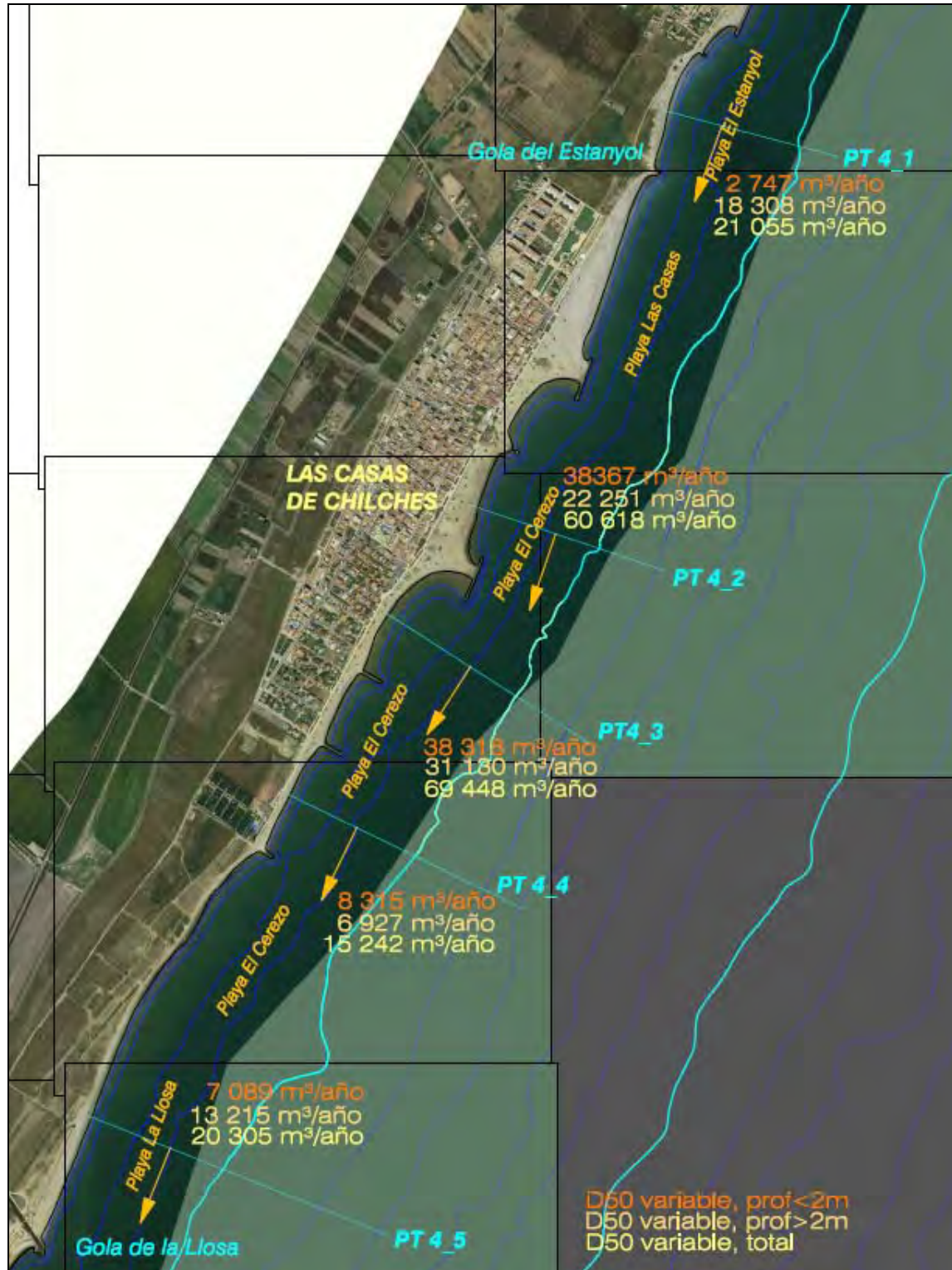


Figura 4.64. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 4 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.

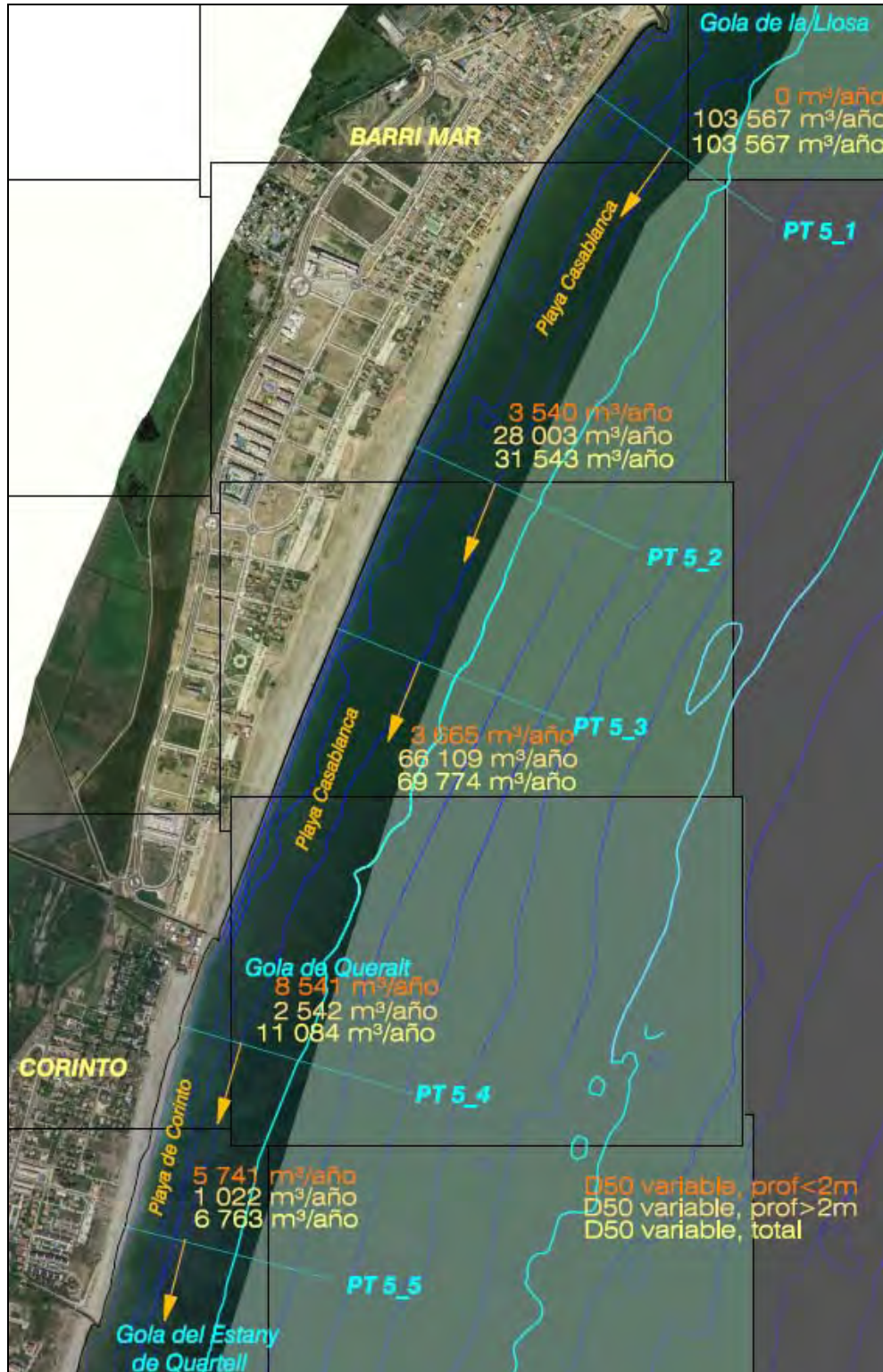


Figura 4.65. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 5 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.

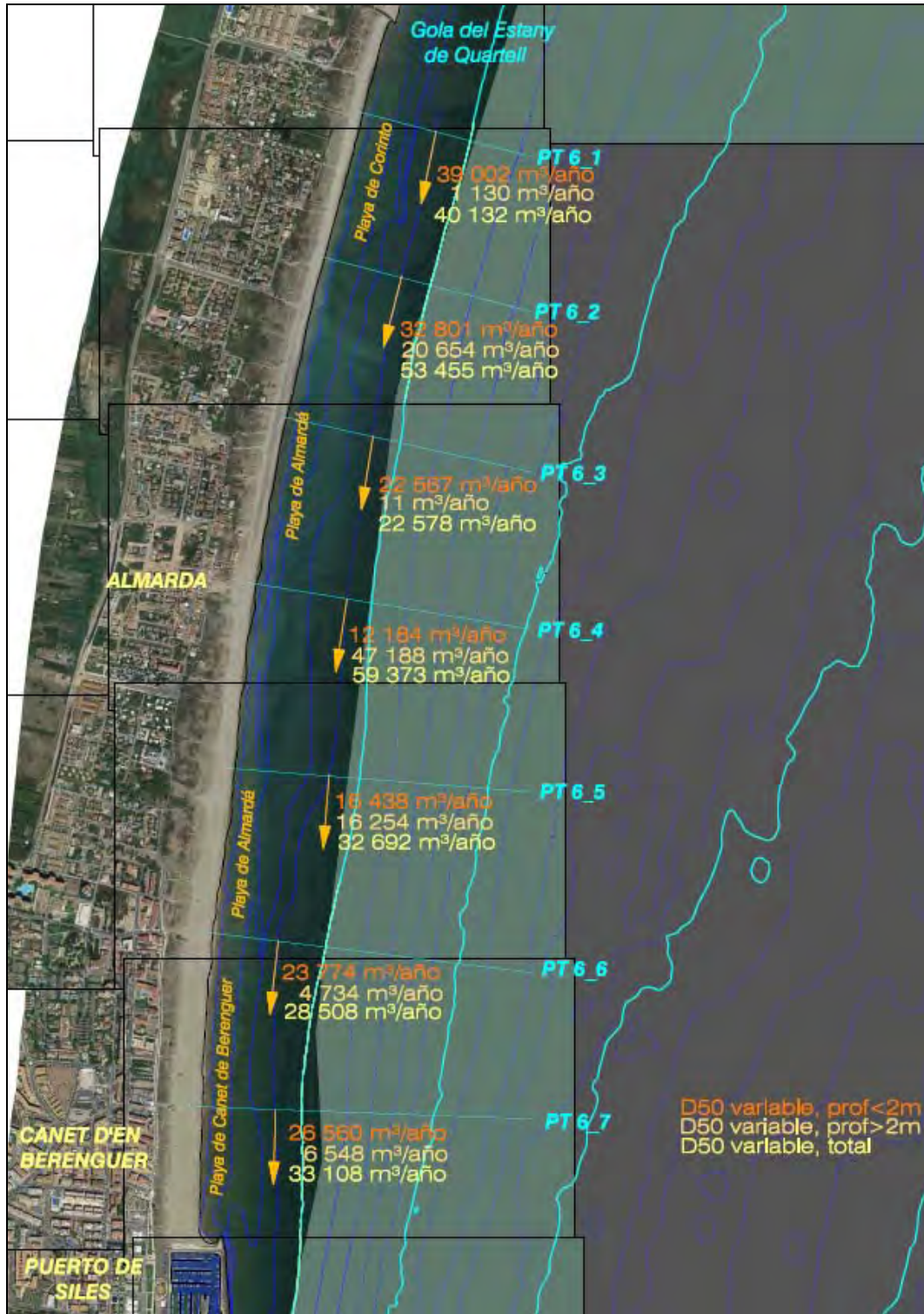


Figura 4.66. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 6 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.

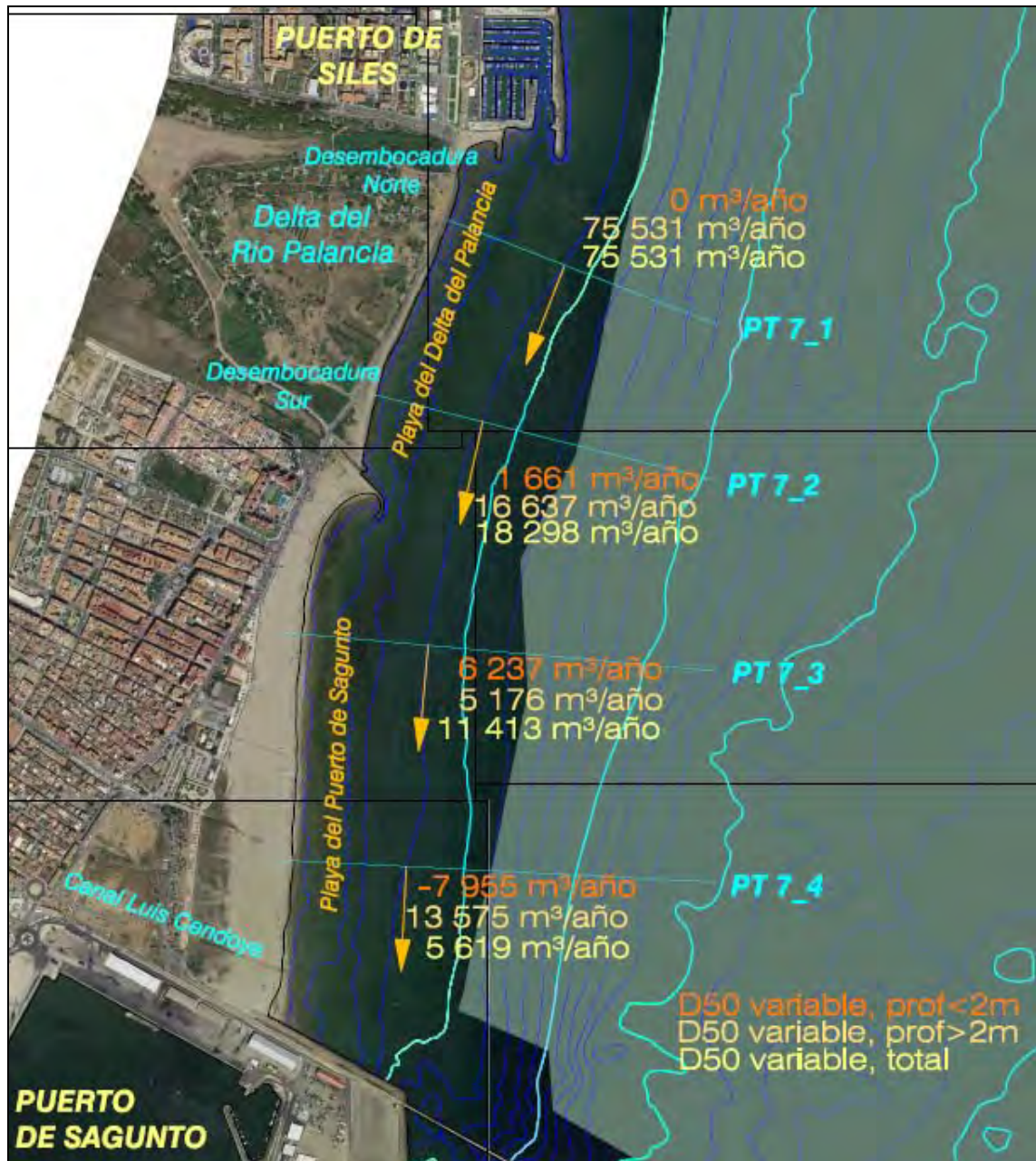


Figura 4.67. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 7 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m.

### ***Caso de que el sedimento existente a cota cero se extiende hasta la batimétrica de 1 m***

En este apartado se analiza la situación en la que el sedimento existente a cota cero se extiende hasta la batimétrica de 1 m. En la parte superior de la figura 4.68 se presentan las tasas actuales medias anuales en el período de tiempo comprendido entre 1990 y 2008 para los 36 perfiles considerados en el cálculo del transporte. En esta figura, no sólo se muestran los valores de las tasas totales en el perfil completo, sino que también se puede diferenciar el transporte existente en una profundidad inferior a 1 m del que existe a una profundidad mayor, ya que la profundidad indicada separa zonas del perfil con tamaños de grano muy diferentes para la mayoría de los perfiles (excepto los perfiles de los tramos más al Sur).

En la parte inferior de la figura 4.68 se presentan los gradientes espaciales de las tasas potenciales medias anuales, tanto los gradientes del transporte total, como los del transporte en cada una de las zonas (profundidad menor y mayor que 1 m). De nuevo recordar que un valor positivo del gradiente significa pérdida de sedimento y un gradiente negativo ganancia del mismo.

Merece la pena destacar que en la situación presente al incluir la variabilidad del tamaño de grano, tanto en profundidad, como longitudinalmente, se está contribuyendo al aumento de los gradientes espaciales de las tasas de transporte.

DOCUMENTO PRELIMINAR

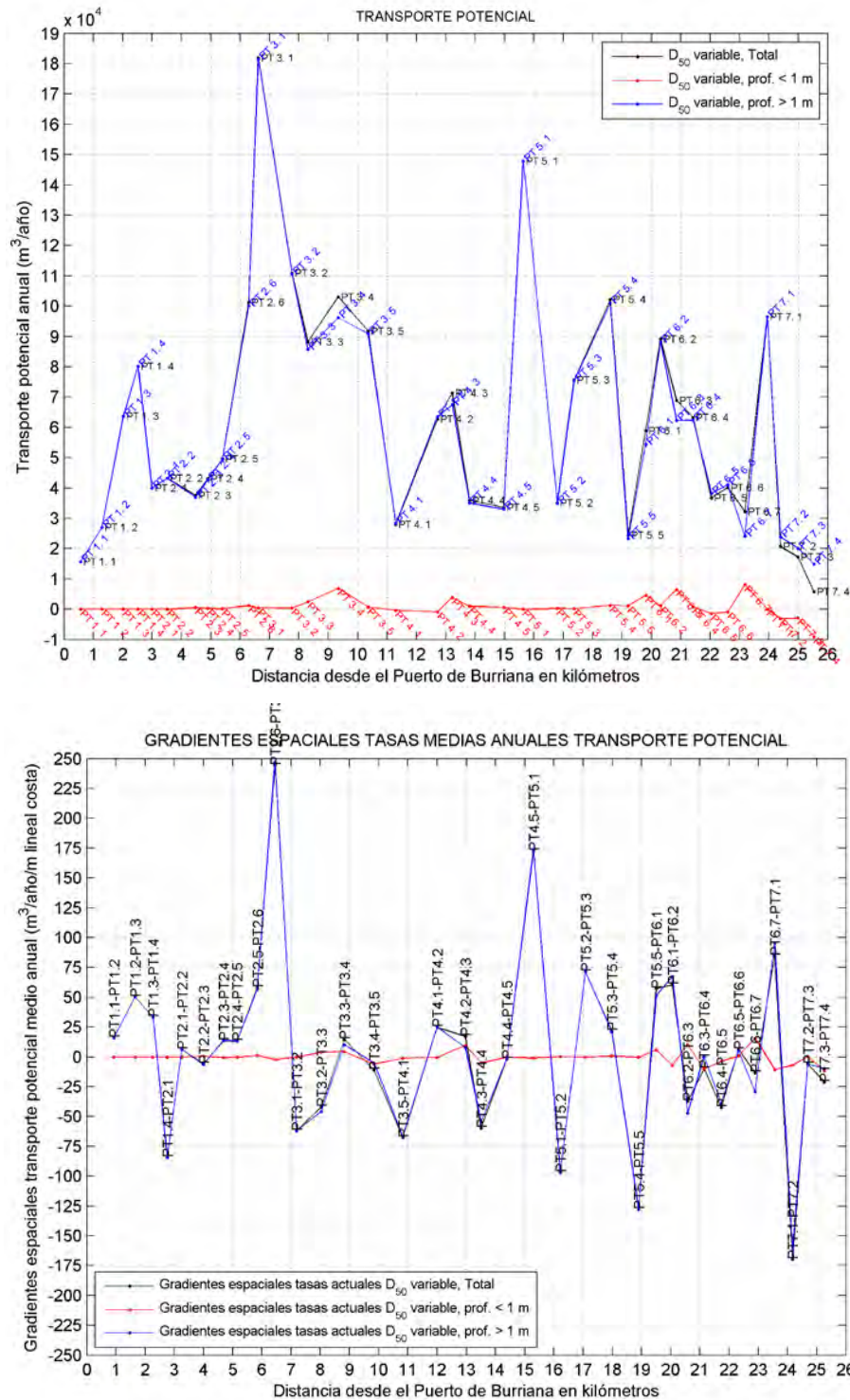


Figura 4.68. En la parte superior tasas actuales medias anuales con tamaño de grano variable en profundidad (+ significa de Norte a Sur). En la parte inferior gradientes espaciales de las anteriores tasas (+ significa pérdida de sedimento).



DOCUMENTO PRELIMINAR

A partir de la figura 4.68 se pueden destacar los siguientes principales rasgos en cuanto a las tasas de transporte y a los gradientes espaciales de las mismas:

- En la zona adyacente al Puerto de Burriana (zona 1) como en la actualidad existe escollera los gradientes espaciales de transporte son nulos en profundidad menor que 1 m y de mayor importancia en profundidad mayor.
- En la zona 2 (Nules) la mayor parte del transporte se produce en profundidad (a profundidad mayor que 1 m). Asimismo, los gradientes espaciales del transporte en profundidad tienen una tendencia erosiva en este tramo (con el consecuente cambio de la batimetría a profundidad mayor que 1 m).
- En la zona 3 (Moncofar) la mayor parte del transporte se produce en profundidad (a profundidad mayor que 1 m). Asimismo, los gradientes espaciales del transporte en profundidad tienen una tendencia acumulativa en este tramo (con el consecuente cambio de la batimetría a profundidad mayor que 1 m).
- En la zona 4 (Chilches) también la mayor parte del transporte se produce en profundidad (a profundidad mayor que 1 m). En este tramo los gradientes espaciales del transporte en profundidad tienen una primera zona erosiva, luego acumulativa y por último erosiva de nuevo.
- En la zona 5 (Almenara) el principal transporte ocurre también en profundidad. Por otra parte, los gradientes espaciales del transporte en profundidad indican zonas de erosión y zonas de acumulación alternativamente.
- En la zona 6 (Almardá hasta Puerto de Siles) también el transporte ocurre principalmente en profundidad mayor que 2 m. Los gradientes espaciales del transporte en profundidad muestran una preponderancia de la acumulación de sedimento en profundidad, con áreas de erosión en ambos límites de la zona.
- Por último en la zona 7 (Sagunto) el transporte ocurre también principalmente en profundidad mayor que 1 m, indicando los gradientes espaciales del transporte una tendencia acumulativa en profundidad.

En las tablas 4.46 a 4.52 se indican las tasas actuales medias anuales en perfil mixto con tamaño de grano variable pero para todos los perfiles (los 36), indicándose también los valores medios espaciales de dichas tasas para cada zona (recuérdese que tasas positivas significa transporte de Norte a Sur y tasas negativas transporte de Sur a Norte). En las tablas mencionadas se muestran no sólo los valores totales de las tasas en todo el perfil mixto sino también los correspondientes valores en profundidad menor que 1 m (tasas en línea de orilla) y los de profundidad mayor que 1 m (tasas en profundidad).

## DOCUMENTO PRELIMINAR

<b>Tte potencial medio anual (m<sup>3</sup>/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 1 m</b>	<b>Prof &gt; 1 m</b>
<b>PT 1_1</b>	15618	0	15618
<b>PT 1_2</b>	26980	0	26980
<b>PT 1_3</b>	63675	0	63675
<b>PT 1_4</b>	80125	0	80125
<b>Media</b>	<b>46600</b>	<b>0</b>	<b>46600</b>

Tabla 4.46. Tasas actuales medias anuales en la zona 1 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

<b>Tte potencial medio anual (m<sup>3</sup>/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 1 m</b>	<b>Prof &gt; 1 m</b>
<b>PT 2_1</b>	39984	0	39984
<b>PT 2_2</b>	43171	0	43171
<b>PT 2_3</b>	37480	520	36960
<b>PT 2_4</b>	43080	283	42797
<b>PT 2_5</b>	49559	149	49409
<b>PT 2_6</b>	101195	1213	99982
<b>Media 3 a 6</b>	<b>57829</b>	<b>541</b>	<b>57287</b>

Tabla 4.47. Tasas actuales medias anuales en la zona 2 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

<b>Tte potencial medio anual (m<sup>3</sup>/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 1 m</b>	<b>Prof &gt; 1 m</b>
<b>PT 3_1</b>	181954	470	181485
<b>PT 3_2</b>	110851	373	110478
<b>PT 3_3</b>	88128	2417	85711
<b>PT 3_4</b>	103057	6866	96191
<b>PT 3_5</b>	91666	723	90943
<b>Media</b>	<b>115131</b>	<b>2170</b>	<b>112961</b>

Tabla 4.48. Tasas actuales medias anuales en la zona 3 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

<b>Tte potencial medio anual (m<sup>3</sup>/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 1 m</b>	<b>Prof &gt; 1 m</b>
<b>PT 4_1</b>	27933.1	-379.78945	28312.89
<b>PT 4_2</b>	62683.252	-881.50862	63564.761
<b>PT 4_3</b>	71261.758	3849.3611	67412.397
<b>PT 4_4</b>	35888.23	903.17729	34985.053
<b>PT 4_5</b>	33550.184	624.24822	32925.936
<b>Media 1, 4 y 5</b>	<b>32457</b>	<b>383</b>	<b>32075</b>

Tabla 4.49. Tasas actuales medias anuales en la zona 4 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

## DOCUMENTO PRELIMINAR

<b>Tte potencial medio anual (m<sup>3</sup>/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 1 m</b>	<b>Prof &gt; 1 m</b>
<b>PT 5_1</b>	147872	0	147872
<b>PT 5_2</b>	35061	238	34823
<b>PT 5_3</b>	75585	215	75370
<b>PT 5_4</b>	102164	1255	100909
<b>PT 5_5</b>	24445	1105	23340
<b>Media 2 a 5</b>	<b>59314</b>	<b>703</b>	<b>58611</b>

Tabla 4.50. Tasas actuales medias anuales en la zona 5 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

<b>Tte potencial medio anual (m<sup>3</sup>/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 1 m</b>	<b>Prof &gt; 1 m</b>
<b>PT 6_1</b>	58933	4533	54400
<b>PT 6_2</b>	89178	1046	88132
<b>PT 6_3</b>	68817	6484	62333
<b>PT 6_4</b>	63170	791	62379
<b>PT 6_5</b>	36667	-1448	38115
<b>PT 6_6</b>	40070	-1003	41073
<b>PT 6_7</b>	32185	8098	24087
<b>Media 1-4</b>	<b>70025</b>	<b>3214</b>	<b>66811</b>
<b>Media 5-7</b>	<b>36307</b>	<b>1882</b>	<b>34425</b>

Tabla 4.51. Tasas actuales medias anuales en la zona 6 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

<b>Tte potencial medio anual (m<sup>3</sup>/año)</b>			
<b>D50 variable</b>	<b>Total</b>	<b>Prof &lt; 1 m</b>	<b>Prof &gt; 1 m</b>
<b>PT 7_1</b>	96506	0	96506
<b>PT 7_2</b>	20699	-3140	23839
<b>PT 7_3</b>	17132	-2914	20046
<b>PT 7_4</b>	5747	-9168	14916
<b>Media 2 a 4</b>	<b>14526</b>	<b>-5074</b>	<b>19600</b>

Tabla 4.52. Tasas actuales medias anuales en la zona 7 con tamaño de grano variable en perfil mixto: totales, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

En la zona 1 (El Serradal) debido a la escollera existente no existe transporte en línea de orilla y todo el transporte existente es en profundidad. Dicho transporte tiene un valor medio espacial en este tramo 1 de 46600 m<sup>3</sup>/año.

En la zona 2 (Nules), en los dos primeros perfiles del tramo ocurre exactamente lo mismo que en los perfiles de la zona 1, es decir, todo el transporte ocurre en profundidad debido a la existencia de una escollera de protección. En el resto de los perfiles de este tramo la tasa media anual media espacial en profundidad menor que 1 m es de 541 m<sup>3</sup>/año y en profundidad mayor que 1 m es de 57287 m<sup>3</sup>/año. Otras tasas interesantes a resaltar es la tasa más elevada del transporte en línea de costa que es de 1213 m<sup>3</sup>/año y la tasa más elevada del transporte en profundidad que es de 99982 m<sup>3</sup>/año.

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

En la zona 3 (Moncofar) los dos primeros perfiles tienen un tamaño de grano en línea de orilla del orden de los 3 mm, mientras que en los tres últimos perfiles el tamaño de grano oscila entre los 0.93 mm y los 0.64 mm, esto tiene como consecuencia que el transporte en línea de orilla sea más reducido en los dos primeros perfiles que en el resto de perfiles del tramo, con una tasa media anual entre 400-500 m<sup>3</sup>/año para estos dos primeros perfiles y entre 1000-7000 m<sup>3</sup>/año para los tres últimos. Por otra parte, la tasa media anual media espacial en profundidad es de 112961 m<sup>3</sup>/año, con valores máximos de dicha tasa de 181485 m<sup>3</sup>/año.

En la zona 4 (Chilches) básicamente se pueden diferenciar los perfiles PT 4\_2 y PT 4\_3 del resto de perfiles del tramo. Los dos perfiles previamente mencionados poseen un sedimento muy diferente al del resto de perfiles del tramo, siendo el sedimento de tipo arena tanto en línea de orilla como en profundidad con un tamaño de grano de 0.2 mm. Esto tiene como consecuencia que las tasas totales en estos dos perfiles sean de 60000-70000 m<sup>3</sup>/año y del resto de los perfiles del tramo de 28000-36000 m<sup>3</sup>/año. En todos los perfiles el transporte ocurre principalmente en profundidad mayor que 1 m.

En la zona 5 (Almenara) existe un primer perfil en el que debido a la configuración particular de este tramo de costa la tasa de transporte es elevada, lo cual motivó la disposición de una escollera de protección en dicho perfil. Por esta razón en este perfil sólo existe transporte en profundidad con una tasa bastante elevada de 147872 m<sup>3</sup>/año. En el resto de perfiles del tramo, la tasa media anual media espacial de transporte en línea de orilla es de 700 m<sup>3</sup>/año con un valor máximo de esta tasa de 1255 m<sup>3</sup>/año y la correspondiente tasa media anual media espacial de transporte en profundidad es de 58611 m<sup>3</sup>/año con un valor máximo de esta tasa de 100909 m<sup>3</sup>/año.

En la zona 6 (Almardá hasta el Puerto de Siles) se pueden distinguir dos zonas. Un primer tramo, que va del PT 6\_1 al PT 6\_4, con un valor de la tasa media anual media espacial de 3200 m<sup>3</sup>/año en profundidad menor de 1 m (con valores máximos de dicha tasa de 6500 m<sup>3</sup>/año) y de 66811 m<sup>3</sup>/año en profundidad mayor que 1 m (con valores máximos de dicha tasa de 88100 m<sup>3</sup>/año). Un segundo tramo, que va del PT 6\_5 al PT 6\_7, con un valor de la tasa media anual media espacial de 1800 m<sup>3</sup>/año en profundidad menor de 1 m (con valores máximos de dicha tasa de 8100 m<sup>3</sup>/año) y de 34400 m<sup>3</sup>/año en profundidad mayor que 1 m (con valores máximos de dicha tasa de 41000 m<sup>3</sup>/año).

Por último, en la zona 7 (Sagunto) existe un primer perfil en el que debido a la tasa elevada de transporte existente se dispuso una escollera de protección en el mismo. Por este motivo en este perfil sólo existe transporte en profundidad con una tasa de considerable importancia (96500 m<sup>3</sup>/año). En el resto de los perfiles del tramo, existe una tasa media anual media espacial en profundidad de 19600 m<sup>3</sup>/año con valores máximos de 24000 m<sup>3</sup>/año.

En las figuras 4.69 a 4.75 se muestran los valores ya comentados de las tasas medias anuales de transporte potencial en perfil mixto con tamaño de grano variable para cada uno de los perfiles ubicados en cada una de las 7 zonas de la unidad fisiográfica

DOCUMENTO PRELIMINAR

analizada. En dichas figuras se indican tanto las correspondientes tasas existentes en línea de orilla (profundidad menor que 1 m), como las existentes en profundidad (profundidad mayor que 1 m), así como las totales en el perfil de playa completo.

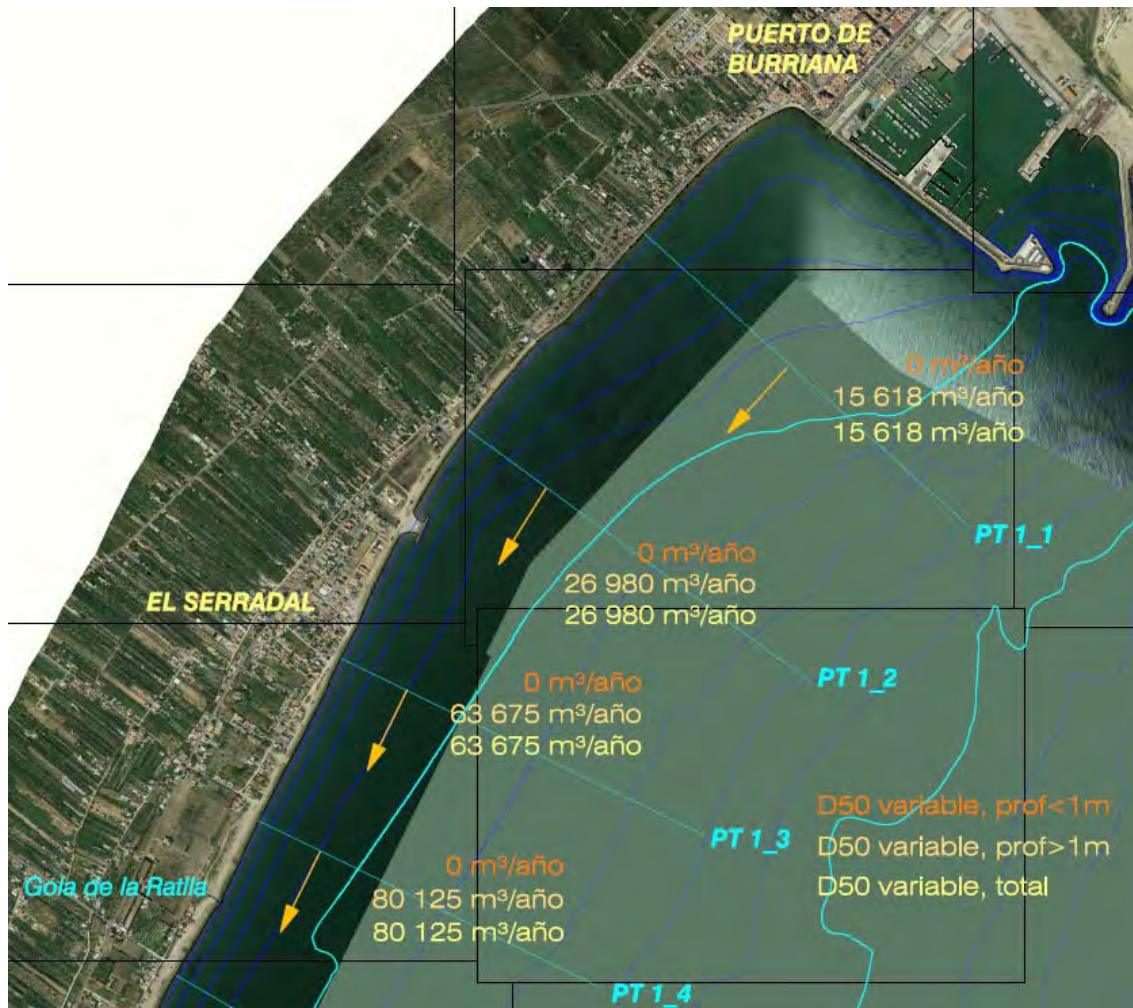


Figura 4.69. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 1 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

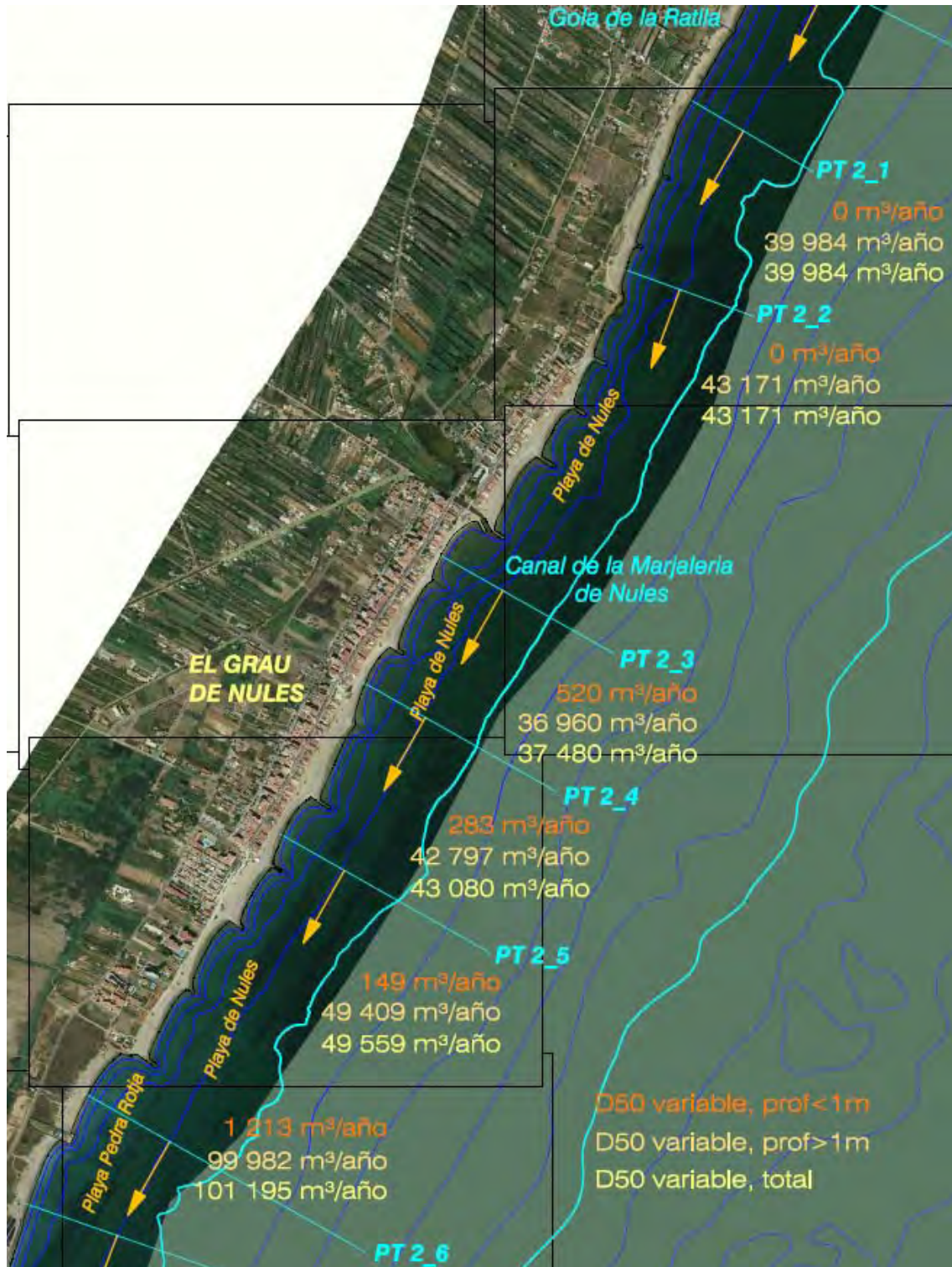


Figura 4.70. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 2 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

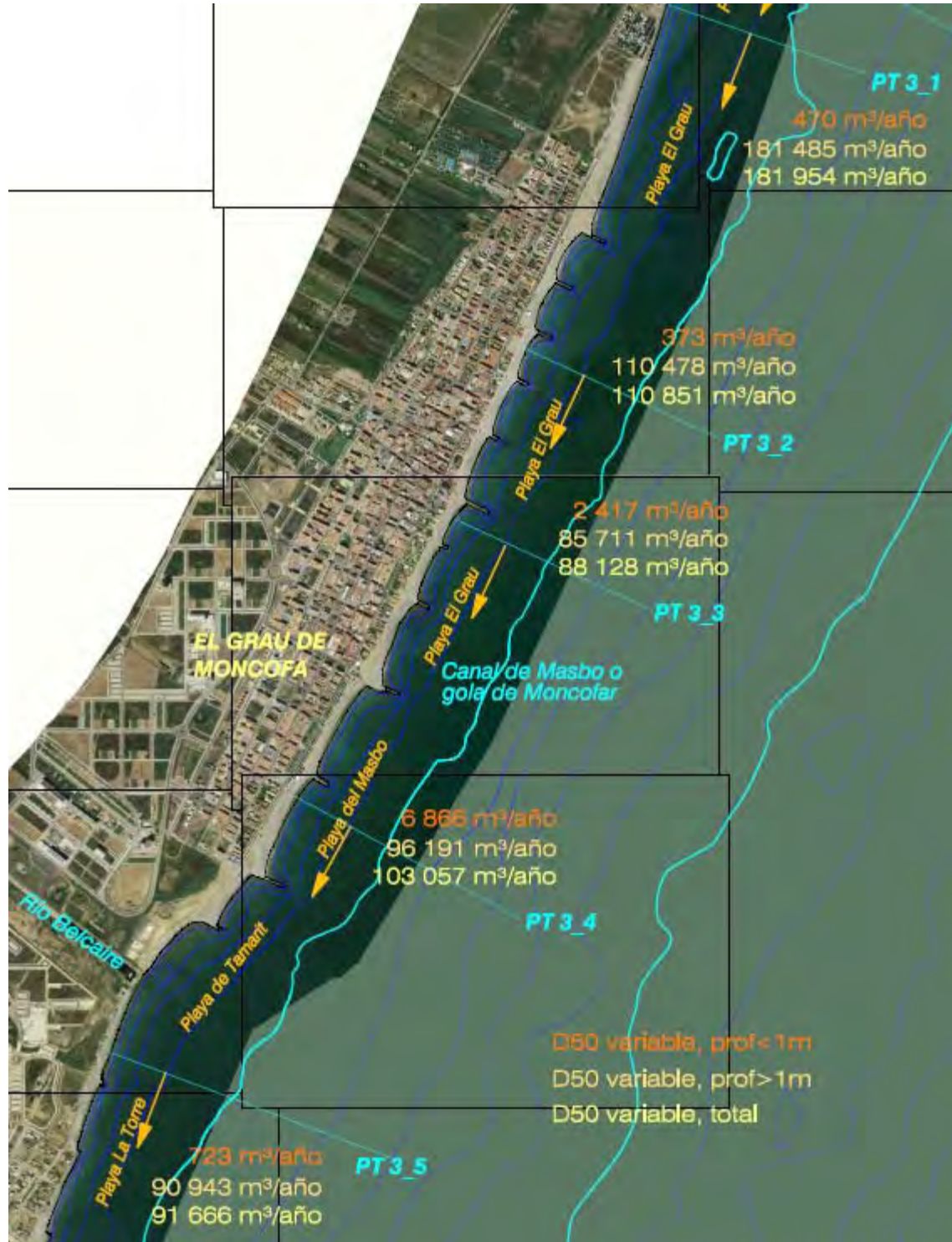


Figura 4.71. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 3 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

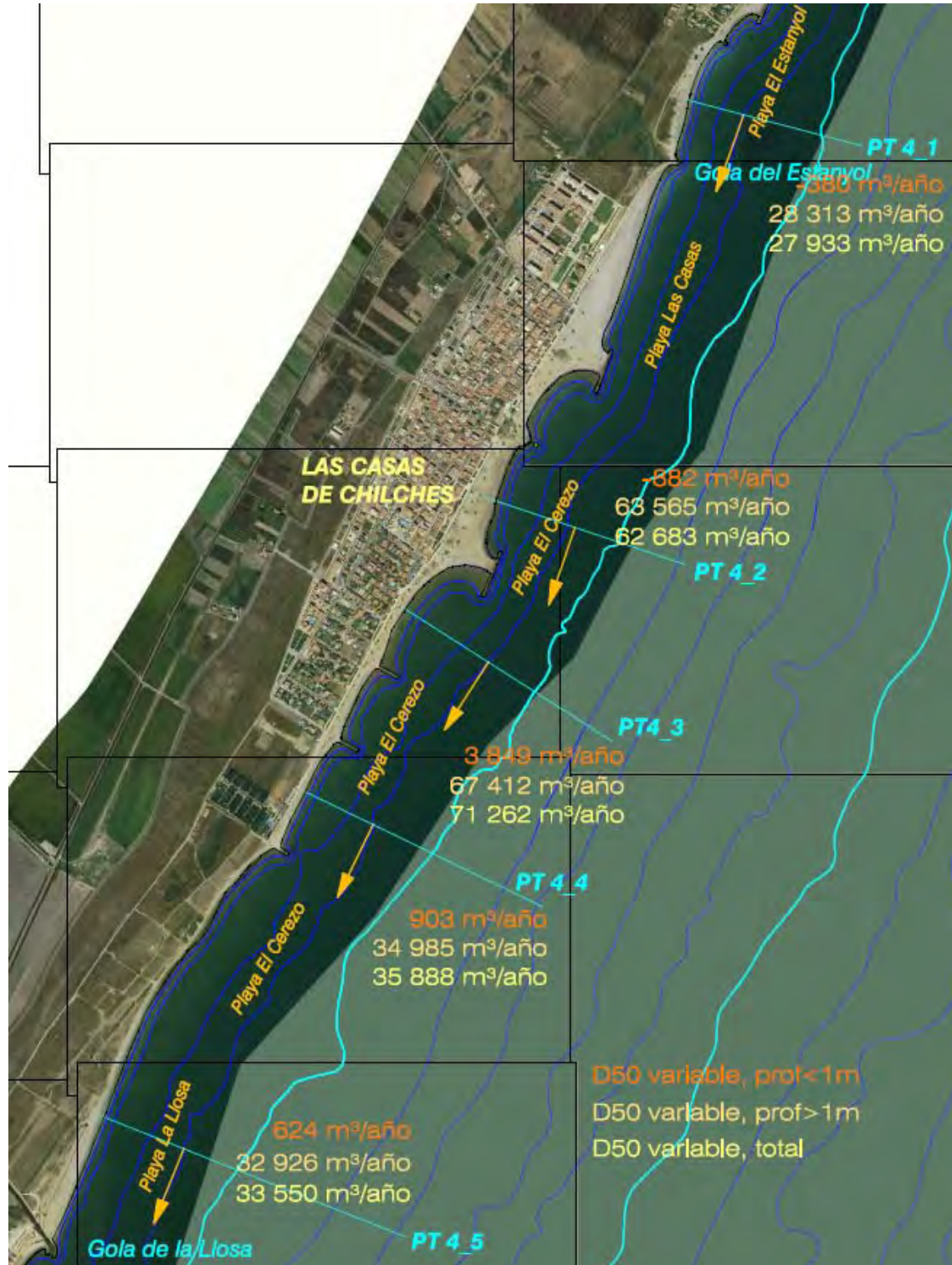


Figura 4.72. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 4 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.



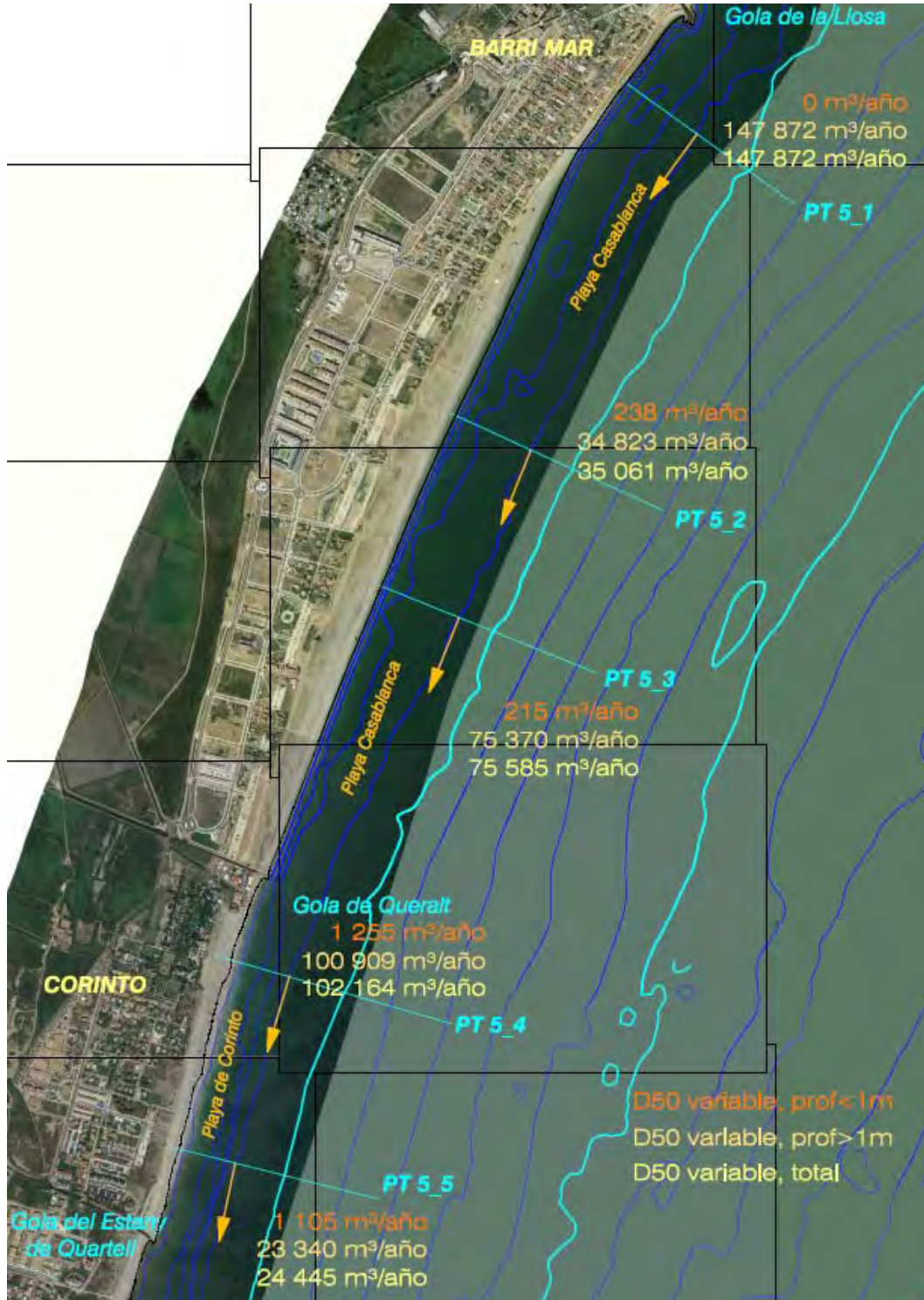


Figura 4.73. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 5 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

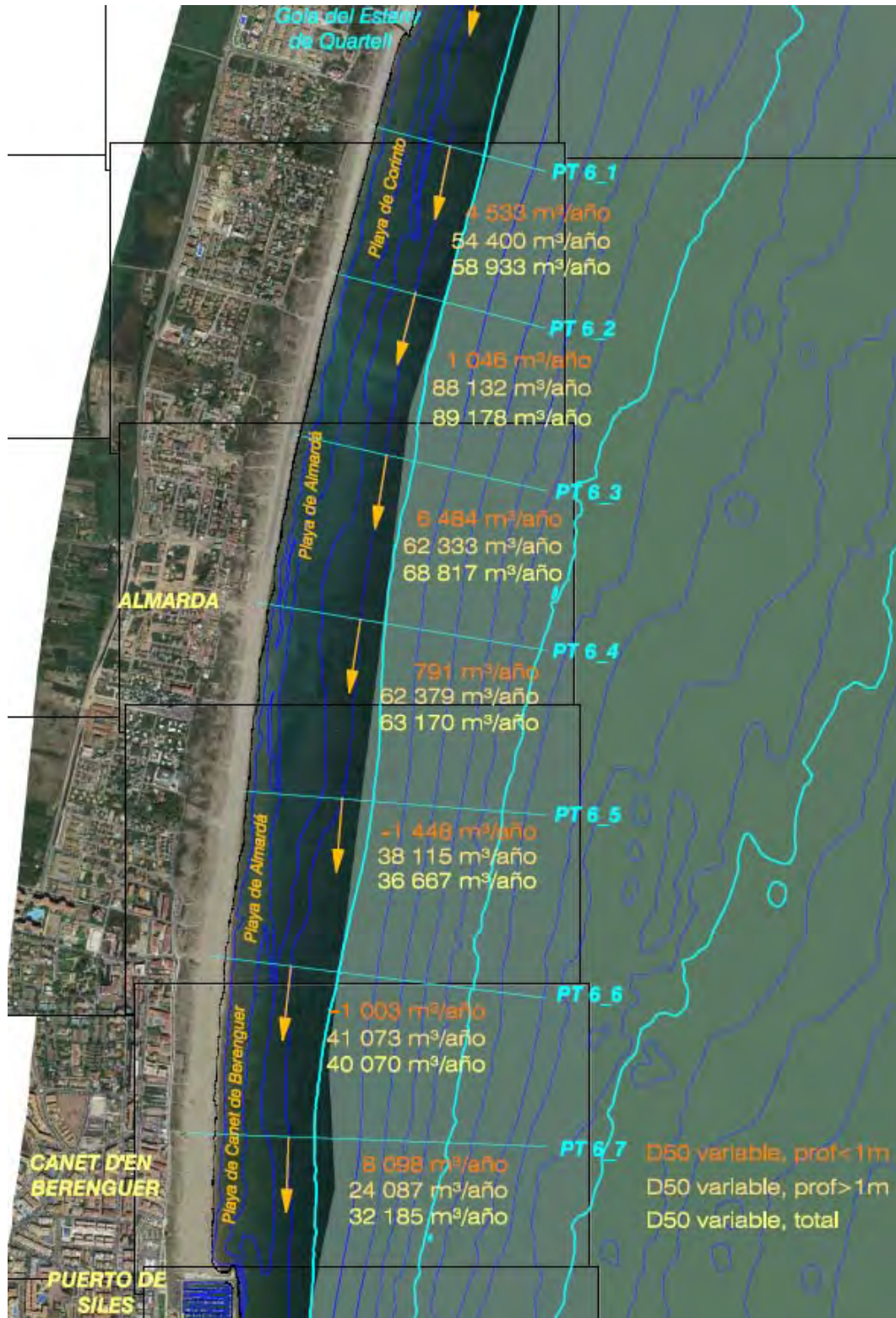


Figura 4.74. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 6 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

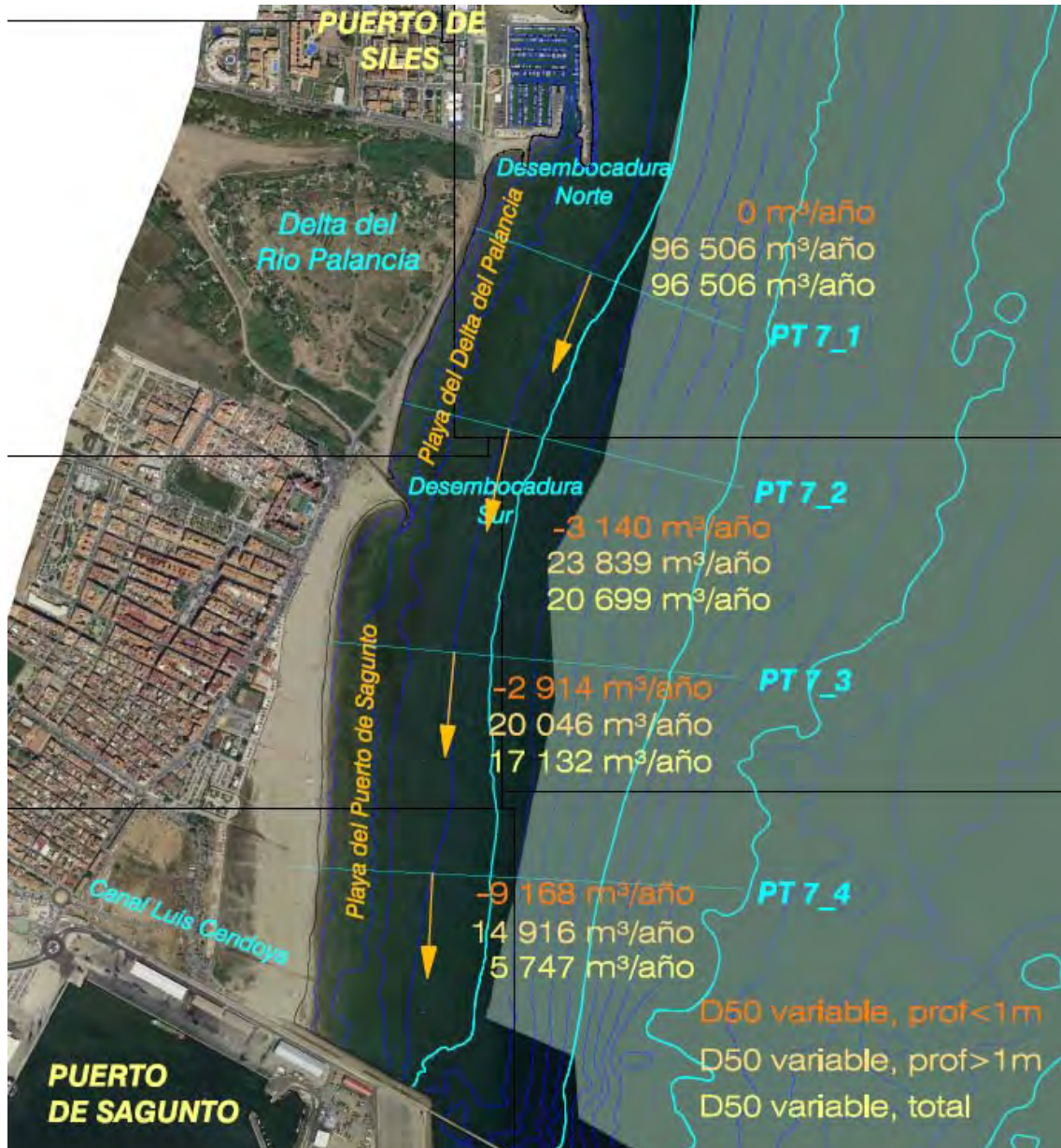


Figura 4.75. Tasas actuales medias anuales para los perfiles de la zona 7 con tamaño de grano variable en perfil mixto: total, en profundidad menor que 1 m y en profundidad mayor que 1 m.

#### 4.3.1.10 Validación de las tasas medias anuales de transporte

Como ya se comentó en apartados previos, las tasas de transporte históricas han sido fundamentales para calibrar la formulación teórica utilizada en este trabajo para la determinación de las tasas de transporte potencial de sedimento. Después de este proceso de calibración de la formulación, en el presente apartado se lleva a cabo la validación de los resultados obtenidos con la misma.

El principal problema existente a la hora de validar los resultados de transporte en épocas recientes en la zona de estudio es que, como ya ha sido comentado en otros apartados, aunque se ha contado con una lista bastante amplia de movimientos de sedimento introducidos o extraídos en el sistema analizado en diferentes localizaciones, a pesar de ello se sabe que ha habido más movimientos de los cuales no se ha contado con información de la fecha exacta, así como de la cantidad de material involucrado. La única forma de eliminar este problema es realizar la validación de resultados en épocas muy antiguas en las que todavía no se realizaban regeneraciones, extracciones o trasvases de sedimento. Sin embargo, además de que el objetivo de este apartado es realizar la validación de resultados en épocas relativamente recientes, también se debe tener en cuenta que en épocas antiguas tampoco se cuenta con datos de oleaje, aunque sí que se aseguraría la no existencia de los movimientos de sedimento previamente referenciados.

Después del análisis de la información disponible se ha considerado como zona adecuada para validar los resultados la zona adyacente al Puerto de Siles al Norte del mismo. En concreto se ha considerado la playa de Canet de Berenguer y la playa de Almardá hasta el perfil PT 6\_5, garantizándose de esta manera la presencia en esta zona de material sedimentario de tipo arena.

El período de tiempo analizado ha sido el comprendido entre 1995-2006. Se ha considerado este período por los siguientes motivos: por la existencia de datos de oleaje en dicho período y al mismo tiempo por la disponibilidad de líneas de costa en esas dos fechas (a falta de batimetrías históricas) para poder estimar a partir de ellas el movimiento de sedimentos, además otro de los motivos principales por los que se ha considerado este período de tiempo es porque también se cuenta con los datos de extracciones, aportaciones o trasvases de sedimento en el período indicado y en la zona adyacente al Puerto de Siles.

Dentro del proyecto de "Recuperación ambiental de las playas de Almardá y Corinto. Término Municipal de Sagunto", a partir de 1995 se realizaron durante 3 años consecutivos aportaciones a la playa de Almardá de 100000 m<sup>3</sup>/año procedentes 50 % de la playa de Canet de Berenguer y 50 % de cantera.

Así pues, con las líneas de costa del año 1995 y del año 2006 se ha calculado la variación del volumen de sedimento entre ambas fechas. Asimismo, también se ha tenido en cuenta la extracción de sedimento en la playa de Canet de Berenguer de 150000 m<sup>3</sup> entre 1995-1998 (50000 m<sup>3</sup> cada año), así como el correspondiente vertido en la playa

DOCUMENTO PRELIMINAR

de Almardá ( $300000 \text{ m}^3$ , 50 % procedentes de la playa de Canet de Berenguer y 50 % de cantera). Como resultado se calculó una tasa media anual media espacial en los perfiles PT 6\_5, PT 6\_6 y PT 6\_7 de  $31360 \text{ m}^3/\text{año}$  para el perfil completo de playa. Esto concuerda con los valores establecidos en el apartado anterior a partir de la formulación teórica para perfil mixto, ya que la tasa media anual media espacial en los perfiles PT 6\_5, PT 6\_6 y PT 6\_7 era de  $31436 \text{ m}^3/\text{año}$  en el período de tiempo comprendido entre 1990-2008 para el perfil completo de playa. Por otra parte, a partir de la formulación teórica para perfil mixto, también se han calculado las anteriores tasas pero determinándose el valor medio con sólo el período de tiempo entre 1995-2006, obteniéndose un valor de la tasa media anual media espacial en los perfiles PT 6\_5, PT 6\_6 y PT 6\_7 de  $32107 \text{ m}^3/\text{año}$  para el perfil completo de playa.

#### 4.3.1.11 Variabilidad interanual de las tasas de transporte

En los apartados anteriores se ha analizado las tasas medias anuales de transporte, dedicándose el presente apartado a estudiar la variabilidad interanual de dichas tasas, presentándose en este apartado también la distribución del transporte neto multianual en papel normal.

En las figuras 4.76 a 4.87 se muestran para una serie de perfiles representativos (cuya localización puede observarse en la figura 4.60) un par de gráficas. Para todas estas gráficas merece la pena recalcar el criterio de signos utilizado, transporte positivo significa transporte de Norte a Sur (y negativo justo lo contrario, de Sur a Norte). En la gráfica superior de las figuras 4.76 a 4.87 se puede observar la variabilidad interanual del transporte a las siguientes opciones de tamaños de grano analizadas en el presente documento: tamaño de grano de 0.2 mm, tamaño de grano de 0.35 mm, tamaño de grano variable en todo el perfil completo (para el caso de que el sedimento en línea de orilla se extienda hasta la batimétrica de 2 m), así como separado en la parte del perfil en profundidad menor que 2 m y en profundidad mayor que 2 m. Además, téngase presente que en la leyenda de esta gráfica superior se indica no sólo el valor medio de la tasa de transporte anual, sino también la desviación típica para cada caso analizado.

Por otra parte, en la gráfica inferior de las figuras 4.76 a 4.87 se muestra la distribución del transporte neto multianual en papel normal para todas las opciones de tamaño de grano previamente indicadas. Asimismo, en la leyenda de esta gráfica se pueden consultar los parámetros del ajuste de la distribución de transporte neto multianual a la distribución normal.

DOCUMENTO PRELIMINAR

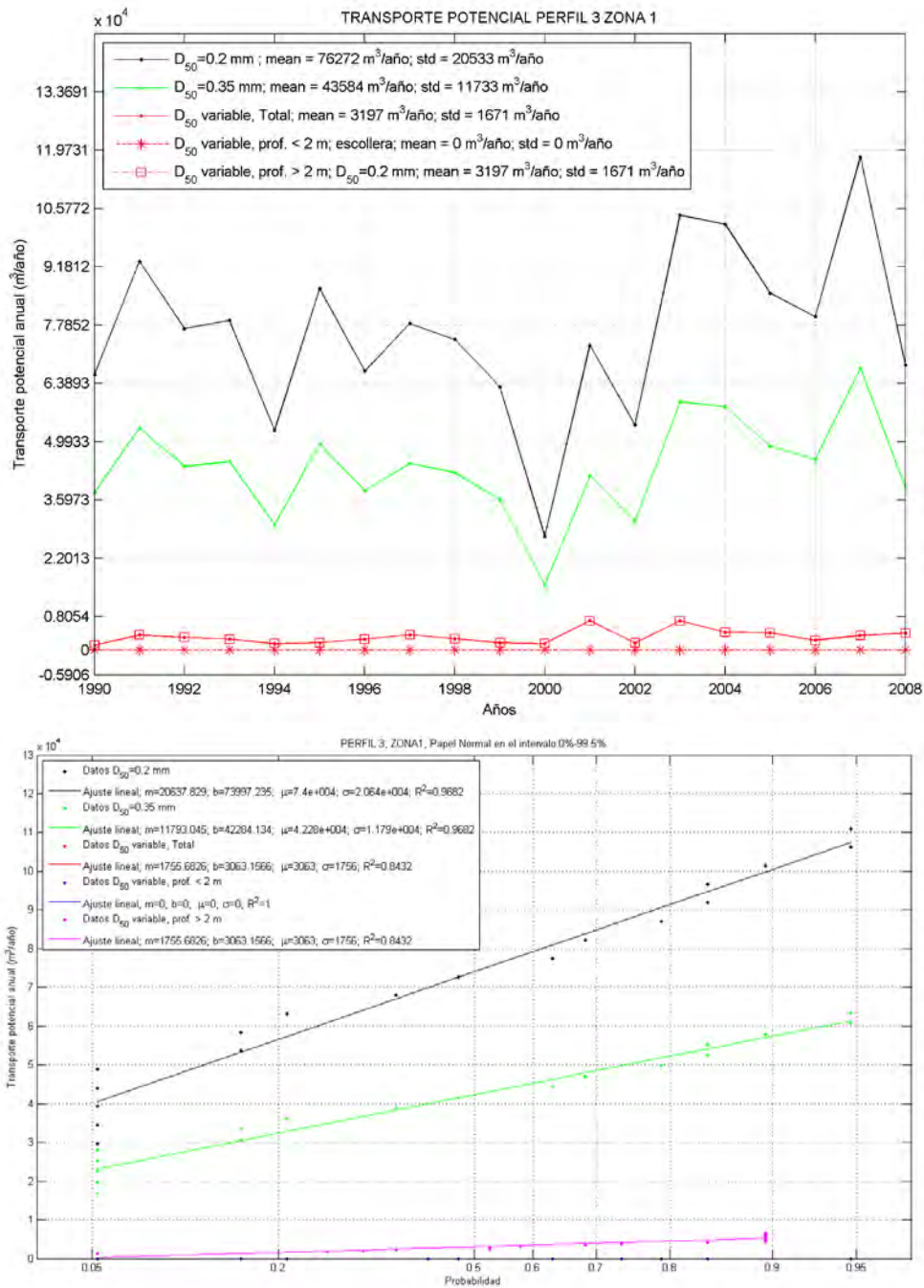


Figura 4.76. En la parte superior variabilidad interanual de las tasas de transporte para las diferentes opciones de tamaño de grano para el PT 1\_3. En la parte inferior distribución del transporte neto multianual en papel normal para las mismas opciones de tamaño de grano para el PT 1\_3.

DOCUMENTO PRELIMINAR

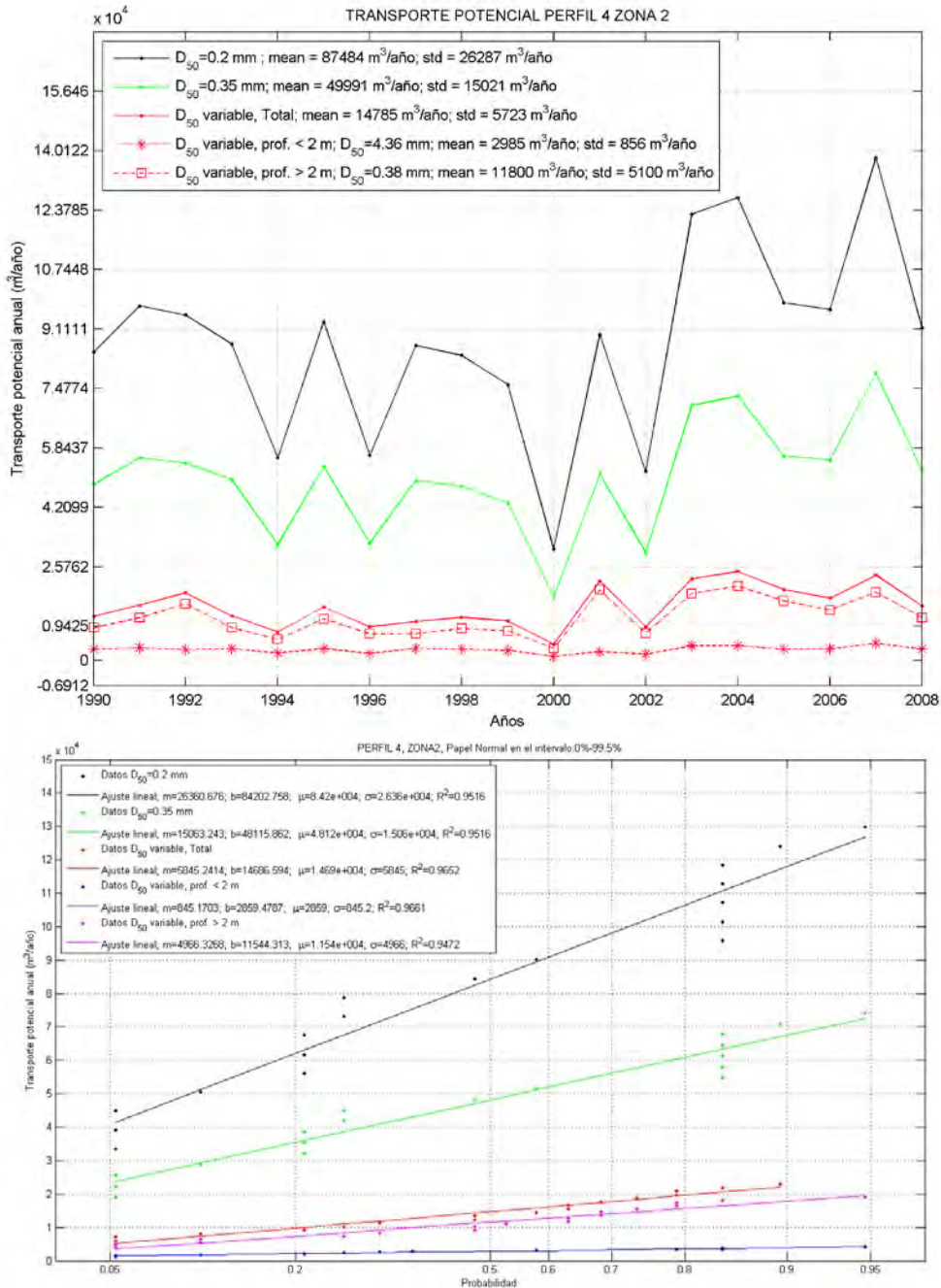


Figura 4.77. En la parte superior variabilidad interanual de las tasas de transporte para las diferentes opciones de tamaño de grano para el PT 2\_4. En la parte inferior distribución del transporte neto multianual en papel normal para las mismas opciones de tamaño de grano para el PT 2\_4.

DOCUMENTO PRELIMINAR

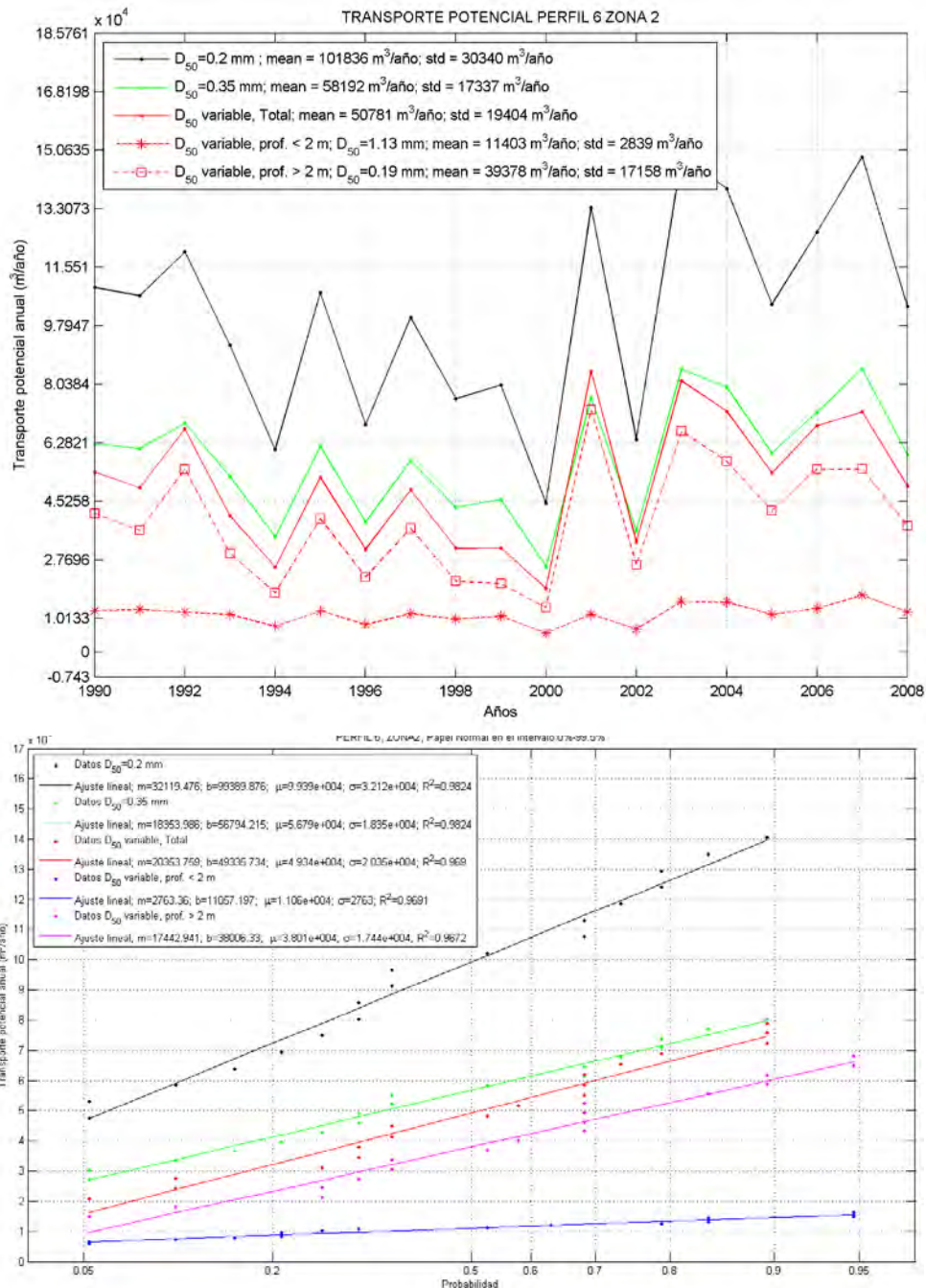


Figura 4.78. En la parte superior variabilidad interanual de las tasas de transporte para las diferentes opciones de tamaño de grano para el PT\_2\_6. En la parte inferior distribución del transporte neto multianual en papel normal para las mismas opciones de tamaño de grano para el PT\_2\_6.



DOCUMENTO PRELIMINAR

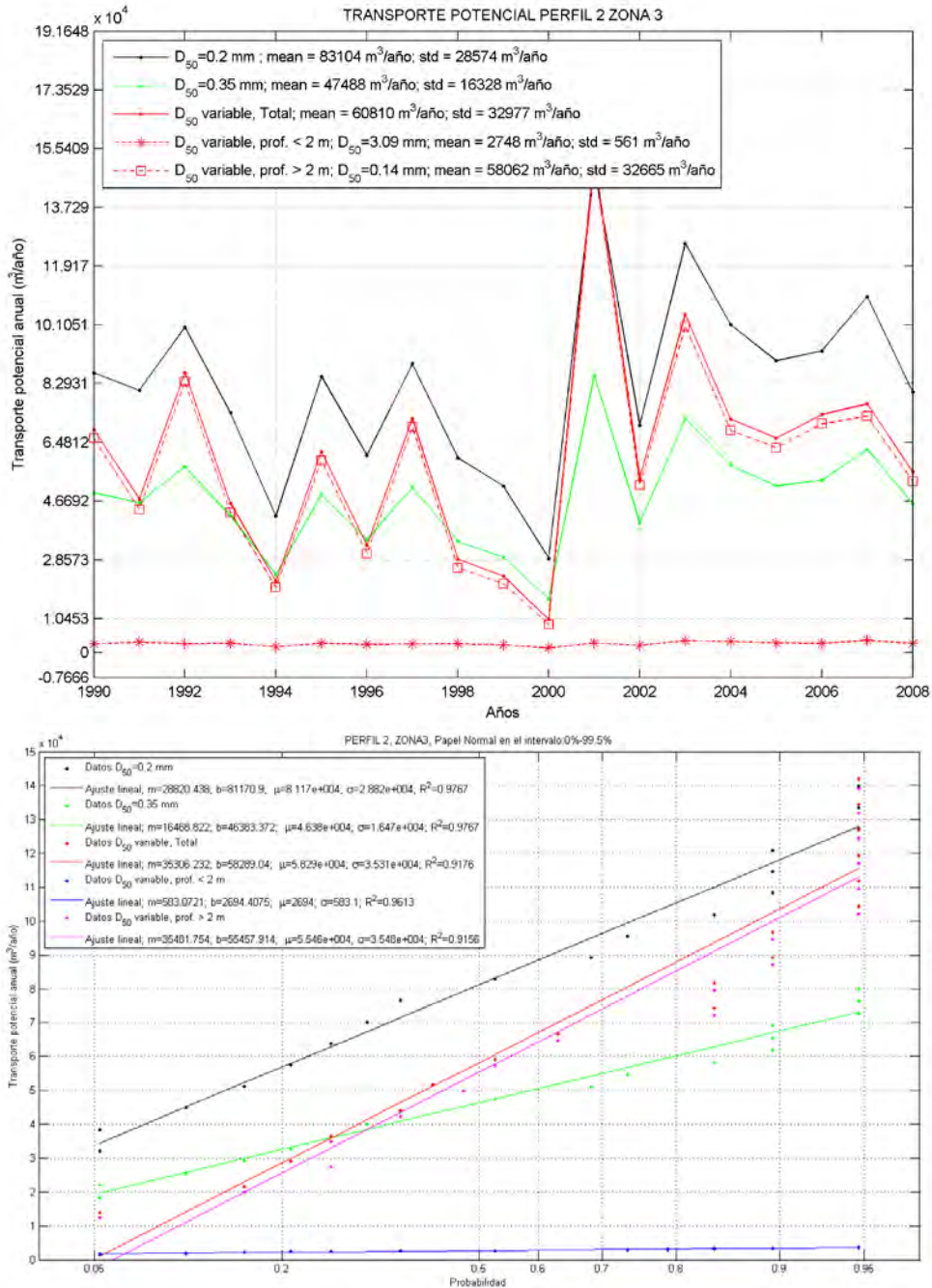


Figura 4.79. En la parte superior variabilidad interanual de las tasas de transporte para las diferentes opciones de tamaño de grano para el PT 3\_2. En la parte inferior distribución del transporte neto multianual en papel normal para las mismas opciones de tamaño de grano para el PT 3\_2.

DOCUMENTO PRELIMINAR

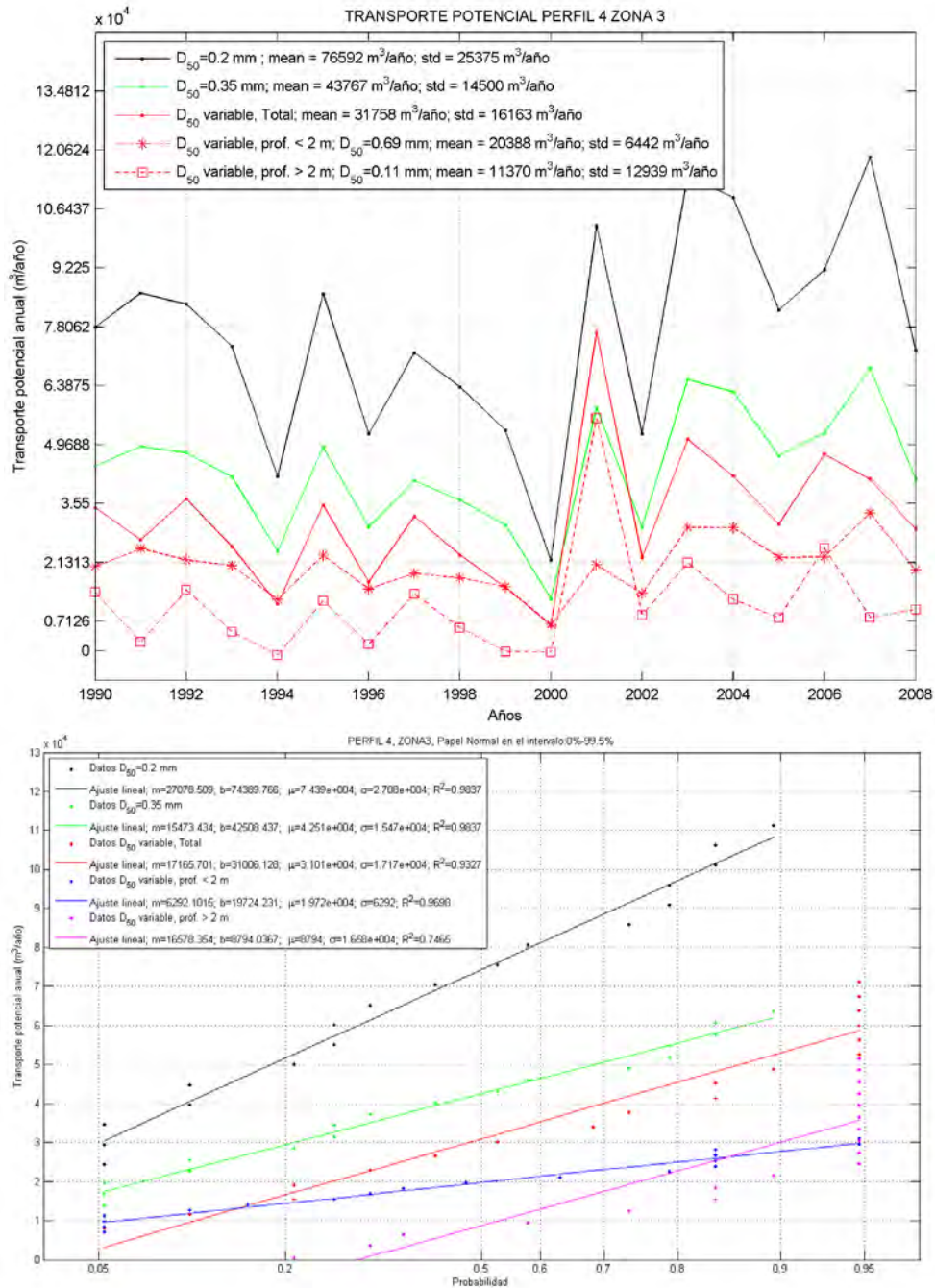


Figura 4.80. En la parte superior variabilidad interanual de las tasas de transporte para las diferentes opciones de tamaño de grano para el PT 3\_4. En la parte inferior distribución del transporte neto multianual en papel normal para las mismas opciones de tamaño de grano para el PT 3\_4.

DOCUMENTO PRELIMINAR

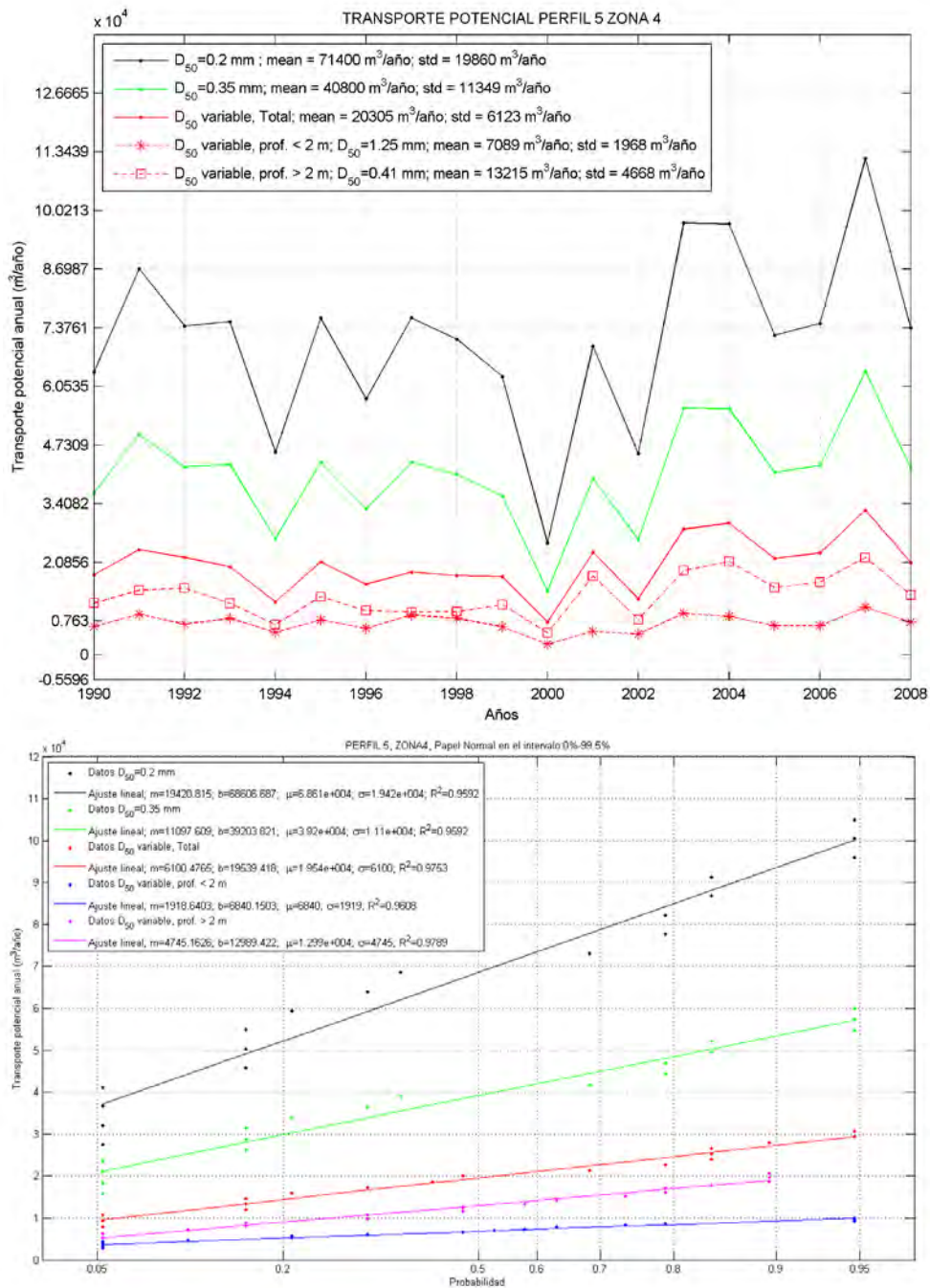


Figura 4.81. En la parte superior variabilidad interanual de las tasas de transporte para las diferentes opciones de tamaño de grano para el PT 4\_5. En la parte inferior distribución del transporte neto multianual en papel normal para las mismas opciones de tamaño de grano para el PT 4\_5.

DOCUMENTO PRELIMINAR

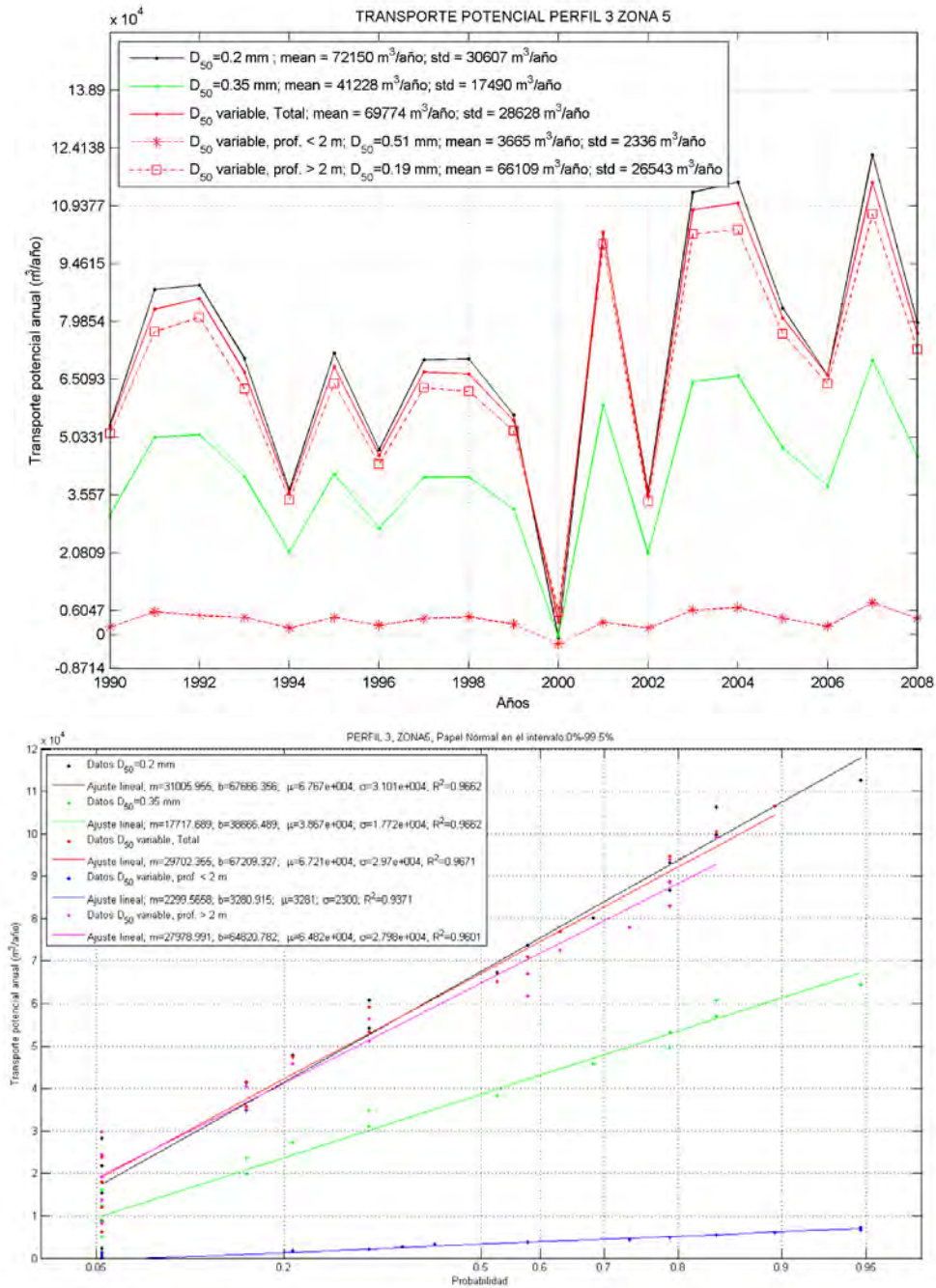


Figura 4.82. En la parte superior variabilidad interanual de las tasas de transporte para las diferentes opciones de tamaño de grano para el PT 5\_3. En la parte inferior distribución del transporte neto multianual en papel normal para las mismas opciones de tamaño de grano para el PT 5\_3.

DOCUMENTO PRELIMINAR

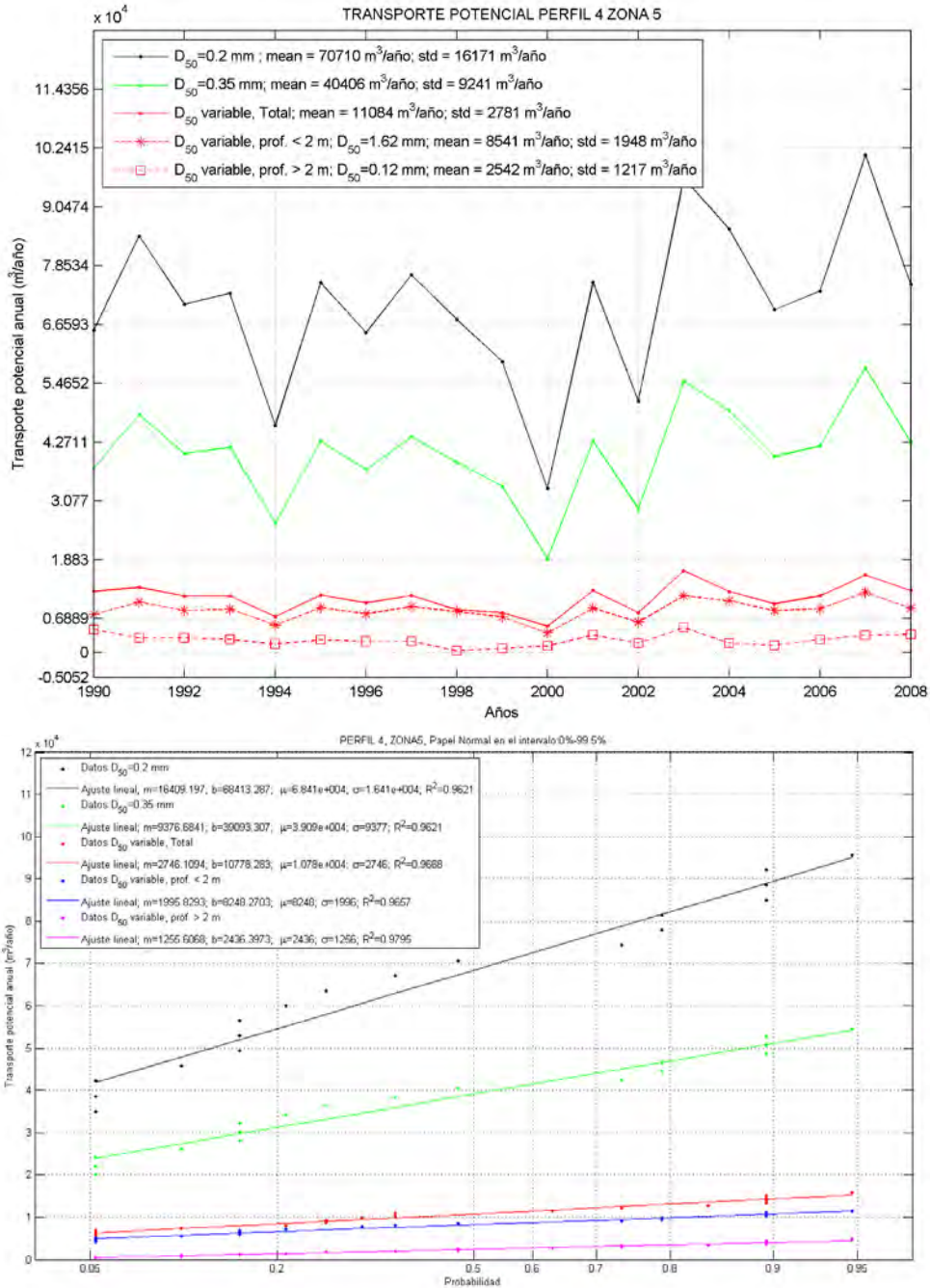


Figura 4.83. En la parte superior variabilidad interanual de las tasas de transporte para las diferentes opciones de tamaño de grano para el PT 5\_4. En la parte inferior distribución del transporte neto multianual en papel normal para las mismas opciones de tamaño de grano para el PT 5\_4.

DOCUMENTO PRELIMINAR

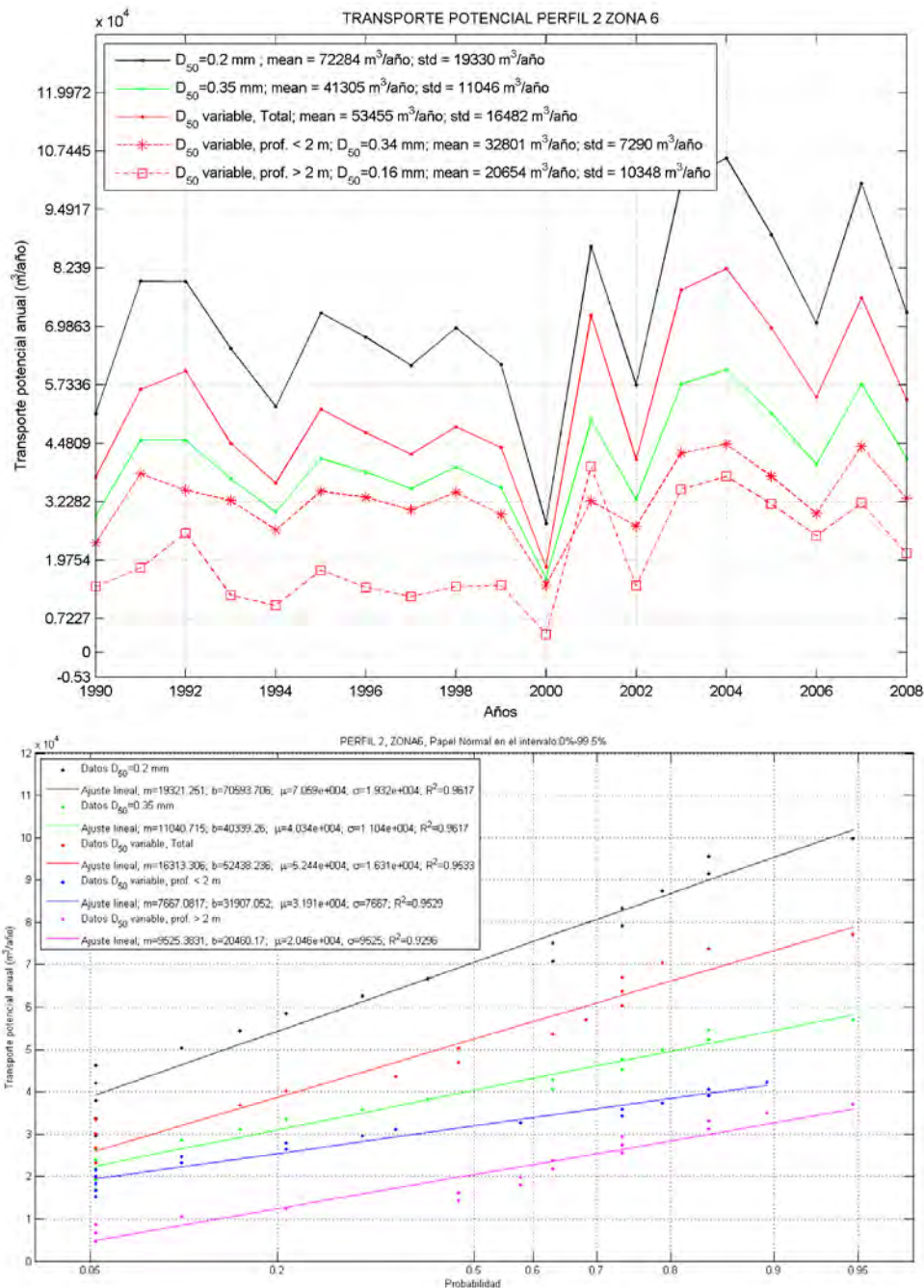


Figura 4.84. En la parte superior variabilidad interanual de las tasas de transporte para las diferentes opciones de tamaño de grano para el PT 6\_2. En la parte inferior distribución del transporte neto multianual en papel normal para las mismas opciones de tamaño de grano para el PT 6\_2.

DOCUMENTO PRELIMINAR

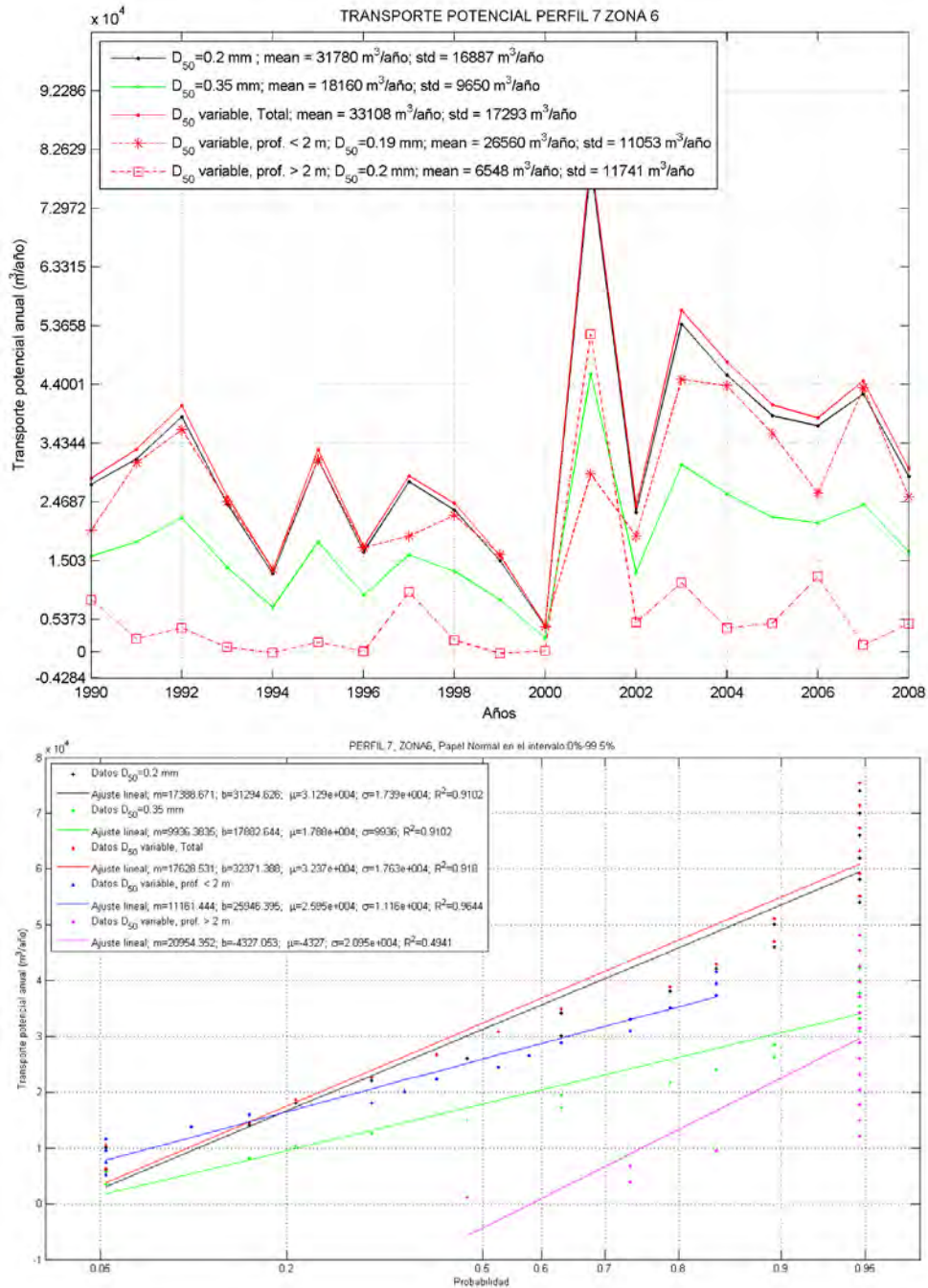


Figura 4.85. En la parte superior variabilidad interanual de las tasas de transporte para las diferentes opciones de tamaño de grano para el PT 6\_7. En la parte inferior distribución del transporte neto multianual en papel normal para las mismas opciones de tamaño de grano para el PT 6\_7.

DOCUMENTO PRELIMINAR

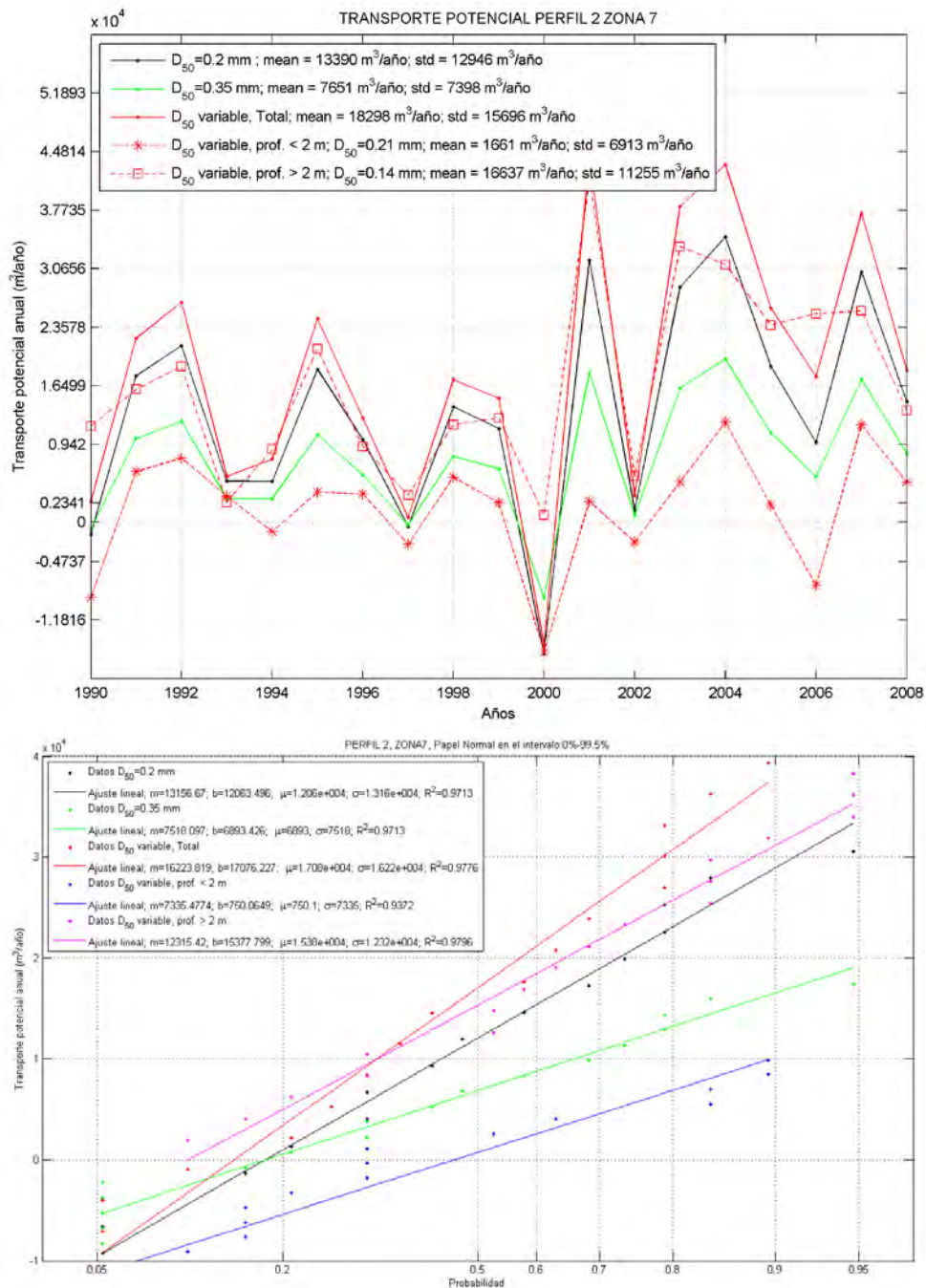


Figura 4.86. En la parte superior variabilidad interanual de las tasas de transporte para las diferentes opciones de tamaño de grano para el PT 7\_2. En la parte inferior distribución del transporte neto multianual en papel normal para las mismas opciones de tamaño de grano para el PT 7\_2.



DOCUMENTO PRELIMINAR

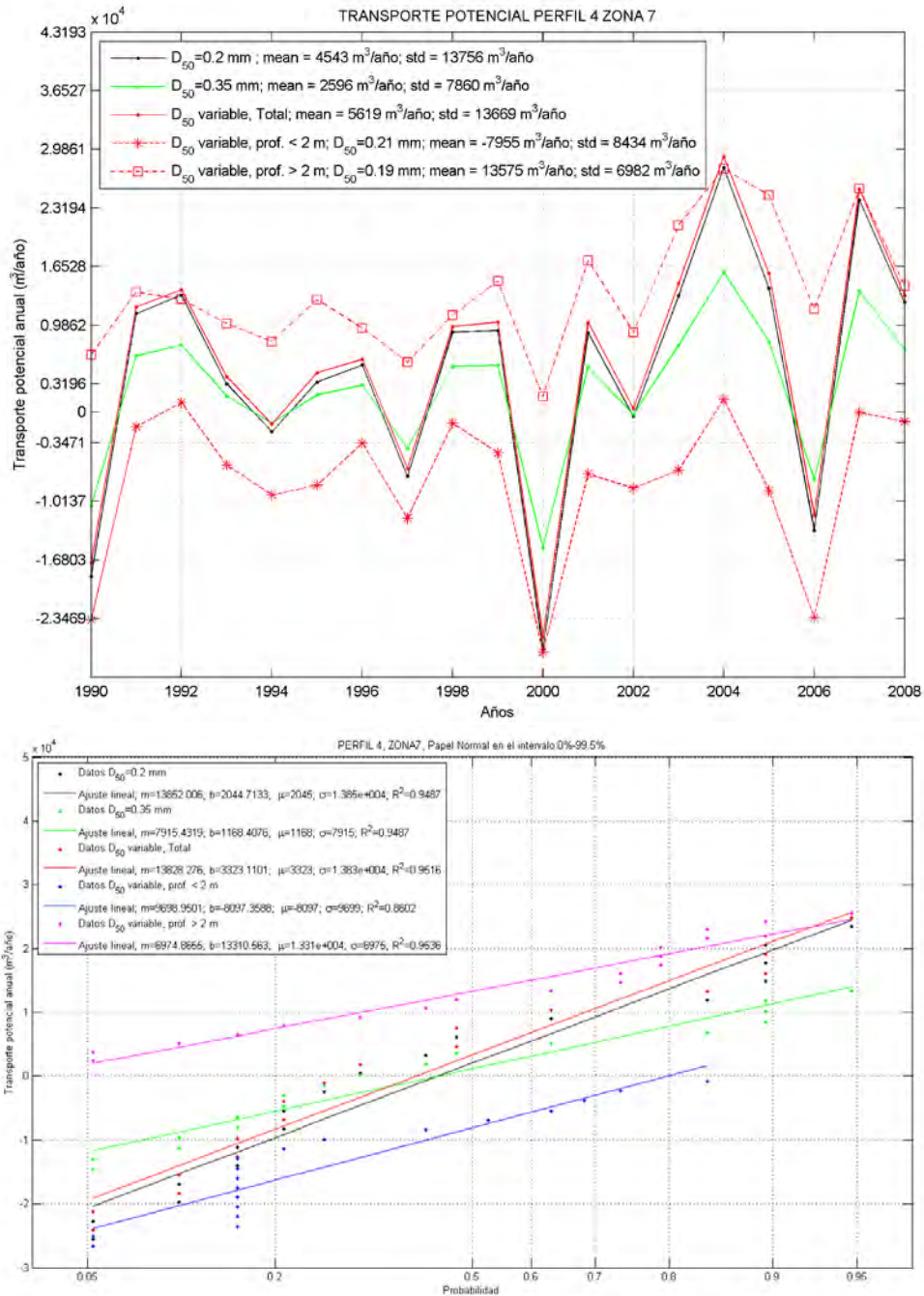


Figura 4.87. En la parte superior variabilidad interanual de las tasas de transporte para las diferentes opciones de tamaño de grano para el PT 7\_4. En la parte inferior distribución del transporte neto multianual en papel normal para las mismas opciones de tamaño de grano para el PT 7\_4.

DOCUMENTO PRELIMINAR

A partir de la observación de las gráficas superiores de las figuras 4.76 a 4.87 se pueden extraer una serie de consideraciones interesantes:

- El transporte medio anual para todos los años y para todas las opciones de tamaño de grano es siempre positivo (de Norte a Sur) para todos los perfiles analizados en todas las zonas a excepción de la zona 7, zona en la que para algunos años el transporte medio anual es negativo (de Sur a Norte). En el perfil PT 5\_3 para un año (en concreto el año 2000) el transporte medio anual es negativo en el caso de tamaño de grano variable para el transporte existente en línea de orilla (profundidad menor que 2 m).
- La variabilidad interanual en el transporte pone en evidencia que en determinados años abundan más los oleajes procedentes del Este (levantes), como son los años 2001, 2003, 2004 y 2007 y en otros años (los menos) los oleajes que predominan son los procedentes del Sur (los ponientes), como son los años 1994 y 2000. Con la idea de ilustrar este hecho en la tabla 4.53 y la figura 4.88 se presenta para toda la unidad fisiográfica analizada las rosas de oleaje en el punto de rotura de los perfiles 3 de cada zona para dos años muy concretos: el año 2000 (rosa superior, ejemplo de año con predominancia de los oleajes del Sur) y el año 2007 (rosa inferior, ejemplo de año con predominancia de los oleajes del Este). Tal y como se observa en la figura 4.88 y como también se pone de manifiesto en la tabla 4.53, entre el año 2000 y el año 2007 puede haber diferencias en el flujo medio de energía en el punto de rotura de hasta casi 6 grados (véase la tabla 4.53 en la que se presenta esta dirección del flujo medio de energía para los perfiles indicados y para ambos años).
- De la comparación de la desviación típica con los valores medios de las tasas de transporte anual en el caso de los tamaños de grano de 0.2 mm y 0.35 mm (véase la tabla 4.54 en la que indican para los perfiles seleccionados la media y la desviación típica para cada una de las opciones de tamaño de grano) se ha podido observar que, la desviación típica es mayor a medida que se avanza hacia el Sur, siendo de entre un 22 y un 34 % del valor medio en la zona 1 hasta el perfil PT 6\_2 de la zona 6 (a excepción del perfil PT 5\_3 de la zona 5 con un valor del 42%) y aumentando a partir de este último perfil hasta el perfil PT 7\_4 en el que se alcanza un valor máximo de la desviación típica (que es 3 veces la media).
- De la comparación de la desviación típica con los valores medios de las tasas de transporte anual en el caso de los tamaños de grano variables (véase la tabla 4.54 en la que indican para los perfiles seleccionados la media y la desviación típica para cada una de las opciones de tamaño de grano) se ha podido establecer que existe mayor variabilidad que en el caso de los tamaños de grano uniformes de 0.2 mm y de 0.35 mm. Así pues, en el caso del transporte en todo el perfil entre la zona 1 y la zona 6 la desviación típica es entre un 25 % y un 52 % del valor medio pero sin una tendencia como en el caso anterior, aumentando en la zona 7 hasta casi 2.5 veces el valor medio en el perfil PT 7\_4. En el caso del

## DOCUMENTO PRELIMINAR

transporte en línea de orilla (profundidad menor que 2 m) la desviación es inferior, entre un 20 y un 31 % del valor medio hasta el perfil PT 6\_2 de la zona 6 (a excepción del PT 5\_3 de la zona 5 con un valor del 64 %), aumentando a partir del perfil PT 6\_7 hasta ser 4 veces el valor medio para el perfil PT 7\_2. Por último, en el caso del transporte en profundidad (profundidad mayor que 2 m) la desviación es mayor que en el caso del transporte en línea de orilla (entre un 40 - 56 % hasta el perfil PT 6\_2, a excepción del PT 3\_4, aumentando hasta 1.8 veces la media para el perfil PT 6\_7.

Perfil	Año	
	2000	2007
PT 1_3	S 65.1 °E	S 69.6 °E
PT 2_3	S 56.0 °E	S 59.3 °E
PT 3_3	S 61.2 °E	S 64.7 °E
PT 4_3	S 61.2 °E	S 67.1 °E
PT 5_3	S 70.0 °E	S 74.1 °E
PT 6_3	S 75.4 °E	S 77.4 °E
PT 7_3	S 80.9 °E	S 84.3 °E

Tabla 4.53. Comparación de la dirección del flujo medio de energía en el año 2000 y en el año 2007.

Perfil		D50=0.2 mm	D50=0.35 mm	D50 variable total	D50 variable prof. <2m	D50 variable prof. >2m
PT 1_3	mean	76272	43584	3197	0	3197
	std	20533	11733	1671	0	1671
PT 2_4	mean	87484	49991	14785	2985	11800
	std	26287	15021	5723	856	5100
PT 2_6	mean	101836	58192	50781	11403	39378
	std	30340	17337	19404	2839	17158
PT 3_2	mean	83104	47488	60810	2748	58062
	std	28574	16328	32977	561	32665
PT 3_4	mean	76592	43767	31758	20388	11370
	std	25375	14500	16163	6442	12939
PT 4_5	mean	71400	40800	20305	7089	13215
	std	19860	11349	6123	1968	4668
PT 5_3	mean	72150	41228	69774	3665	66109
	std	30607	17490	28628	2336	26543
PT 5_4	mean	70710	40406	11084	8541	2542
	std	16171	9241	2781	1948	1217
PT 6_2	mean	72284	41305	53455	32801	20654
	std	19330	11046	16482	7290	10348
PT 6_7	mean	31780	18160	33108	26560	6548
	std	16887	9650	17293	11053	11741
PT 7_2	mean	13390	7651	18298	1661	16637
	std	12946	7398	15696	6913	11255
PT 7_4	mean	4543	2596	5619	-7955	13575
	std	13756	7860	13669	8434	6982

Tabla 4.54. Valores medios de las tasas de transporte anual y desviación típica para los perfiles seleccionados en cada zona y para todas las opciones de tamaño de grano analizadas.

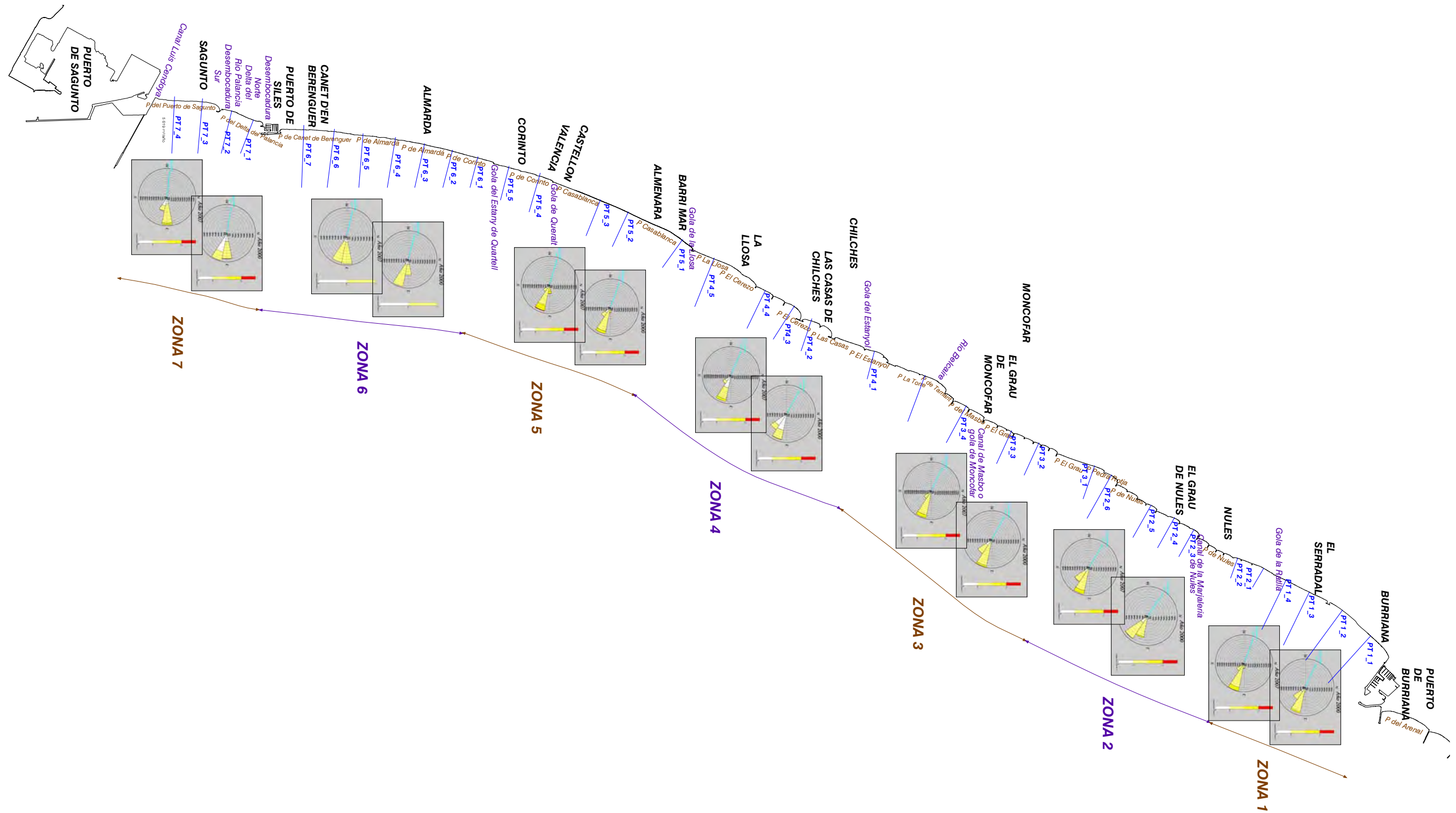


Figura 4.88. Rosas de oleaje en punto de rotura para los años 2000 (rosa superior) y 2007 (rosa inferior). Las rosas de oleaje corresponden a los perfiles 3 de cada zona.

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

A partir de la observación de las gráficas inferiores de las figuras 4.76 a 4.87 se pueden extraer una serie de consideraciones interesantes:

- El ajuste de la distribución del transporte anual neto a una distribución normal es aceptable para todos los perfiles y todos los casos, a excepción del transporte con tamaño variable en profundidad mayor que 2 m para el caso de los perfiles PT 3\_4 y PT 6\_7.
- Del ajuste de la distribución del transporte a una distribución normal se obtienen una serie de valores característicos (los valores del 50 %, del 80 % y del 90 % del ajuste a una distribución normal de la distribución del transporte multianual neto), los cuales se indican en las tablas 4.55, 4.56, 4.57, 4.58 y 4.59. En estas tablas también se indican los valores de la desviación típica. En cada una de estas cinco tablas se presentan los correspondientes valores para todas las opciones de tamaños de grano analizadas. En el caso de los tamaños de grano de 0.2 mm y de 0.35 mm, el valor del 90 % es del orden de 1.44 veces el valor del 50% como media para las zonas 1 a 6. En el caso de la zona 7 el valor del 90 % es mucho mayor, de 2.4 veces el valor del 50% para el perfil PT 7\_2 y de 9.7 veces el valor del 50 % para el perfil PT 7\_4 (en estos dos últimos perfiles las tasas medias anuales son más pequeñas, por eso el valor del 90 % con respecto a estas tasas es más elevado). En el caso del tamaño de grano variable, el valor del 90 % para el perfil completo es de 1.56 veces el valor del 50 % como media para las zonas 1 a 6 y de 2.22 veces el valor del 50 % para el perfil PT 7\_2 y de 6.33 veces el valor del 50 % para el perfil PT 7\_4. En el caso del transporte en línea de orilla (profundidad menor que 2 m) el valor del 90 % es 1.42 veces el valor del 50 % como media entre la zona 1 a 6, siendo en la zona 7 hasta 13.5 veces el valor del 50 %. Por otra parte, en el transporte en profundidad (profundidad mayor que 2 m) el valor del 90 % es 1.62 veces el valor del 50 % como media entre la zona 1 a 6, y hasta 2 veces en la zona 7.

Perfil	D50=0.2 mm			
	Probabilidad			Desviación típica
	50%	80%	90%	
PT 1_3	73997	91366	100446	20638
PT 2_4	84203	106388	117985	26361
PT 2_6	99390	126422	140553	32119
PT 3_2	81171	105427	118106	28820
PT 3_4	74390	97180	109092	27079
PT 4_5	68607	84952	93495	19421
PT 5_3	67666	93762	107402	31006
PT 5_4	68413	82224	89443	16409
PT 6_2	70594	86855	95355	19321
PT 6_7	31295	45929	53579	17389
PT 7_2	12063	23136	28924	13157
PT 7_4	2045	13703	19797	13852

Tabla 4.55. Valores característicos del ajuste de la distribución del transporte anual neto a una distribución normal para el caso de tamaño de grano de 0.2 mm.

DOCUMENTO PRELIMINAR

Perfil	D50=0.35 mm			
	Probabilidad			Desviación típica
	50%	80%	90%	
PT 1_3	42284	52209	57398	11793
PT 2_4	48116	60793	67420	15063
PT 2_6	56794	72241	80316	18354
PT 3_2	46383	60244	67489	16469
PT 3_4	42508	55531	62338	15473
PT 4_5	39204	48544	53426	11098
PT 5_3	38666	53578	61373	17718
PT 5_4	39093	46985	51110	9377
PT 6_2	40339	49631	54489	11041
PT 6_7	17883	26245	30617	9936
PT 7_2	6893	13221	16528	7518
PT 7_4	1168	7830	11312	7915

Tabla 4.56. Valores característicos del ajuste de la distribución del transporte anual neto a una distribución normal para el caso de tamaño de grano de 0.35 mm.

Perfil	D50 variable, total			
	Probabilidad			Desviación típica
	50%	80%	90%	
PT 1_3	3063	4541	5313	1756
PT 2_4	14687	19606	22178	5845
PT 2_6	49336	66466	75420	20354
PT 3_2	58289	88004	103536	35306
PT 3_4	31006	45453	53005	17166
PT 4_5	19539	24674	27357	6100
PT 5_3	67209	92207	105274	29702
PT 5_4	10778	13089	14298	2746
PT 6_2	52438	66168	73345	16313
PT 6_7	32371	47208	54963	17629
PT 7_2	17076	30731	37868	16224
PT 7_4	3323	14961	21045	13828

Tabla 4.57. Valores característicos del ajuste de la distribución del transporte anual neto a una distribución normal para el caso de tamaño de grano variable y el perfil completo.

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

Perfil	D50 variable, prof.<2m			
	Probabilidad			Desviación típica
	50%	80%	90%	
PT 1_3	0	0	0	0
PT 2_4	2859	3571	3943	845
PT 2_6	11057	13383	14599	2763
PT 3_2	2694	3185	3442	583
PT 3_4	19724	25020	27788	6292
PT 4_5	6840	8455	9299	1919
PT 5_3	3281	5216	6228	2300
PT 5_4	8248	9928	10806	1996
PT 6_2	31907	38360	41733	7667
PT 6_7	25946	35340	40250	11161
PT 7_2	750	6924	10151	7335
PT 7_4	-8097	65	4332	9699

Tabla 4.58. Valores característicos del ajuste de la distribución del transporte anual neto a una distribución normal para el caso de tamaño de grano variable en profundidad menor que 2 m.

Perfil	D50 variable, prof.>2m			
	Probabilidad			Desviación típica
	50%	80%	90%	
PT 1_3	3063	4541	5313	1756
PT 2_4	11544	15724	17909	4966
PT 2_6	38006	52687	60360	17443
PT 3_2	55458	85320	100930	35482
PT 3_4	8794	22747	30040	16578
PT 4_5	12989	16983	19071	4745
PT 5_3	64821	88368	100677	27979
PT 5_4	2436	3493	4046	1256
PT 6_2	20460	28477	32667	9525
PT 6_7	-4327	13309	22527	20954
PT 7_2	15378	25743	31161	12315
PT 7_4	13311	19181	22249	6975

Tabla 4.59. Valores característicos del ajuste de la distribución del transporte anual neto a una distribución normal para el caso de tamaño de grano variable en profundidad mayor que 2 m.

### 4.3.2 Estados morfodinámicos

Tal y como se dijo en apartados previos, separar una playa en dos modos ortogonales independientes en planta y perfil, se a proxima más a la realidad cuanto más cerca estemos de los extremos, ya sea playa reflejante o disipativa. Es por ello que el análisis de los estados modales de las playas del tramo de estudio resulta de interés.

DOCUMENTO PRELIMINAR

El estado morfodinámico de una playa se puede definir en función del parámetro adimensional de caída de grano:

$$\Omega = \frac{H_b}{\omega T} \quad (7)$$

donde  $H_b$  es la altura de ola en rotura,  $\omega$  es la velocidad de caída del grano, la cual depende del  $D_{50}$ , y  $T$  es el periodo del oleaje.

Según la clasificación de Wright et al. (1985) de los estados de evolución para playas micromareales, las playas se clasifican de la siguiente forma:

- R: Reflejante ( $\Omega \leq 2$ )
- BC: Barra-canaleta ( $2 < \Omega \leq 2.6$ )
- BTCC: Barra transversal y corriente de retorno ( $2.6 < \Omega \leq 3.3$ )
- BPR: Barra y playa rítmicas ( $3.3 < \Omega \leq 4$ )
- BLS: Barra longitudinal y seno ( $4 < \Omega \leq 5.5$ )
- D: Disipativa ( $\Omega > 5.5$ )

Los estados morfodinámicos se han establecido en los mismos 36 perfiles en los que se determinó la tasa de transporte, así como la evolución de la línea de costa. Para determinar los estados morfodinámicos de las playas objeto de estudio se ha propagado toda la serie temporal de oleaje hasta la rotura del mismo. Asimismo, dado que a lo largo del perfil de playa el  $D_{50}$  varía, se ha considerado para el cálculo del estado morfodinámico de cada estado de mar el  $D_{50}$  situado en el punto de rotura del oleaje sobre el perfil de playa.

En las figuras 4.89 a 4.95 se muestran los estados morfodinámicos así calculados para cada tramo de la zona de estudio en los perfiles previamente indicados.

En todos los perfiles localizados en el tramo 1, así como en los perfiles 1 y 2 del tramo 2, la costa se comporta la mayor parte del tiempo como reflejante debido a la presencia de una escollera de protección situada en el frente costero.

En general en el tramo 2 el estado modal es también el reflejante. Los perfiles 4 y 5 presentan la mayor parte del tiempo en estado reflejante, aunque también se encuentran estados de barra-canaleta y barra transversal y corriente de retorno. Por otra parte, el perfil 6 posee un tamaño de sedimento más fino, lo cual tiene como consecuencia que aunque el estado modal es el de reflejante, también existen estados disipativos de hasta un 12 % del tiempo.



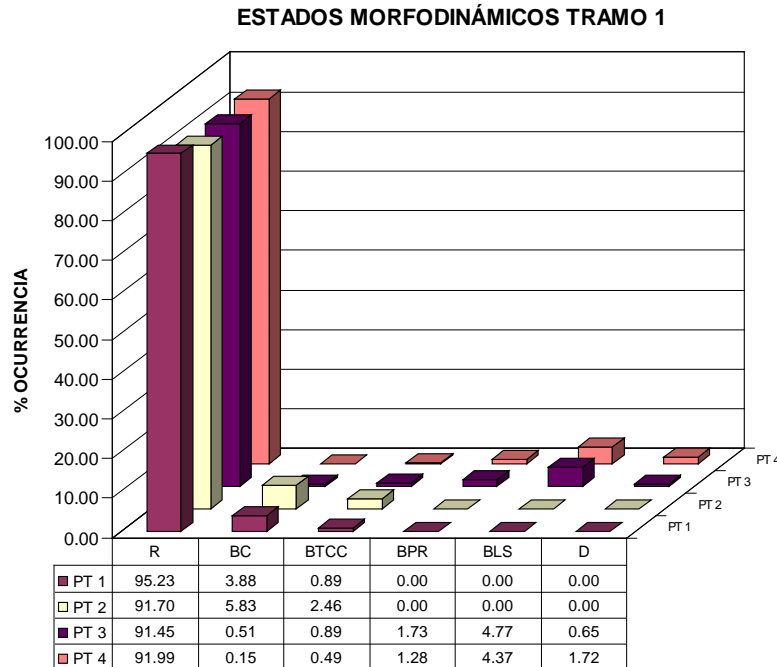


Figura 4.89. Distribución de estados morfodinámicos en el tramo 1.

En los perfiles del tramo 3 también el estado morfodinámico predominante es el reflejante, si bien también se encuentran estados disipativos que responden a la variabilidad de la rotura y del tipo de sedimento existente a diferente profundidad. En este punto merece la pena destacar la influencia del tamaño de grano en el estado modal de la playa, ya que el perfil de playa existente muestra una granulometría muy variable presentando gravas gruesas en el entorno de la línea de costa y arenas finas a partir de los 2 m de profundidad. De este modo, para los estados de mar más energéticos, en los que las olas rompen a más de 2 m, dado que el tamaño de grano considerado es muy pequeño las playas se comportan como disipativas. Por el contrario, en los estados de mar menos energéticos, en los que la rotura se produce cercana a la costa, el tipo de material considerado es más grosero y, por tanto, la playa se comporta como reflejante.

En el tramo 4 el estado modal sigue siendo el de reflejante. Ahora bien, existen una serie de perfiles, en concreto los perfiles PT4\_2 y PT4\_3, los cuales se encuentran ubicados en la zona de los diques y entornos con un tamaño de grano más fino, esto tiene como consecuencia que el estado modal en estos casos sea el de barra longitudinal y seno.

En el tramo 5 en la mayor parte de los perfiles el estado modal es el de reflejante. En los perfiles 2, 4 y 5 de este tramo el reflejante es el estado predominante. En el perfil 1 prácticamente la mitad del tiempo se encuentra en estado reflejante y la otra mitad del tiempo en estado disipativo dependiendo de donde rompa y del material existente. El perfil 3 tiene un tamaño de sedimento menor, siendo su estado modal disipativo.

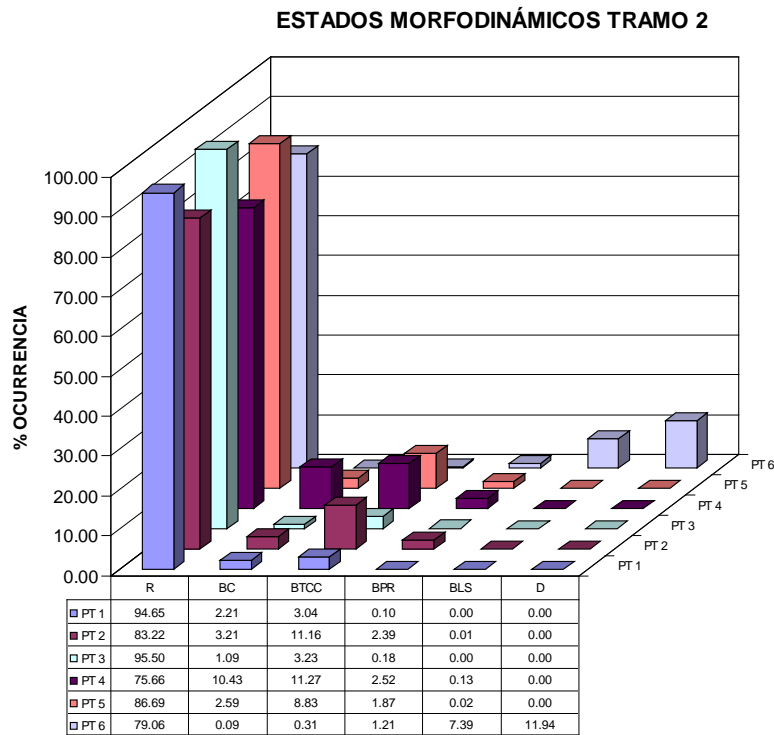


Figura 4.90. Distribución de estados morfodinámicos en el tramo 2.

Las playas del tramo 6, compuestas principalmente por arenas, salvo en los primeros perfiles, que presentan aún algunas gravas, muestran mayor variedad de estados modales, coexistiendo todos los posibles estados morfodinámicos. Ahora bien, en los 3 primeros perfiles del tramo 6 predominan los estados reflejantes, barra-canaleta y barra-transversal y corriente de retorno, mientras que en los 4 últimos perfiles del tramo 6 el estado predominante es el de barra longitudinal y seno.

Las playas del tramo 7 también presentan mayor variabilidad en cuanto a los estados morfodinámicos. En el primer perfil del tramo 7 se vuelve a dar la bimodalidad en la playa debido a la presencia de arenas finas a una cierta profundidad y de escollera en el frente de playa. El resto de perfiles, en los que fundamentalmente se encuentra arena fina, los estados modales predominantes varían entre barra transversal y corriente de retorno, barra y playa rítmicas y barra longitudinal y seno.

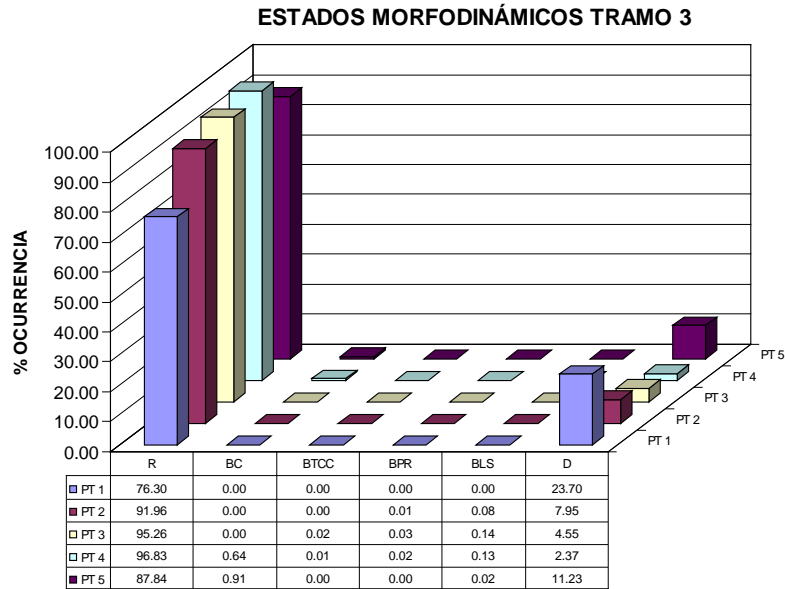


Figura 4.91. Distribución de estados morfodinámicos en los tramos 3.

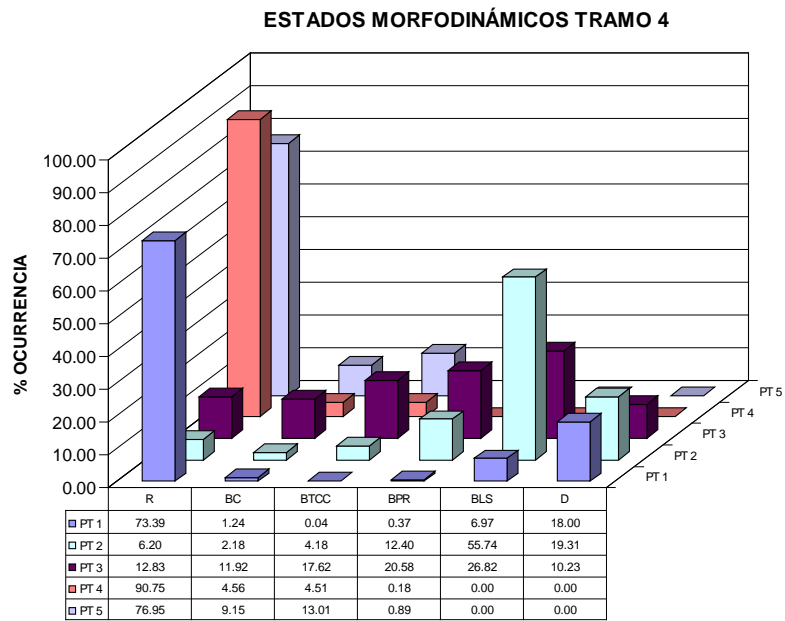


Figura 4.92. Distribución de estados morfodinámicos en los tramos 4.

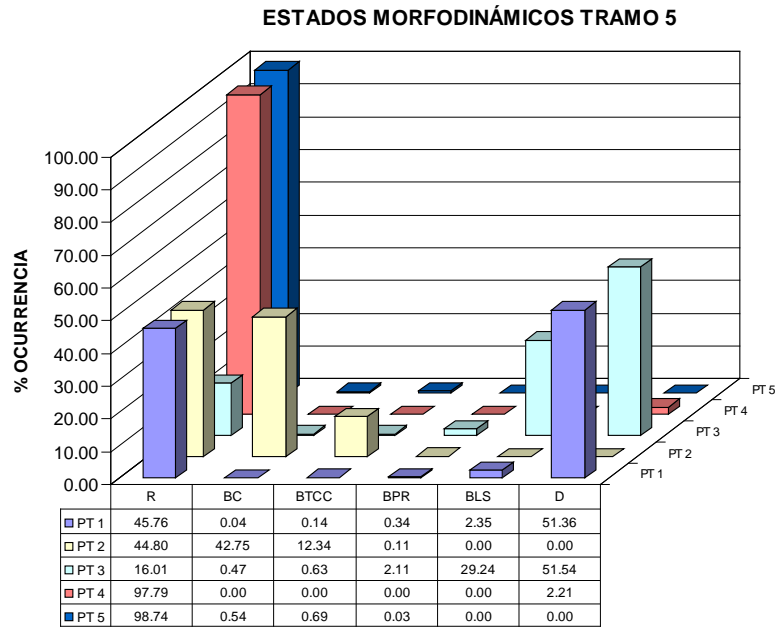


Figura 4.93. Distribución de estados morfodinámicos en el tramo 5.

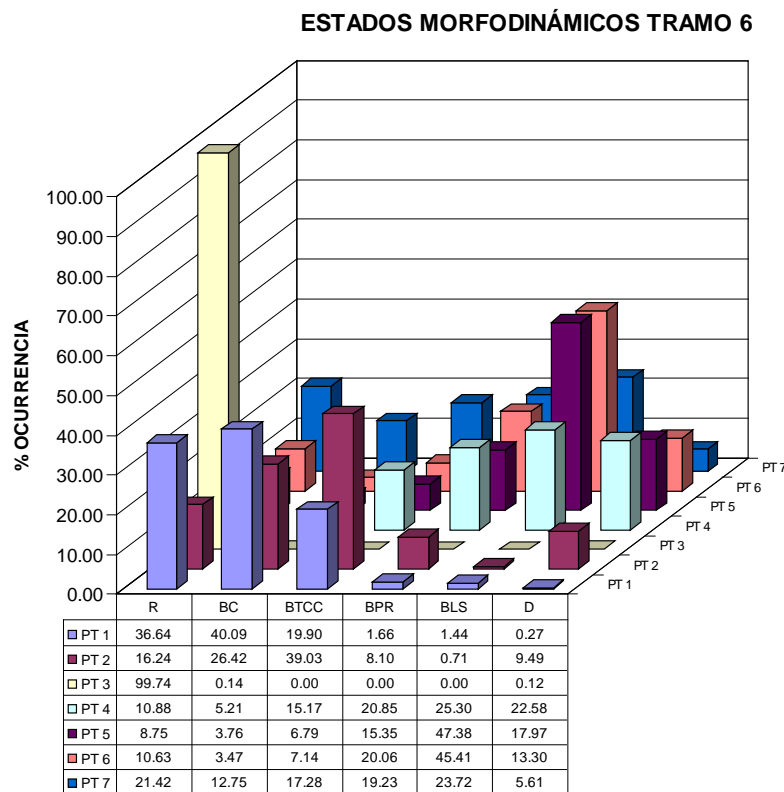


Figura 4.94. Distribución de estados morfodinámicos en el tramo 6.

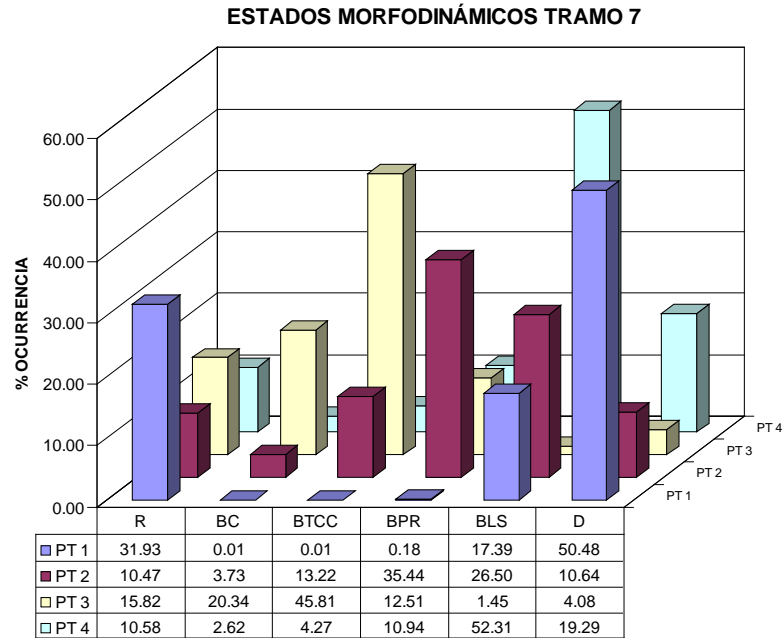


Figura 4.95. Distribución de estados morfodinámicos en el tramo 7.

## 4.4. Análisis en corto plazo

En el capítulo anterior se realizó el estudio del oleaje y del sistema de corrientes para un par de casos representativos del oleaje en la zona de estudio (véase el estudio detallado en el capítulo 3). Estos dos casos fueron: un caso representativo de los oleajes más frecuentes y más energéticos en la zona de estudio, los oleajes del Este y un caso representativo de los oleajes que generan un sistema de corrientes opuesto al anterior, los oleajes del Sur. Estos dos casos ilustran la existencia de un sistema de corrientes en la zona de estudio con sentidos radicalmente opuestos, lo cual tiene como consecuencia que el sedimento existente se pueda movilizar también en dos sentidos opuestos, como ya ha sido comprobado en apartados previos de este documento.

### 4.4.1. Unidad fisiográfica

Del análisis del sistema de corrientes en la zona de estudio (véase gráficos 3.96 a 3.123 del capítulo anterior) se extraen una serie de conclusiones generales para toda la unidad fisiográfica analizada:

- El oleaje que alcanza la zona de estudio presenta variación en cuanto a direcciones de procedencia. Esto tiene como consecuencia que las corrientes de

DOCUMENTO PRELIMINAR

rotura en la zona de estudio presentan también variación, tanto en magnitud, como en sentido de las corrientes, en función de la dirección de procedencia del mismo.

- Ahora bien, la zona de estudio se encuentra sometida la mayor parte del tiempo a un sistema de corrientes con sentido de Norte a Sur asociada a los oleajes más frecuentes y más energéticos de la zona (los oleajes del Este). Las diferentes estructuras ubicadas entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto (espigones, diques exentos, golas e incluso el Puerto de Siles) se extienden sólo hasta una profundidad de 1 m, 2 m o hasta 3 m en el caso del Puerto de Siles, por lo que incluso en el caso de perfil mixto, sólo el sedimento en línea de orilla tipo gravas queda contenido en dichas estructuras la mayor parte del tiempo. Así pues, las corrientes existentes con sentido de Norte a Sur recorren toda la unidad fisiográfica, movilizándose el sedimento susceptible de ser transportado de Norte a Sur (en perfiles mixtos principalmente el sedimento fino existente en profundidad mayor que 1 m).
- En ocasiones puntuales menos frecuentes y asociado a los temporales del Sur, el sistema de corrientes se invierte llevando un sentido de Sur a Norte desde el Puerto de Sagunto al Puerto de Burriana. En este caso, los comentarios son los mismos que en el caso anterior (con sentido contrario). Este sistema de corrientes permite que se pueda recuperar parte del sedimento fino transportado por los oleajes del Este hacia el Sur.

#### **4.4.2. Cada zona**

Del análisis del sistema de corrientes en la zona de estudio (véase gráficos 3.96 a 3.123 del capítulo anterior) se extraen una serie conclusiones para cada zona analizada:

- ✓ ZONA 1 (El Serradal), del Puerto de Burriana a la Gola de La Ratlla (véase figuras 3.96 a 3.99 del capítulo anterior). Debido a la difracción generada por el Puerto de Burriana, existe una variación longitudinal de la altura de ola en la proximidad de dicho Puerto, la cual es más acusada para los oleajes con dirección media procedente del primer cuadrante. El oleaje alcanza la costa con un ángulo considerable generándose un sistema de corrientes que lleva sentido Norte-Sur para los oleajes del primer cuadrante, los cuales son los dominantes y más frecuentes de la zona, y un sentido Sur-Norte para los oleajes del tercer cuadrante.
- ✓ ZONA 2 (Nules), de la Gola de La Ratlla a la Playa de Pedra Rotja (véase figuras 3.100 a 3.103 del capítulo anterior). En esta zona, aunque existen varios espigones de pequeña longitud (del orden de 15), no se encuentran elementos de una importancia similar a la del Puerto de Burriana para la zona anterior. Esta es

DOCUMENTO PRELIMINAR

la razón por la que, a grandes rasgos existe bastante uniformidad longitudinal del oleaje. De nuevo se vuelve a encontrar un patrón de corrientes similar al de la Zona 1. Para la configuración geométrica de esta zona, el oleaje alcanza la costa con un ángulo relevante generándose un sistema de corrientes que lleva sentido Norte-Sur para los oleajes del primer cuadrante, los cuales son los dominantes y más frecuentes de la zona, y un sentido Sur-Norte para los oleajes del tercer cuadrante. En esta zona la presencia de los espigones modifica localmente el sistema de corrientes asociado. Ahora bien, merece la pena destacar que los espigones no suponen una barrera al sistema de corrientes existentes.

- ✓ ZONA 3 (Moncofar), de la Playa de Pedra Rotja a la Playa de La Torre (véase figuras 3.104 a 3.107 del capítulo anterior). En la Zona 3 se distinguen elementos tales como espigones y diques exentos. Dichos elementos son de reducidas dimensiones y se encuentran muy próximos a la costa modificando el oleaje sólo localmente en sus inmediaciones. El patrón de corrientes existente en esta zona es similar al de la zona anterior. Así pues, los elementos existentes tampoco suponen una barrera al sistema de corrientes existente, dirigiéndose para los oleajes del primer cuadrante las corrientes de Norte a Sur en todo el tramo y en sentido Sur-Norte para los oleajes del tercer cuadrante.
- ✓ ZONA 4 (Chilches), de la Playa de El Estanyol a la Gola de La Llosa (véase figuras 3.108 a 3.111 del capítulo anterior). En la Zona 4 también se encuentran espigones y diques exentos. Dichos elementos, al igual que en la zona anterior, sólo modifican el oleaje localmente en sus inmediaciones y no suponen una barrera al sistema de corrientes existente. El patrón del sistema de corrientes es similar al de la zona anterior.
- ✓ ZONA 5 (Almenara), de la Gola de La Llosa a la Gola del Estany de Quartell (véase figuras 3.112 a 3.115 del capítulo anterior). En esta zona la batimetría existente supone una variación longitudinal de la altura de ola que alcanza la misma, generándose un sistema de corrientes de mayor magnitud en la zona próxima a la Gola del Estany de Quartell. Para los oleajes del primer cuadrante toda la zona analizada se ve sometida a un sistema de corrientes de Norte a Sur y para los oleajes del tercer cuadrante el sistema de corrientes lleva en toda la zona el sentido contrario.
- ✓ ZONA 6 (Almardá y Canet de Berenguer), de la Gola del Estany de Quartell al Puerto de Siles (véase figuras 3.116 a 3.119 del capítulo anterior). En esta zona el principal elemento a destacar es el Puerto de Siles. Sin embargo, los oleajes más frecuentes y más energéticos en la zona de estudio (los del primer cuadrante) no se ven especialmente modificados en la Zona 6 por la presencia del Puerto de Siles. El tramo de costa de la Zona 6 se encuentra sometido a un sistema de corrientes de Norte a Sur para los oleajes del primer cuadrante y de Sur a Norte para los oleajes del tercer cuadrante. En este contexto el Puerto de

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

Siles no permite independizar el tramo de costa al Norte del mismo del tramo de costa al Sur de dicho Puerto.

- ✓ ZONA 7 (Sagunto), del Puerto de Siles al Puerto de Sagunto (véase figuras 3.120 a 3.123 del capítulo anterior). En el tramo de costa correspondiente a la Zona 7 se distinguen los Puertos de Siles y de Sagunto, así como el espigón en la desembocadura Sur del Río Palancia. Merece la pena destacar que en el caso de los oleajes del primer cuadrante, aunque el espigón en la desembocadura Sur del Río Palancia no independiza la zona al Norte de dicho espigón con la zona al Sur del mismo, sin embargo el Puerto de Sagunto supone una barrera al sistema de corrientes existente, independizando la zona al Norte del Puerto con la zona al Sur de éste. En el caso de los oleajes del tercer cuadrante el sistema de corrientes se dirige del Puerto de Sagunto al Puerto de Siles.

## **4.5. Modelo morfodinámico de funcionamiento**

### **4.5.1. Introducción**

Después del estudio realizado en el presente apartado se establece el modelo morfodinámico de funcionamiento del sistema analizado.

El tramo de costa ubicado entre los Puertos de Burriana y de Sagunto ha sufrido y sufre severos problemas de erosión que afectan tanto a zonas habitadas como a espacios naturales. Las causas de dichos problemas son múltiples y entre ellas se encuentran la ausencia de aportes de material de las diversas rieras existentes en el tramo, la gran capacidad de transporte de Norte a Sur debida al oleaje reinante de la zona, la presencia del Puerto de Burriana, que supone una barrera a la llegada del sedimento procedente del Norte, la elevada ocupación del frente litoral por urbanizaciones que da lugar a que más del 40% del tramo esté antropizado, etc. Tampoco se debe olvidar que a lo largo de los años y con la idea de solucionar los problemas de erosión local en determinadas zonas habitadas (Moncofar, Chilches, Almenara), se han dispuesto diferentes elementos, tales como escolleras, espigones y diques exentos.

Merece la pena recalcar que, aunque la dinámica marina en la zona de estudio ha sido establecida con una resolución de 10 m (véase Capítulo 3), debido a la gran extensión de la zona analizada (26 kilómetros), el estudio de transporte sólido litoral se ha llevado a cabo considerando los 36 perfiles transversales indicados a lo largo del presente capítulo, los cuales se encuentran separados entre sí una distancia media del orden del kilómetro. Dichos perfiles son representativos de las condiciones de transporte medias espaciales de la zona en la que se ubican pero no reproducen (ni tampoco era esa la intención) las condiciones puntuales de determinadas áreas. Por lo tanto, los resultados obtenidos a lo largo de este capítulo son acordes con la escala espacial previamente indicada. Así pues,



DOCUMENTO PRELIMINAR

el estudio de transporte litoral a una resolución de mayor detalle no ha sido el objetivo del presente trabajo.

#### **4.5.2. Modelo de funcionamiento del sistema analizado en el corto plazo**

Del análisis del sistema de corrientes en la zona de estudio se extraen una serie de conclusiones en cuanto al modelo de funcionamiento del sistema analizado en el corto plazo:

- El oleaje que alcanza la zona de estudio presenta variación en cuanto a direcciones de procedencia. Esto tiene como consecuencia que las corrientes de rotura en la zona de estudio presentan también variación, tanto en magnitud, como en sentido de las corrientes, en función de la dirección de procedencia del mismo.
- Ahora bien, la zona de estudio se encuentra sometida la mayor parte del tiempo a un sistema de corrientes con sentido de Norte a Sur asociada a los oleajes más frecuentes y más energéticos de la zona (los oleajes del Este). Las diferentes estructuras ubicadas entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto (espigones, diques exentos, golas e incluso el Puerto de Siles) se extienden sólo hasta una profundidad de 1 m, 2 m o hasta 3 m en el caso del Puerto de Siles, por lo que incluso en el caso de perfil mixto, sólo el sedimento en línea de orilla tipo gravas queda contenido en dichas estructuras la mayor parte del tiempo. Así pues, las corrientes existentes con sentido de Norte a Sur recorren toda la unidad fisiográfica, movilizándose el sedimento susceptible de ser transportado de Norte a Sur (en perfiles mixtos principalmente el sedimento fino existente en profundidad mayor que 1 m).
- En ocasiones puntuales menos frecuentes y asociado a los temporales del Sur, el sistema de corrientes se invierte llevando un sentido de Sur a Norte desde el Puerto de Sagunto al Puerto de Burriana. En este caso, los comentarios son los mismos que en el caso anterior (con sentido contrario). Este sistema de corrientes permite que se pueda recuperar parte del sedimento fino transportado por los oleajes del Este hacia el Sur.

#### **4.5.3. Modelo de funcionamiento en el pasado: tasas históricas de transporte**

Del análisis de la variación de sedimento en el período comprendido entre Agosto de 1965 y Junio de 1972, se pudo establecer las siguientes consideraciones en cuanto a las tasas de transporte de sedimento:

DOCUMENTO PRELIMINAR

- En toda la zona analizada los transportes medios anuales llevaban sentido de Norte a Sur, siendo los gradientes espaciales de estas tasas muy importantes.
- En la zona 1 (El Serradal) el transporte alcanzaba valores medios espaciales de 34085 m<sup>3</sup>/año en el período 1965-1972 (y de 60830 m<sup>3</sup>/año en el período 1947-1956 donde todavía no se había dispuesto la escollera). Esta zona se encontraba en estado de erosión.
- En la zona 2 (Nules) la tasa de transporte era la más elevada de toda la unidad fisiográfica analizada con valores medios espaciales de 121456 m<sup>3</sup>/año. Esta zona también se encontraba en estado de erosión
- En la zona 3 (Moncofar) la tasa de transporte era más reducida con un valor medio espacial de 90424 m<sup>3</sup>/año. Esta zona se encontraba parte del tramo en estado de acumulación de sedimento y parte en estado de erosión.
- En la zona 4 (Chilches) el transporte medio espacial era de 89719 m<sup>3</sup>/año, siendo esta tasa muy similar a la del tramo anterior. Al igual que la zona 3, esta zona se encontraba parte del tramo en estado de acumulación de sedimento y parte en estado de erosión.
- En la zona 5 (Almenara) la tasa de transporte media espacial era de 89549 m<sup>3</sup>/año, siendo esta tasa muy similar a la del tramo anterior. Prácticamente casi la totalidad de esta zona se encontraba en estado de acumulación de sedimento.
- En la zona 6 (Almardá hasta el Puerto de Siles) la tasa de transporte media espacial era de 66944 m<sup>3</sup>/año, tasa inferior a la del tramo anterior. Este tramo se encontraba en estado de acumulación de sedimento.
- En la zona 7 (Sagunto) la tasa de transporte media espacial era de 43379 m<sup>3</sup>/año. Este tramo también se encontraba en estado de acumulación de sedimento.

#### **4.5.4. Comparación de las tasas de transporte pasadas y las actuales en el caso hipotético de que el sedimento fuera uniforme longitudinalmente y en profundidad**

De la comparación entre las tasas de transporte pasadas y actuales en el caso de que el sedimento fuera uniforme longitudinalmente y en profundidad se pueden destacar los siguientes puntos:

DOCUMENTO PRELIMINAR

- En la zona adyacente al Puerto de Burriana (zona 1) los gradientes espaciales de las tasas históricas eran más elevados que los actuales. Así pues, en el pasado la tasa de erosión de la costa en esta zona era mayor.
- La zona 2 (Nules) en el pasado se encontraba en erosión, siendo los gradientes espaciales históricos en esta zona de mayor magnitud que los de la actualidad. En la actualidad en esta zona en un tramo hay erosión y en otro acumulación, pero de una menor importancia que en el pasado ( gradientes espaciales menores).
- En la zona 3 (Moncofar), a excepción del tramo de transición entre el perfil PT 3\_5 y el PT 4\_1, en la que en la actualidad se observa un gradiente espacial más elevado (este gradiente particular está asociado a la construcción de un dique exento en este punto que genera acumulación de sedimento), en el resto del tramo los gradientes espaciales pasados eran mayores. El tramo 3 en el pasado tenía un primer tramo en estado de acumulación de sedimento y un segundo tramo en estado de erosión. En el presente este tramo se encuentra en estado acumulativo pero de una menor importancia, a excepción del tramo de costa con el dique exento ya indicado.
- En la zona 4 (Chilches), a excepción del tramo de transición entre el perfil PT 4\_5 y el PT 5\_1, en la que en la actualidad el gradiente espacial es más elevado (este gradiente particular está asociado a la existencia en la actualidad de la Gola de La Llosa), en el resto del tramo los gradientes espaciales pasados y presentes son similares pero con una diferencia en cuanto a la tendencia, que en el caso pasado era acumulativa y en el caso presente erosiva (en este punto es importante tener en cuenta la diferencia pasado-actualidad en cuanto a la configuración de la costa en este tramo en el que se han construido diversas estructuras: diques exentos, espigones).
- En la zona 5 (Almenara) los gradientes espaciales actuales son ligeramente más elevados que los que existían en el pasado y con tendencia acumulativa.
- En la zona 6 (Almardá hasta Puerto de Siles) los gradientes espaciales actuales son más elevados que los que existían en el pasado y con tendencia algo erosiva en el primer tramo y bastante acumulativa en el segundo tramo. En este punto también es importante destacar la presencia en la actualidad del Puerto de Siles.
- En la zona 7 (Sagunto), a excepción del tramo de transición entre el perfil PT 7\_1 y el PT 7\_2 (en la realidad hoy en día existe una escollera de protección por lo que los gradientes son menores), en la actualidad los gradientes espaciales son menores. Esto es lógico, ya que aunque tanto en el pasado como en el presente la tendencia de este tramo es acumulativa, sin embargo en el presente es de mucha menor magnitud al estar este tramo saturado de arena y con orientación de la costa cercana a la del flujo medio de energía.

#### **4.5.5. Modelo de funcionamiento en el presente: tasas actuales de transporte en perfil mixto con sedimento en cota cero hasta la batimétrica de 2 m**

La situación existente en la realidad es más complicada ya que en la zona analizada los perfiles de playa son perfiles mixtos en los que se distingue claramente dos tramos en el perfil de playa: un primer tramo, con una pendiente mayor y con un tamaño de grano más elevado (gravas del orden de los 4 mm) y un segundo tramo en profundidad mayor con un a pendiente menor y un tamaño de grano menor (arenas). Además de esta variabilidad en profundidad, también existe una variabilidad longitudinal, ya que en la zona Norte desde el Puerto de Burriana hasta el comienzo de la zona 6, el sedimento existente en línea de costa es de tipo gravas y a partir de la zona 6 hasta el Puerto de Sagunto el sedimento en línea de costa es de tipo arena.

En la situación previamente indicada es relevante diferenciar el transporte existente en profundidad menor que 2 m (transporte en línea de orilla) del que existe en profundidad mayor que 2 m (transporte en profundidad). Del análisis de estos transportes se pueden destacar las siguientes consideraciones:

- En la zona adyacente al Puerto de Burriana (zona 1) como en la actualidad existe escollera los gradientes espaciales de transporte son nulos en profundidad menor que 2 m y despreciables a mayor profundidad. En esta zona debido a la escollera existente no existe transporte en línea de orilla y todo el transporte existente es en profundidad. Dicho transporte tiene un valor medio espacial en este tramo 1 de 4808 m<sup>3</sup>/año.
- En la zona 2 (Nules), debido al gran tamaño del sedimento en línea de orilla (del orden de 4 mm), la mayor parte del transporte se produce en profundidad (a profundidad mayor que 2 m). Asimismo, los gradientes espaciales del transporte en profundidad son más elevados que los existentes en proximidad de la línea de costa (profundidad menor que 2 m) y tienen una tendencia erosiva en este tramo (con el consecuente cambio de la batimetría a profundidad mayor que 2 m). En los dos primeros perfiles del presente tramo ocurre exactamente lo mismo que en los perfiles de la zona 1, es decir, todo el transporte ocurre en profundidad debido a la existencia de una escollera de protección. En el resto de los perfiles de este tramo la tasa media anual media espacial en profundidad menor que 2 m es de 5296 m<sup>3</sup>/año y en profundidad mayor que 2 m es de 17358 m<sup>3</sup>/año. Otras tasas interesantes a resaltar es la tasa más elevada del transporte en línea de costa que es de 11403 m<sup>3</sup>/año y la tasa más elevada del transporte en profundidad que es de 39378 m<sup>3</sup>/año.
- En la zona 3 (Moncofar), debido a que empieza a ser menor la variabilidad en profundidad del tamaño de grano, en algunos perfiles el principal transporte es en

DOCUMENTO PRELIMINAR

profundidad (PT 3\_1, PT 3\_2 y PT 3\_5) y en otros en proximidad de la línea de costa (PT 3\_3 y PT 3\_4). Por otra parte, los gradientes espaciales del transporte en profundidad son mayores que los que existen próximos a la línea de orilla. Otro aspecto interesante de mencionar es que las tendencias en este tramo suelen ser opuestas, así en el primer tramo la tendencia es erosiva en el transporte en línea de orilla y acumulativa en el transporte en profundidad y en el segundo tramo ocurre justo lo contrario, acumulativa en línea de orilla y erosiva en profundidad. Las tendencias en el transporte total en el perfil completo coinciden con las del transporte en profundidad. Los dos primeros perfiles de este tramo tienen un tamaño de grano en línea de orilla del orden de los 3 mm, mientras que en los tres últimos perfiles el tamaño de grano oscila entre los 0.93 mm y los 0.64 mm, esto tiene como consecuencia que el transporte en línea de orilla sea más reducido en los dos primeros perfiles que en el resto de perfiles del tramo, con una tasa media anual entre 3000-4000 m<sup>3</sup>/año para estos dos primeros perfiles y entre 10000-20000 m<sup>3</sup>/año para los tres últimos. Por otra parte, la tasa media anual media espacial en profundidad es de 36174 m<sup>3</sup>/año, con valores máximos de dicha tasa de 61316 m<sup>3</sup>/año.

- En la zona 4 (Chilches) ocurre como en el tramo anterior que, debido a que empieza a ser menor la variabilidad en profundidad del tamaño de grano, en algunos perfiles el principal transporte es en profundidad (PT 4\_1 y PT 4\_5) y en otros en proximidad de la línea de costa (PT 4\_2, PT 4\_3 y PT 4\_4). En este caso los gradientes espaciales del transporte en línea de costa y en profundidad son similares (el sedimento también tiene menos variabilidad en profundidad) y las tendencias también coinciden, en un primer tramo la tendencia es erosiva y en un segundo tramo es acumulativa. En la presente zona se pueden diferenciar por el tamaño del sedimento básicamente los perfiles PT 4\_2 y PT 4\_3 del resto de perfiles del tramo. Los dos perfiles previamente mencionados poseen un sedimento muy diferente al del resto de perfiles de tramo, siendo el sedimento de tipo arena tanto en línea de orilla como en profundidad con un tamaño de grano de 0.2 mm. Esto tiene como consecuencia que las tasas en estos dos perfiles, tanto en línea de orilla como en profundidad, sean más elevadas que en el resto de los perfiles del tramo, siendo de 38367-38318 m<sup>3</sup>/año en línea de orilla y de 22251-31130 m<sup>3</sup>/año en profundidad. En el resto de perfiles de este tramo las tasas medias anuales espaciales son de 6050 m<sup>3</sup>/año en profundidad menor que 2 m (con tasas máximas de 8315 m<sup>3</sup>/año) y de 12817 m<sup>3</sup>/año en profundidad mayor que 2 m (con tasas máximas de 31130 m<sup>3</sup>/año).
- En la zona 5 (Almenara) el principal transporte ocurre en profundidad para los perfiles PT 5\_1, PT 5\_2 y PT 5\_3, y en línea de orilla para los perfiles PT 5\_4 y PT 5\_5. Por otra parte, los gradientes espaciales del transporte en profundidad son más elevados que los existentes en línea de orilla, con el consecuente cambio de la batimetría a partir de 2 m de profundidad, con ganancia de sedimento, pérdida de sedimento y de nuevo ganancia a medida que se avanza de Norte a Sur en la presente zona. En la presente zona existe un primer perfil en el que debido a la

DOCUMENTO PRELIMINAR

configuración particular de esta zona la tasa de transporte existente era elevada, lo cual motivó la disposición de una escollera de protección en dicho perfil. Por esta razón en este perfil sólo existe transporte en profundidad con una tasa bastante elevada de 103567 m<sup>3</sup>/año. En el resto de perfiles del tramo, la tasa media anual media espacial de transporte en línea de orilla es de 5372 m<sup>3</sup>/año con un valor máximo de esta tasa de 8541 m<sup>3</sup>/año y la correspondiente tasa media anual media espacial de transporte en profundidad es de 24419 m<sup>3</sup>/año con un valor máximo de esta tasa de 66109 m<sup>3</sup>/año.

- En la zona 6 (Almardá hasta Puerto de Siles) el transporte ocurre principalmente en profundidad menor que 2 m. Ahora bien, los gradientes espaciales del transporte en profundidad son de mayor importancia que los que ocurren en línea de costa (lo que implica variación del fondo a profundidad mayor que 2 m). En cuanto al transporte en profundidad existe una tendencia acumulativa, erosiva y de nuevo acumulativa a medida que se avanza de Norte a Sur en el tramo. En el transporte en línea de orilla la tendencia es acumulativa en un primer tramo y luego en un segundo tramo erosiva. En la presente zona se pueden diferenciar dos tramos por el valor de las tasas de transporte. Un primer tramo, que va del PT 6\_1 al PT 6\_4, con un valor de la tasa media anual media espacial de 26639 m<sup>3</sup>/año en profundidad menor de 2 m (con valores máximos de dicha tasa de 39002 m<sup>3</sup>/año) y de 17246 m<sup>3</sup>/año en profundidad mayor que 2 m (con valores máximos de dicha tasa de 47188 m<sup>3</sup>/año). Un segundo tramo, que va del PT 6\_5 al PT 6\_7, con un valor de la tasa media anual media espacial de 22257 m<sup>3</sup>/año en profundidad menor de 2 m (con valores máximos de dicha tasa de 26560 m<sup>3</sup>/año) y de 9179 m<sup>3</sup>/año en profundidad mayor que 2 m (con valores máximos de dicha tasa de 16254 m<sup>3</sup>/año).
- Por último en la zona 7 (Sagunto) el transporte ocurre principalmente en profundidad, siendo los gradientes espaciales del transporte en esta zona de menor importancia que los existentes en el tramo comprendido entre el perfil PT 7\_1 y el PT 7\_2, en el que los gradientes en profundidad son considerables. En el resto del tramo los gradientes espaciales en profundidad son del mismo orden que los existentes en línea de orilla (profundidad menor que 2 m). En la presente zona existe un primer perfil en el que debido a la tasa elevada de transporte existente se dispuso una escollera de protección en el mismo. Por este motivo en este perfil sólo existe transporte en profundidad con una tasa de considerable importancia (75531 m<sup>3</sup>/año). En el resto de los perfiles del tramo, la tasa media anual media espacial en línea de orilla es prácticamente nula (recuérdese que la playa en esta zona está saturada de sedimento). Sin embargo, sí que existe una tasa media anual media espacial en profundidad de 11796 m<sup>3</sup>/año con valores máximos de 16637 m<sup>3</sup>/año.

#### **4.5.6. Modelo de funcionamiento en el presente: tasas actuales de transporte en perfil mixto con sedimento en cota cero hasta la batimétrica de 1 m**

En este apartado se presenta el modelo de funcionamiento en el caso de perfil mixto en el que el sedimento existente en línea de orilla se extiende hasta la batimétrica de 1 m. A partir de dicha batimétrica se distingue un sedimento más fino de tipo arenas. Así, por lo tanto, en esta situación se diferencia el transporte existente en profundidad menor que 1 m (transporte en línea de orilla) del que existe en profundidad mayor que 1 m (transporte en profundidad). Del análisis de estos transportes se pueden destacar las siguientes consideraciones:

- En la zona adyacente al Puerto de Burriana (zona 1) como en la actualidad existe escollera los gradientes espaciales de transporte son nulos en profundidad menor que 1 m y de mayor importancia en profundidad mayor. Dicho transporte tiene un valor medio espacial en este tramo de 46600 m<sup>3</sup>/año.
- En la zona 2 (Nules) la mayor parte del transporte se produce en profundidad (a profundidad mayor que 1 m). Asimismo, los gradientes espaciales del transporte en profundidad tienen una tendencia erosiva en este tramo (con el consecuente cambio de la batimetría a profundidad mayor que 1 m). A excepción de los dos primeros perfiles, en los que el tramo se encuentra escollera, en el resto de los perfiles de este tramo la tasa media anual media espacial en profundidad menor que 1 m es de 541 m<sup>3</sup>/año y en profundidad mayor que 1 m es de 57287 m<sup>3</sup>/año. Otras tasas interesantes a resaltar es la tasa más elevada del transporte en línea de costa que es de 213 m<sup>3</sup>/año y la tasa más elevada del transporte en profundidad que es de 99982 m<sup>3</sup>/año.
- En la zona 3 (Moncofar) la mayor parte del transporte se produce en profundidad (a profundidad mayor que 1 m). Asimismo, los gradientes espaciales del transporte en profundidad tienen una tendencia acumulativa en este tramo (con el consecuente cambio de la batimetría a profundidad mayor que 1 m). El transporte en línea de orilla es más reducido en los dos primeros perfiles que en el resto de perfiles del tramo, con una tasa media anual entre 400-500 m<sup>3</sup>/año para estos dos primeros perfiles y entre 1000-7000 m<sup>3</sup>/año para los tres últimos. Por otra parte, la tasa media anual media espacial en profundidad es de 112961 m<sup>3</sup>/año, con valores máximos de dicha tasa de 181485 m<sup>3</sup>/año.
- En la zona 4 (Chilches) también la mayor parte del transporte se produce en profundidad (a profundidad mayor que 1 m). En este tramo los gradientes espaciales del transporte en profundidad tienen una primera zona erosiva, luego acumulativa y por último erosiva de nuevo. Los perfiles PT 4\_2 y PT 4\_3 poseen un sedimento muy diferente al del resto de perfiles del tramo, siendo el sedimento de tipo arena tanto en línea de orilla como en profundidad con un tamaño de grano de 0.2 mm. Esto tiene como consecuencia que las tasas totales

DOCUMENTO PRELIMINAR

en estos dos perfiles sean de 60000-70000 m<sup>3</sup>/año y del resto de los perfiles del tramo de 28000-36000 m<sup>3</sup>/año.

- En la zona 5 (Almenara) el principal transporte ocurre también en profundidad. Por otra parte, los gradientes espaciales del transporte en profundidad indican zonas de erosión y zonas de acumulación alternativamente. Existe un primer perfil en el que debido a la configuración particular de este tramo de costa la tasa de transporte es elevada, lo cual motivó la disposición de una escollera de protección en dicho perfil. Por esta razón en este perfil sólo existe transporte en profundidad con una tasa bastante elevada de 147872 m<sup>3</sup>/año. En el resto de perfiles del tramo, la tasa media anual media espacial de transporte en línea de orilla es de 700 m<sup>3</sup>/año con un valor máximo de esta tasa de 1255 m<sup>3</sup>/año y la correspondiente tasa media anual media espacial de transporte en profundidad es de 58611 m<sup>3</sup>/año con un valor máximo de esta tasa de 100909 m<sup>3</sup>/año.
- En la zona 6 (Almardá hasta Puerto de Siles) también el transporte ocurre principalmente en profundidad mayor que 2 m. Los gradientes espaciales del transporte en profundidad muestran una preponderancia de la acumulación de sedimento en profundidad, con áreas de erosión en ambos límites de la zona. Se pueden distinguir dos zonas. Un primer tramo, que va del PT 6\_1 al PT 6\_4, con un valor de la tasa media anual media espacial de 3200 m<sup>3</sup>/año en profundidad menor de 1 m (con valores máximos de dicha tasa de 6500 m<sup>3</sup>/año) y de 66811 m<sup>3</sup>/año en profundidad mayor que 1 m (con valores máximos de dicha tasa de 88100 m<sup>3</sup>/año). Un segundo tramo, que va del PT 6\_5 al PT 6\_7, con un valor de la tasa media anual media espacial de 1800 m<sup>3</sup>/año en profundidad menor de 1 m (con valores máximos de dicha tasa de 8100 m<sup>3</sup>/año) y de 34400 m<sup>3</sup>/año en profundidad mayor que 1 m (con valores máximos de dicha tasa de 41000 m<sup>3</sup>/año).
- Por último en la zona 7 (Sagunto) el transporte ocurre también principalmente en profundidad mayor que 1 m, indicando los gradientes espaciales del transporte una tendencia a acumulativa en profundidad. Existe un primer perfil en el que debido a la tasa elevada de transporte existente se dispuso una escollera de protección en el mismo. Por este motivo en este perfil sólo existe transporte en profundidad con una tasa de considerable importancia (96500 m<sup>3</sup>/año). En el resto de los perfiles del tramo, existe una tasa media anual media espacial en profundidad de 19600 m<sup>3</sup>/año con valores máximos de 24000 m<sup>3</sup>/año.

#### **4.5.7. Modelo de funcionamiento en el presente: balance sedimentario en perfil mixto con sedimento en cota cero hasta la batimétrica de 2 m**

Teniendo en cuenta todo lo comentado y con base en las tasas de transporte medias anuales establecidas en perfil mixto para la situación actual en los 36 perfiles referenciados en el presente documento, a continuación en las figuras 4.88 a 4.94 se



DOCUMENTO PRELIMINAR

presenta el balance sedimentario en cada tramo de costa entre los perfiles de cálculo del transporte. Este balance sedimentario se efectúa tanto para la zona del perfil en profundidad menor que 2 m (transporte en línea de orilla), como para la zona del perfil en profundidad mayor que 2 m. En las figuras 4.96 a 4.102 el signo negativo significa pérdida de sedimento.

De nuevo se debe recalcar de cara a la interpretación de resultados que se muestran a continuación que, aunque la dinámica marina en la zona de estudio ha sido establecida con una resolución de 10 m (véase Capítulo 3), debido a la gran extensión de la zona analizada (26 kilómetros), el estudio de transporte sólido litoral se ha llevado a cabo considerando los 36 perfiles transversales indicados a lo largo del presente capítulo, los cuales se encuentran separados entre sí una distancia media del orden del kilómetro. Dichos perfiles son representativos de las condiciones de transporte medias espaciales de la zona en la que se ubican pero no reproducen (ni tampoco era esa la intención) las condiciones puntuales de determinadas áreas. Por lo tanto, el balance sedimentario que se muestra a continuación es acorde con la escala espacial previamente indicada. Así pues, el balance sedimentario a una resolución de mayor detalle no ha sido el objetivo del presente trabajo.

Por otra parte, con el objetivo de mostrar el balance sedimentario en toda la unidad fisiográfica, con base a las tasas medias anuales medias espaciales en cada zona se ha calculado el balance sedimentario, presentándose en la figura 4.103 (en dicha figura negativo significa pérdida de sedimento). Como particularidad señalar que en la zona 6 como había dos zonas claras con distintas tasas de transporte se han diferenciado dos zonas. A partir de la figura 4.103 se establece el siguiente balance sedimentario en los tramos que se indican a continuación:

- Del Puerto de Burriana al PT 1\_2-PT 1\_3. No existe variación de sedimento en línea de costa (tramo con escollera) pero sí que existe una variación de sedimento en profundidad mayor que 2 m de  $-4808 \text{ m}^3/\text{año}$  (pérdida de sedimento en profundidad).
- Del PT 1\_2-PT 1\_3 al PT 2\_3. Existe una pérdida de sedimento de  $-5296 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y de  $-12550 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.
- Del PT 2\_3 al PT 3\_2-PT 3\_3. Existe una pérdida de sedimento de  $-5591 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y de  $-18816 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.
- Del PT 3\_2-PT 3\_3 al PT 4\_2-PT 4\_3. Existe una ganancia de sedimento de  $4837 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y de  $23357 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.
- Del PT 4\_2-PT 4\_3 al PT 5\_2-PT 5\_3. Existe una ganancia de sedimento de  $678 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y una pérdida de  $-11602 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

- Del PT 5\_2-PT 5\_3 al PT 6\_2. Existe una pérdida de sedimento de  $-21266 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y una ganancia de  $7173 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.
- Del PT 6\_2 al PT 6\_6. Existe una ganancia de sedimento de  $4381 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y una ganancia de  $8067 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.
- Del PT 6\_6 al PT 7\_2. Existe una ganancia de sedimento de  $22276 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y una pérdida de  $-2617 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.
- Del PT 7\_2 al Puerto de Sagunto. Existe una pérdida de sedimento de  $-19 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa (es decir en línea de costa no hay prácticamente ni pérdida, ni ganancia de sedimento) y una ganancia de  $11796 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.

DOCUMENTO PRELIMINAR

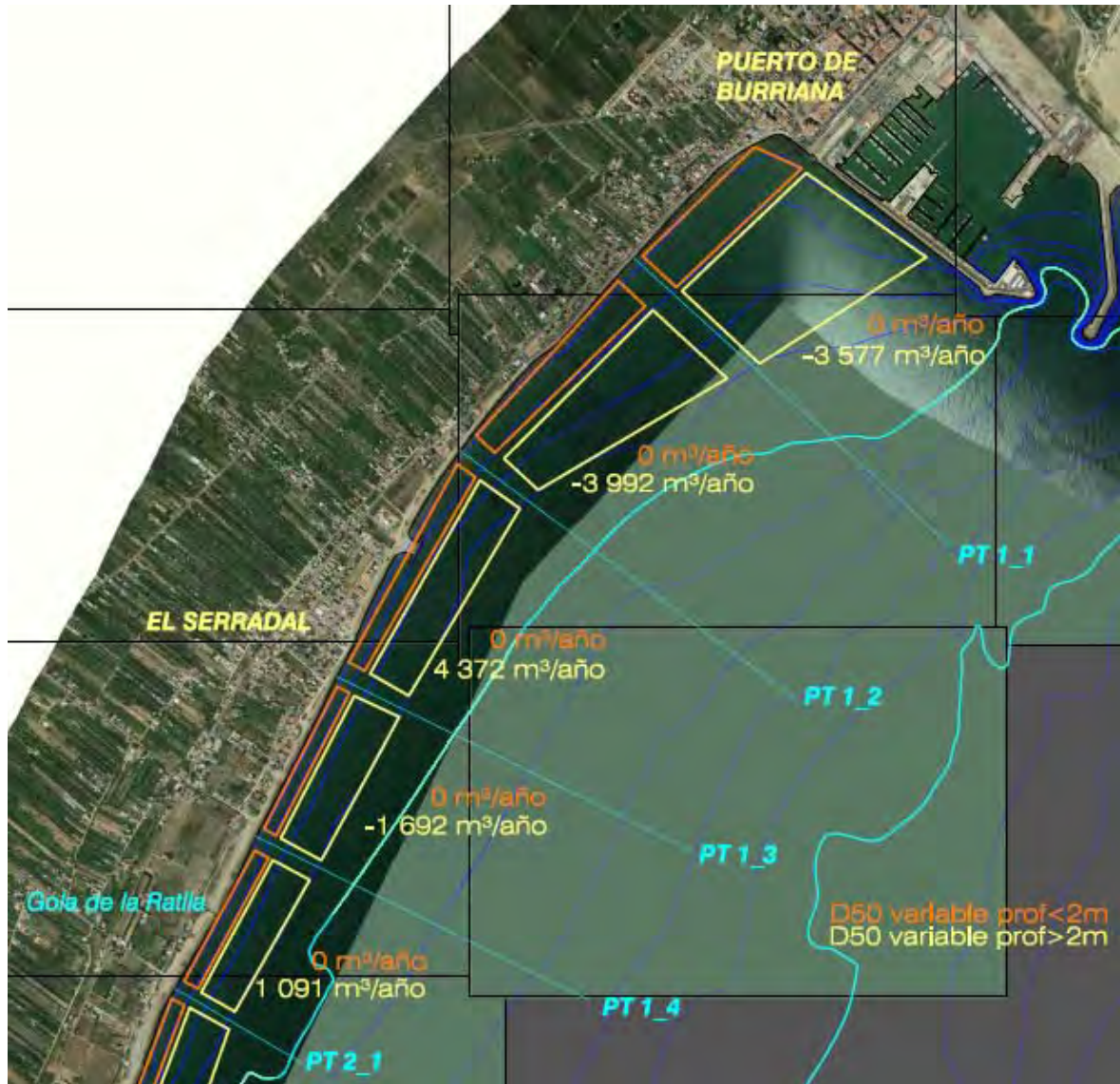


Figura 4.96. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 2 m y mayor que 2 m para la zona 1 (- significa pérdida de sedimento).

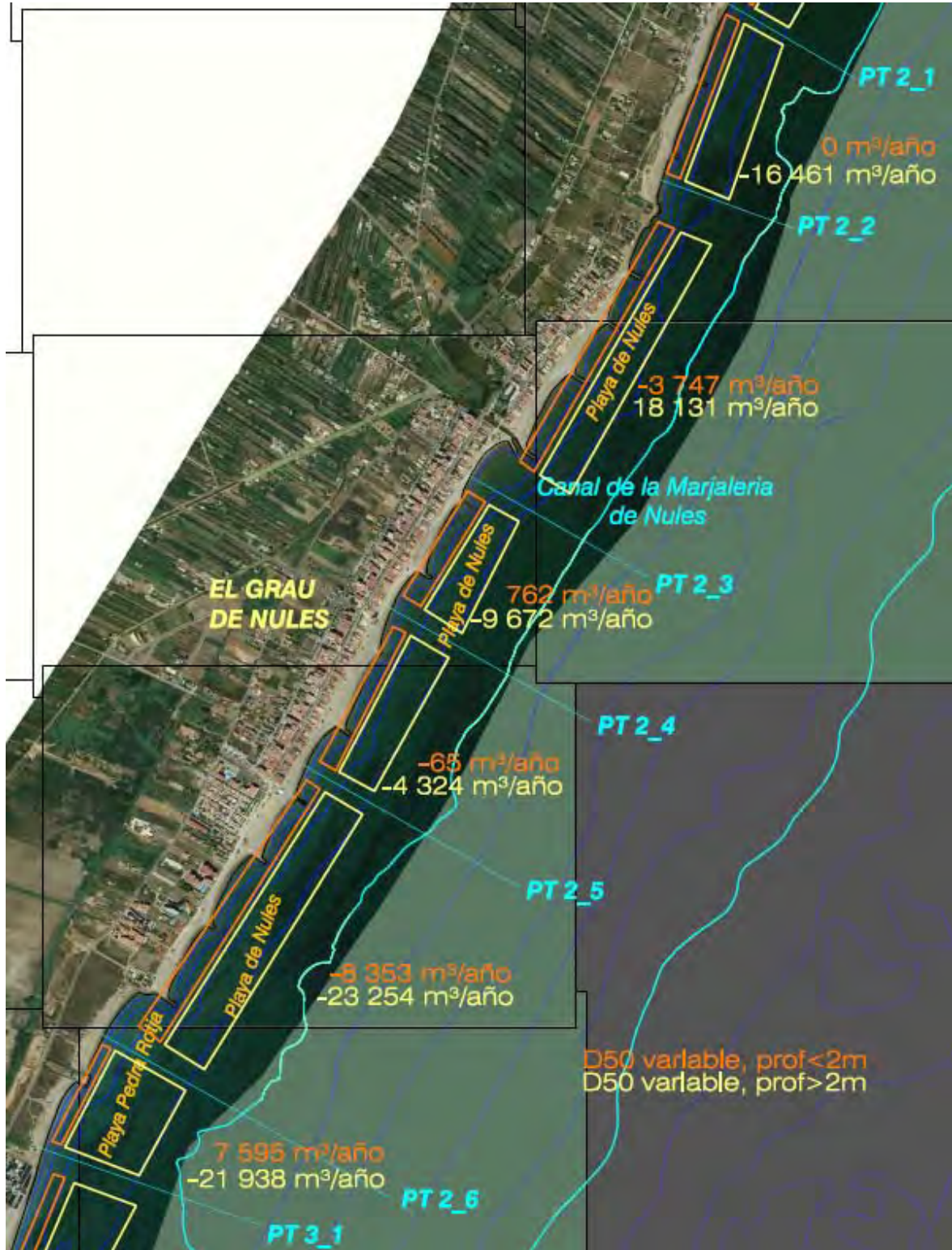


Figura 4.97. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 2 m y mayor que 2 m para la zona 2 (- significa pérdida de sedimento).



Figura 4.98. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 2 m y mayor que 2 m para la zona 3 (- significa pérdida de sedimento).



Figura 4.99. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 2 m y mayor que 2 m para la zona 4 (- significa pérdida de sedimento).

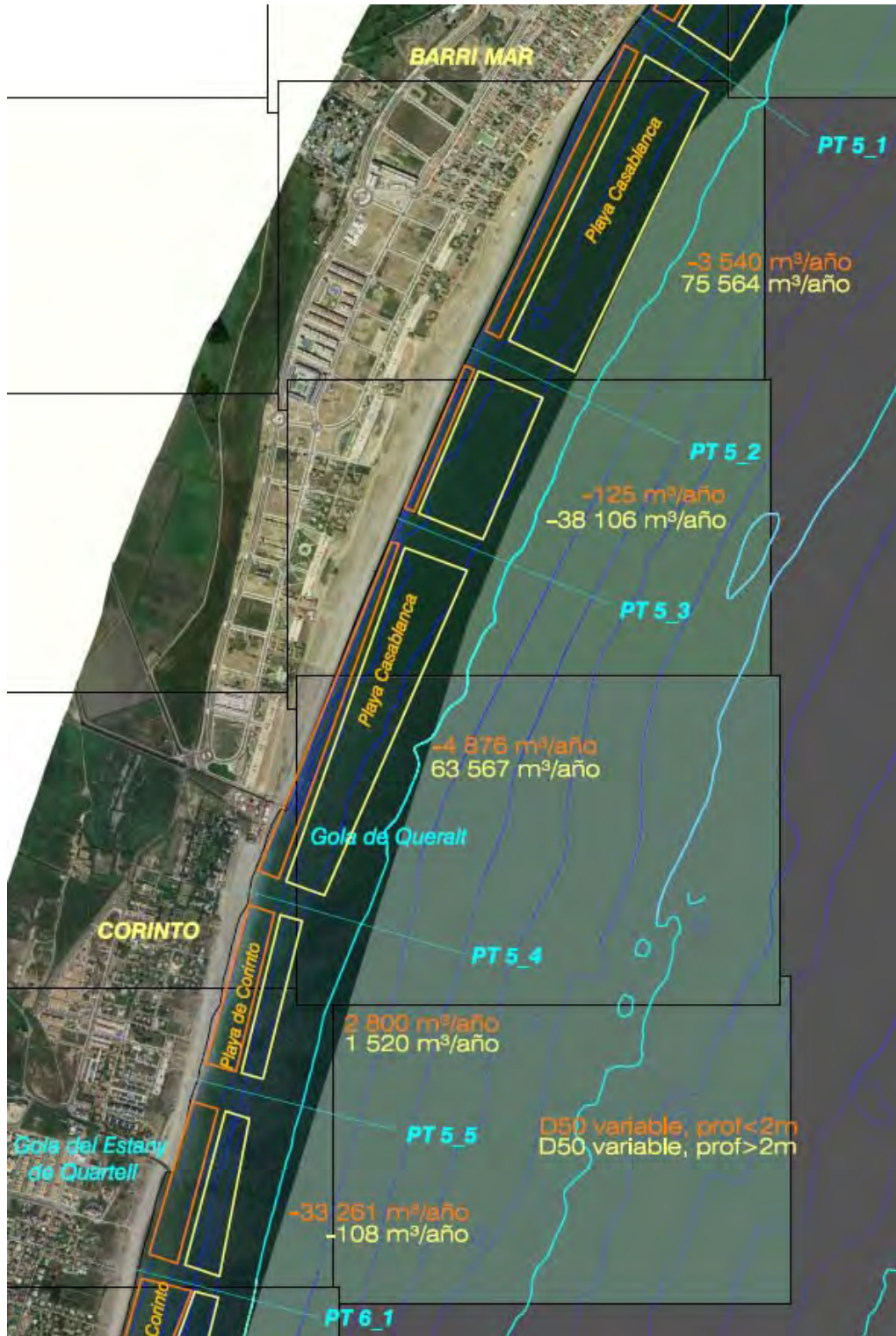


Figura 4.100. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 2 m y mayor que 2 m para la zona 5 (- significa pérdida de sedimento).

DOCUMENTO PRELIMINAR

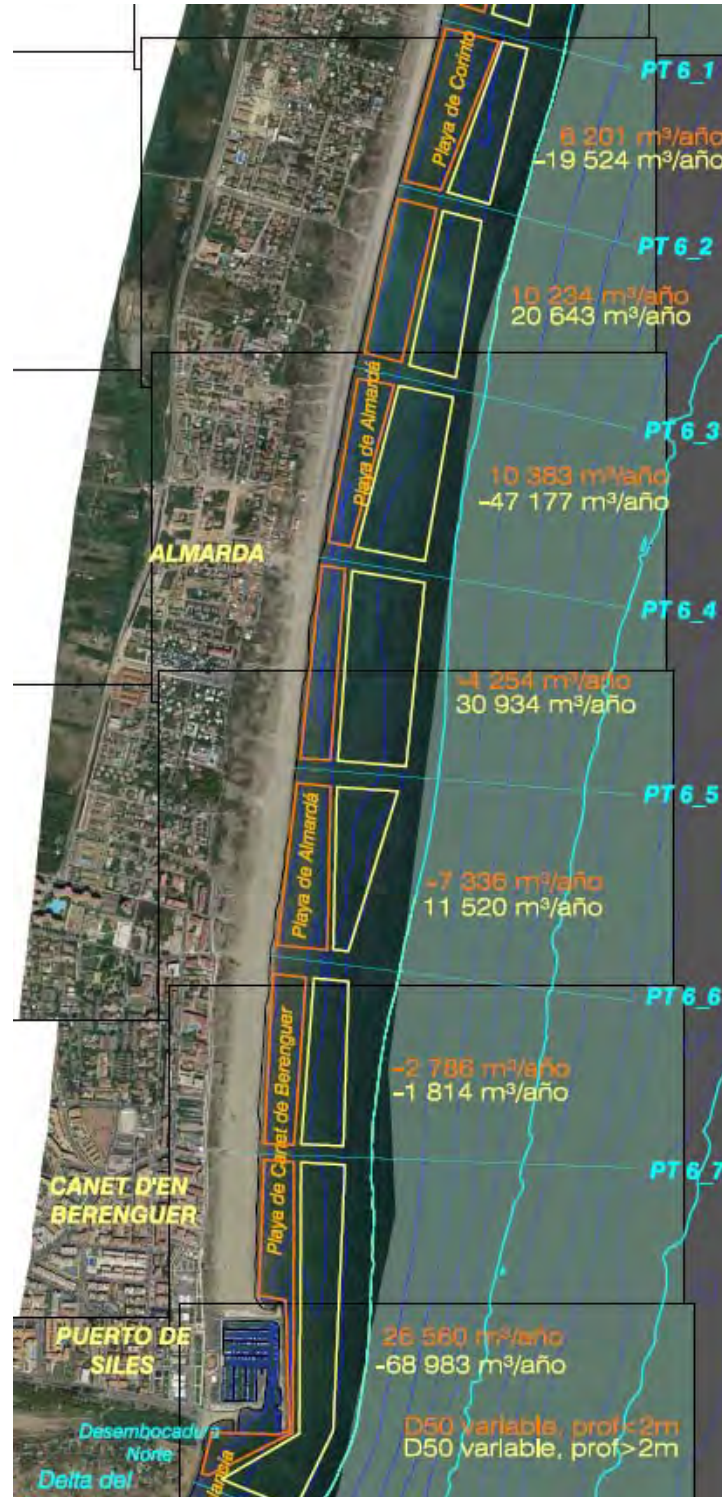


Figura 4.101. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 2 m y mayor que 2 m para la zona 6 (- significa pérdida de sedimento).



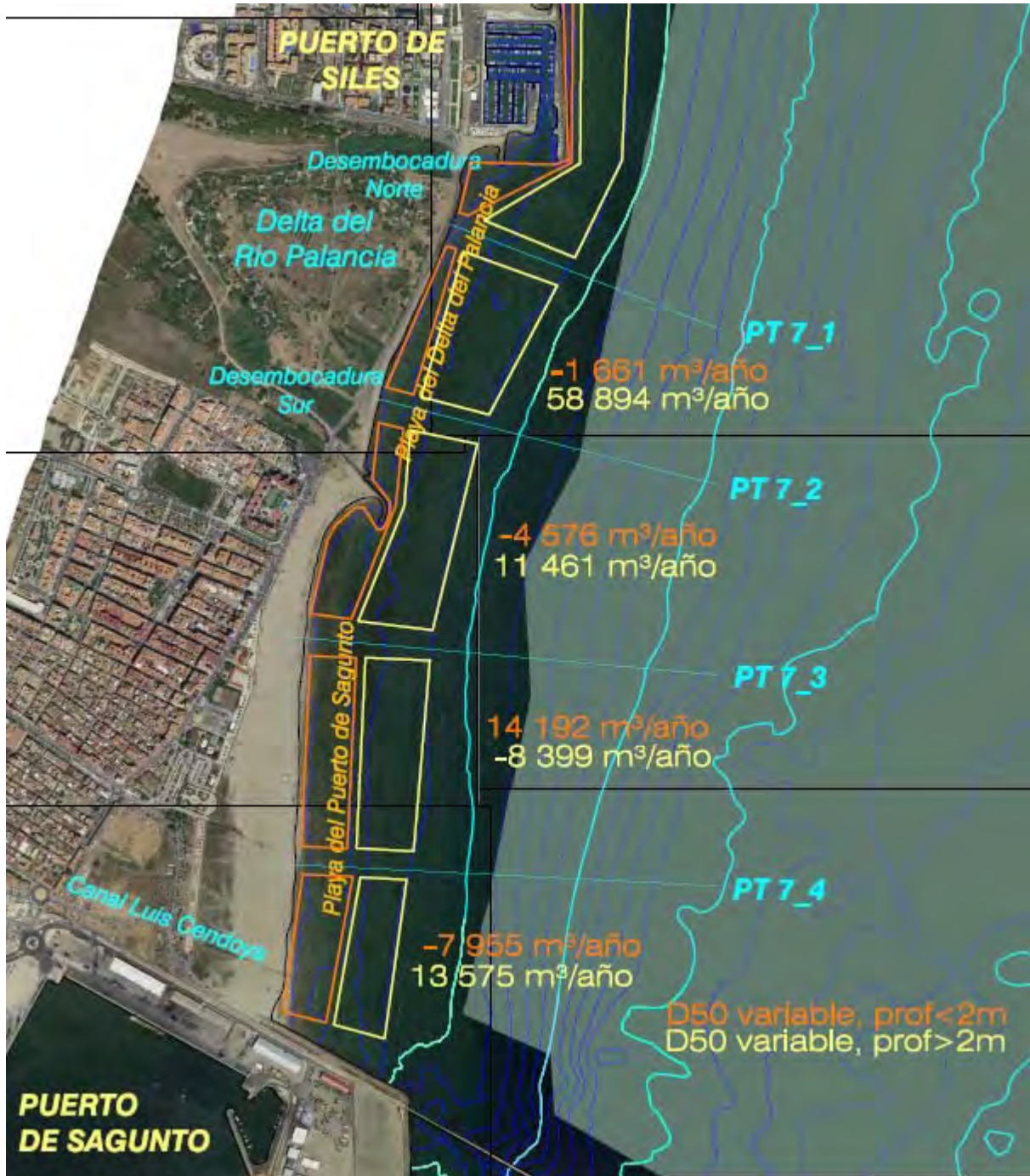


Figura 4.102. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 2 m y mayor que 2 m para la zona 7 (- significa pérdida de sedimento).

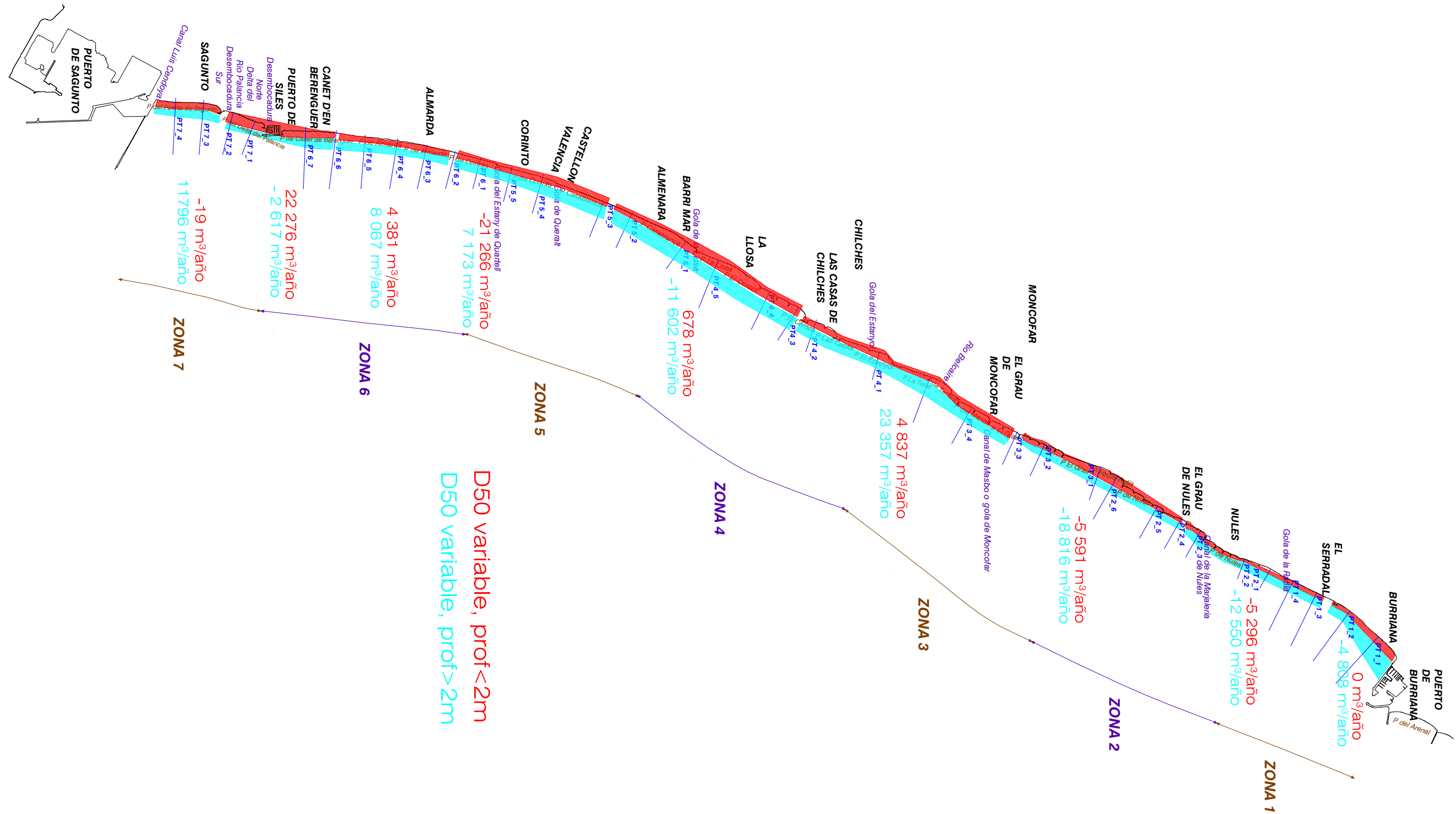


Figura 4.103. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 2 m y mayor que 2 m en la unidad fisiográfica completa (- significa pérdida de sedimento).

#### **4.5.8. Modelo de funcionamiento en el presente: balance sedimentario en perfil mixto con sedimento en cota cero hasta la batimétrica de 1 m**

En este apartado se repite el proceso del apartado anterior pero para el caso de perfil mixto en el que el sedimento en cota cero se extiende hasta la batimétrica de 1 m. En las figuras 4.104 a 4.110 se presenta el balance sedimentario en cada tramo de costa entre los perfiles de cálculo del transporte. Este balance sedimentario se efectúa tanto para la zona del perfil en profundidad menor que 1 m (transporte en línea de orilla), como para la zona del perfil en profundidad mayor que este último valor (recuérdese que el signo negativo significa pérdida de sedimento).

Por otra parte, con el objetivo de mostrar el balance sedimentario en toda la unidad fisiográfica, con base a las tasas medias anuales medias espaciales en cada zona se ha calculado el balance sedimentario, presentándose en la figura 4.111 (en dicha figura negativo significa pérdida de sedimento). A partir de la figura 4.111 se establece el siguiente balance sedimentario en los tramos que se indican a continuación:

- Del Puerto de Burriana al P T 1\_2-PT 1\_3. No existe variación de sedimento en línea de costa (tramo con escollera) pero sí que existe una variación de sedimento en profundidad mayor que 1 m de  $-46600 \text{ m}^3/\text{año}$  (pérdida de sedimento en profundidad).
- Del PT 1\_2-PT 1\_3 al PT 2\_3. Existe una pérdida de sedimento de  $-541 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y de  $-10688 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.
- Del PT 2\_3 al PT 3\_2-PT 3\_3. Existe una pérdida de sedimento de  $-1628 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y de  $-55674 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.
- Del PT 3\_2-PT 3\_3 al PT 4\_2-PT 4\_3. Existe una ganancia de sedimento de  $1787 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y de  $80887 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.
- Del PT 4\_2-PT 4\_3 al PT 5\_2-PT 5\_3. Existe una pérdida de sedimento de  $-321 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y una pérdida de  $-26536 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.
- Del PT 5\_2-PT 5\_3 al PT 6\_2. Existe una pérdida de sedimento de  $-2511 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y una pérdida de  $-8200 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.
- Del PT 6\_2 al PT 6\_6. Existe una ganancia de sedimento de  $1331 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y una ganancia de  $32386 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.
- Del PT 6\_6 al PT 7\_2. Existe una ganancia de sedimento de  $6956 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y una ganancia de  $14825 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.

DOCUMENTO PRELIMINAR

- Del PT 7\_2 al Puerto de Sagunto. Existe una pérdida de sedimento de  $-5074 \text{ m}^3/\text{año}$  en línea de costa y una ganancia de  $19600 \text{ m}^3/\text{año}$  en profundidad.

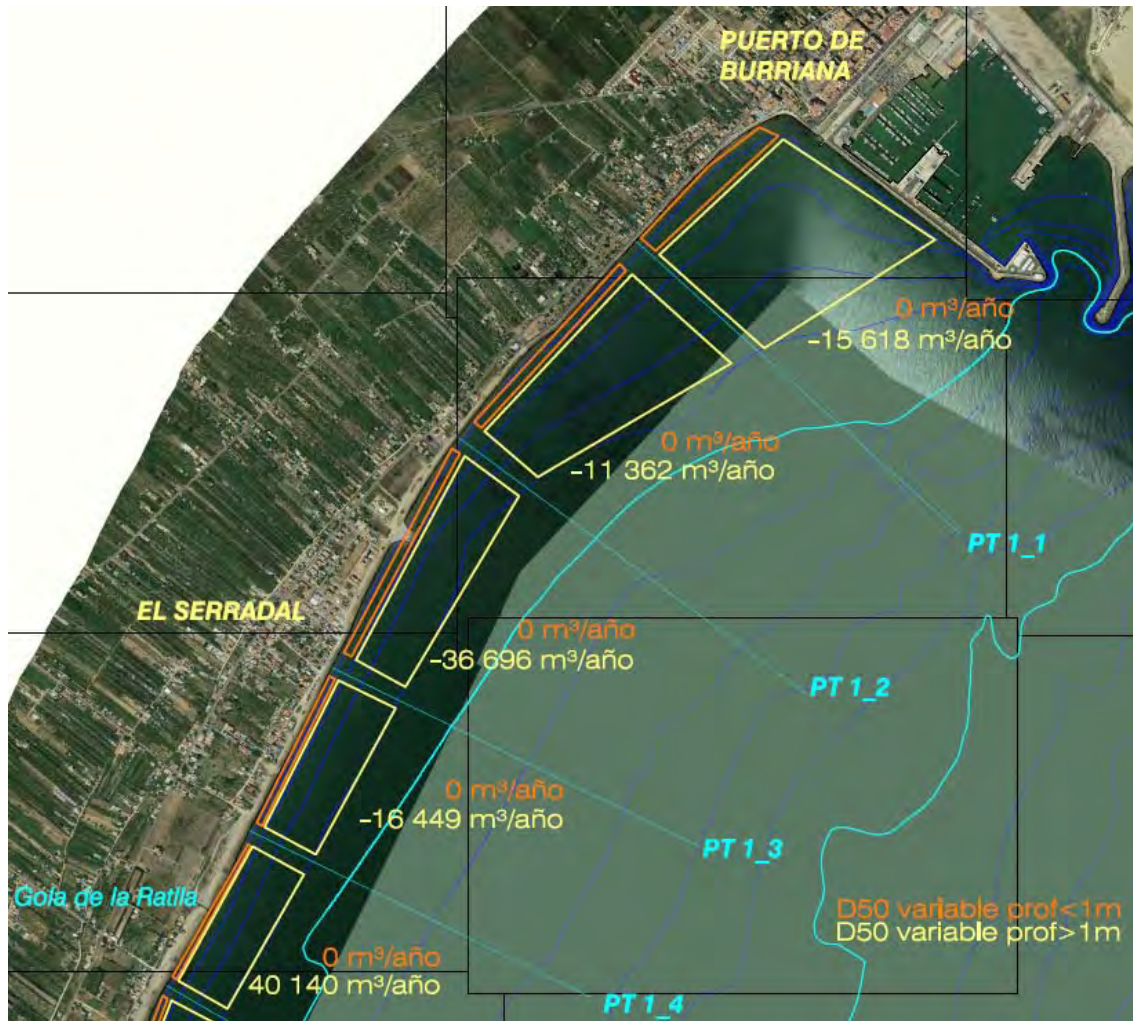


Figura 4.104. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 1 m y mayor que 1 m para la zona 1 (- significa pérdida de sedimento).

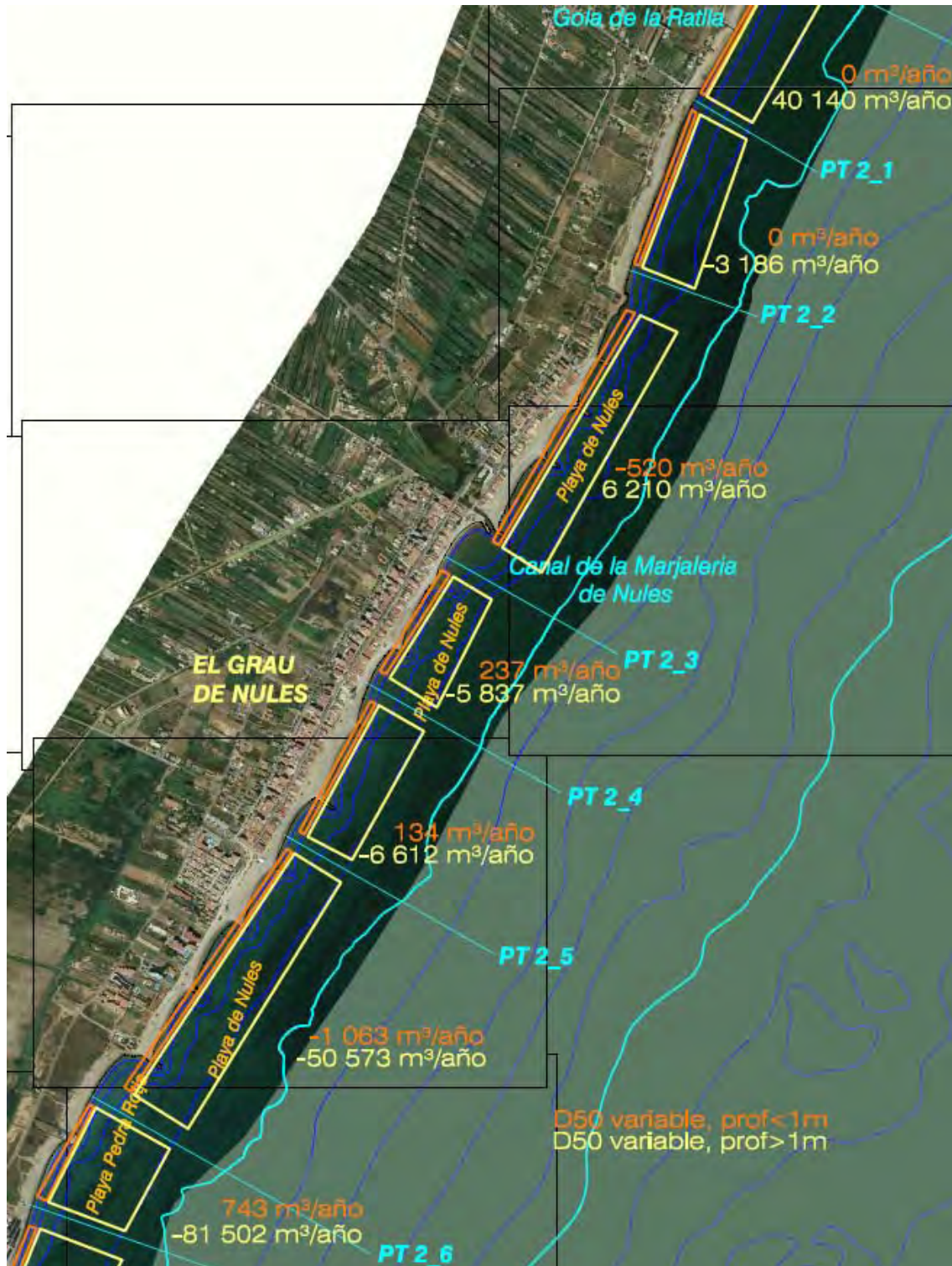


Figura 4.105. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 1 m y mayor que 1 m para la zona 2 (- significa pérdida de sedimento).

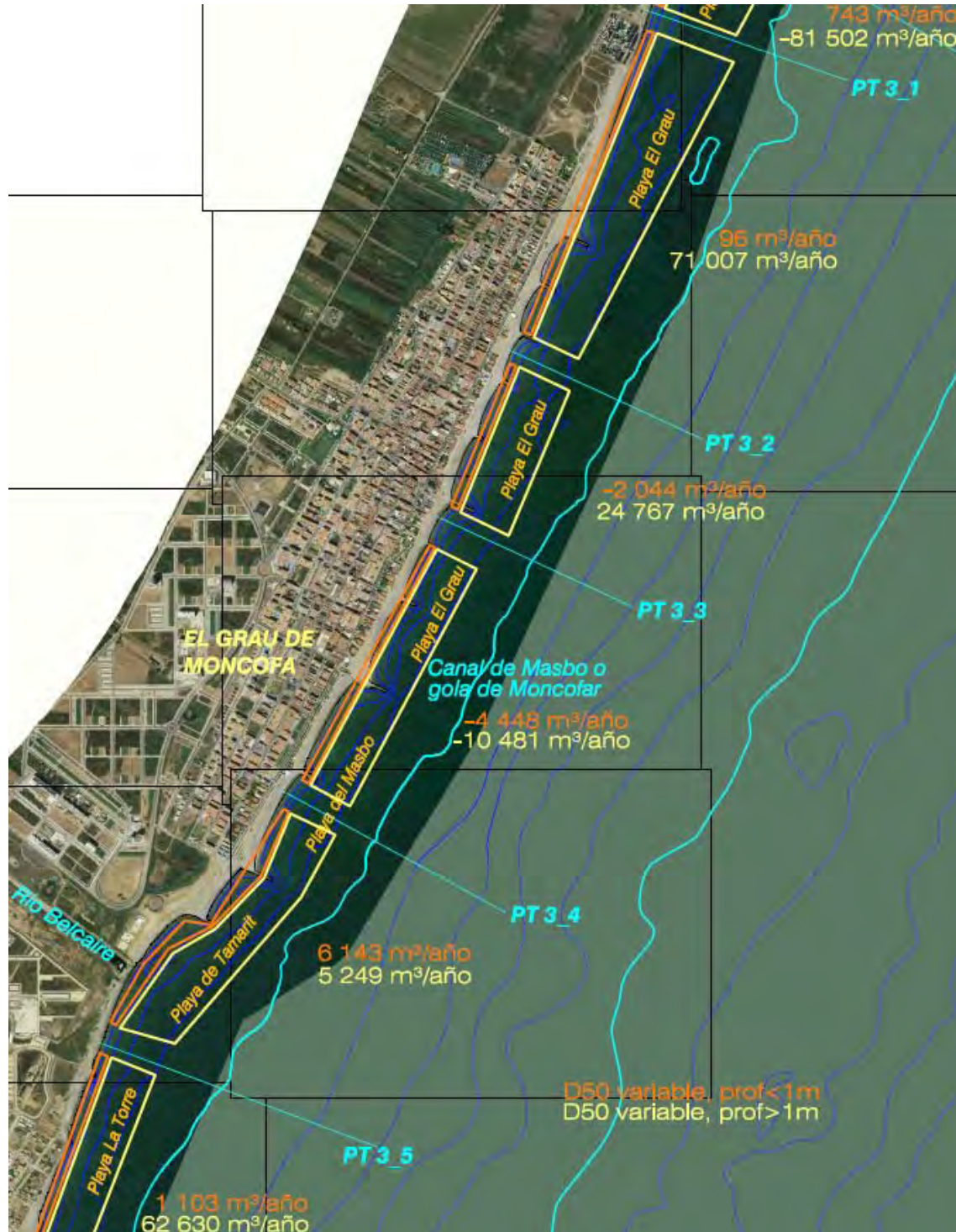


Figura 4.106. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 1 m y mayor que 1 m para la zona 3 (- significa pérdida de sedimento).

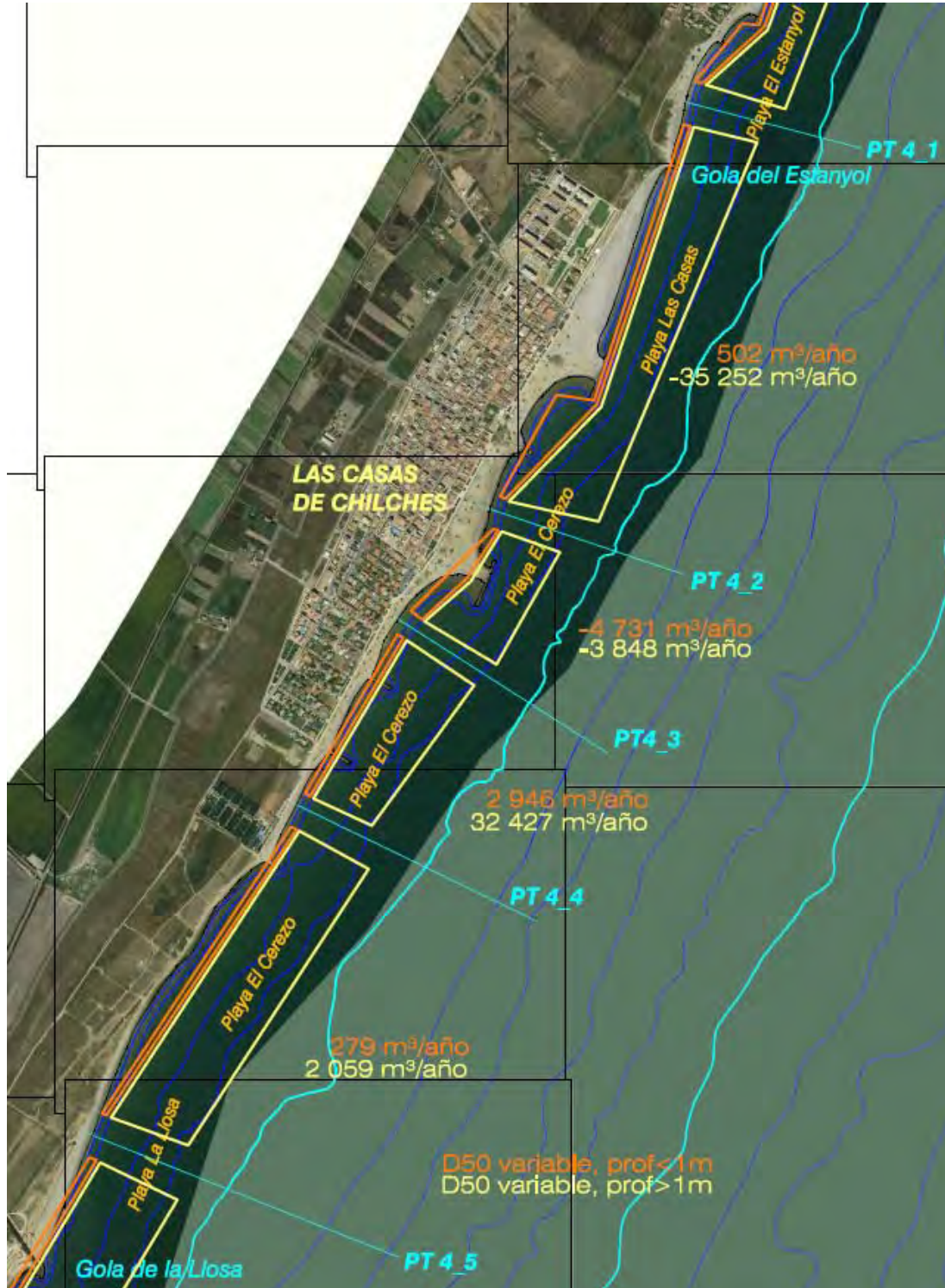


Figura 4.107. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 1 m y mayor que 1 m para la zona 4 (- significa pérdida de sedimento).

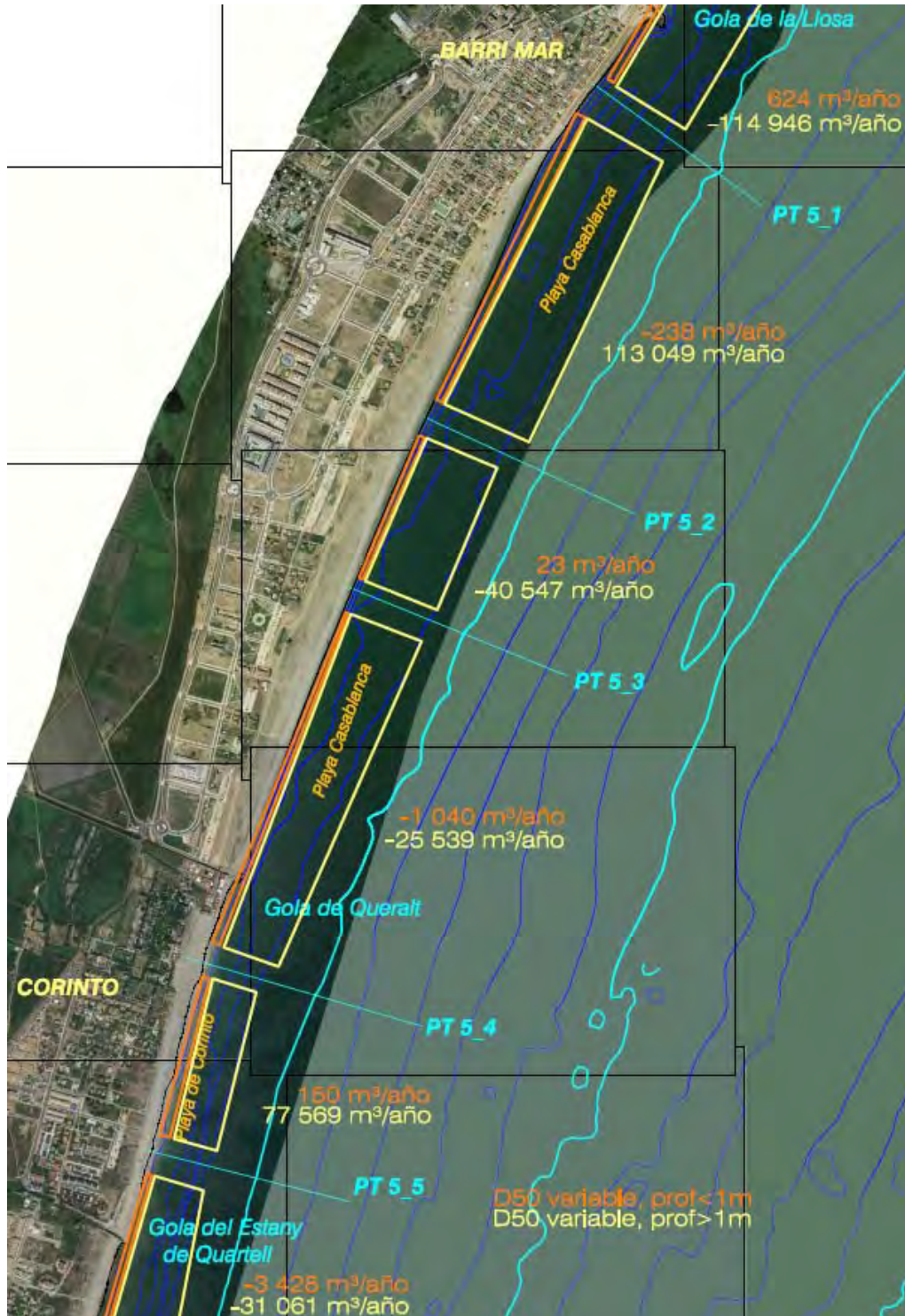


Figura 4.108. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 1 m y mayor que 1 m para la zona 5 (- significa pérdida de sedimento).



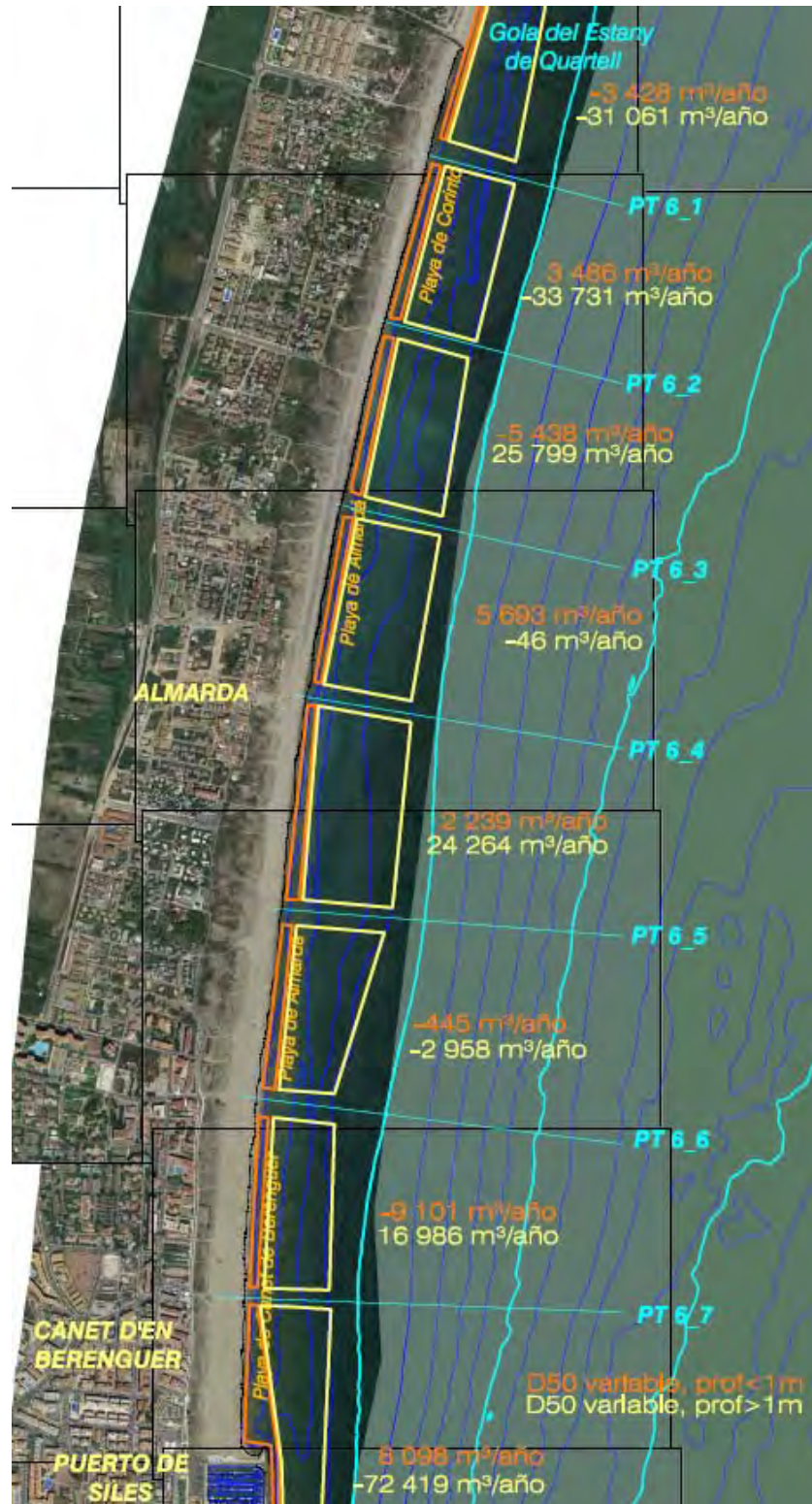


Figura 4.109. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 1 m y mayor que 1 m para la zona 6 (- significa pérdida de sedimento).

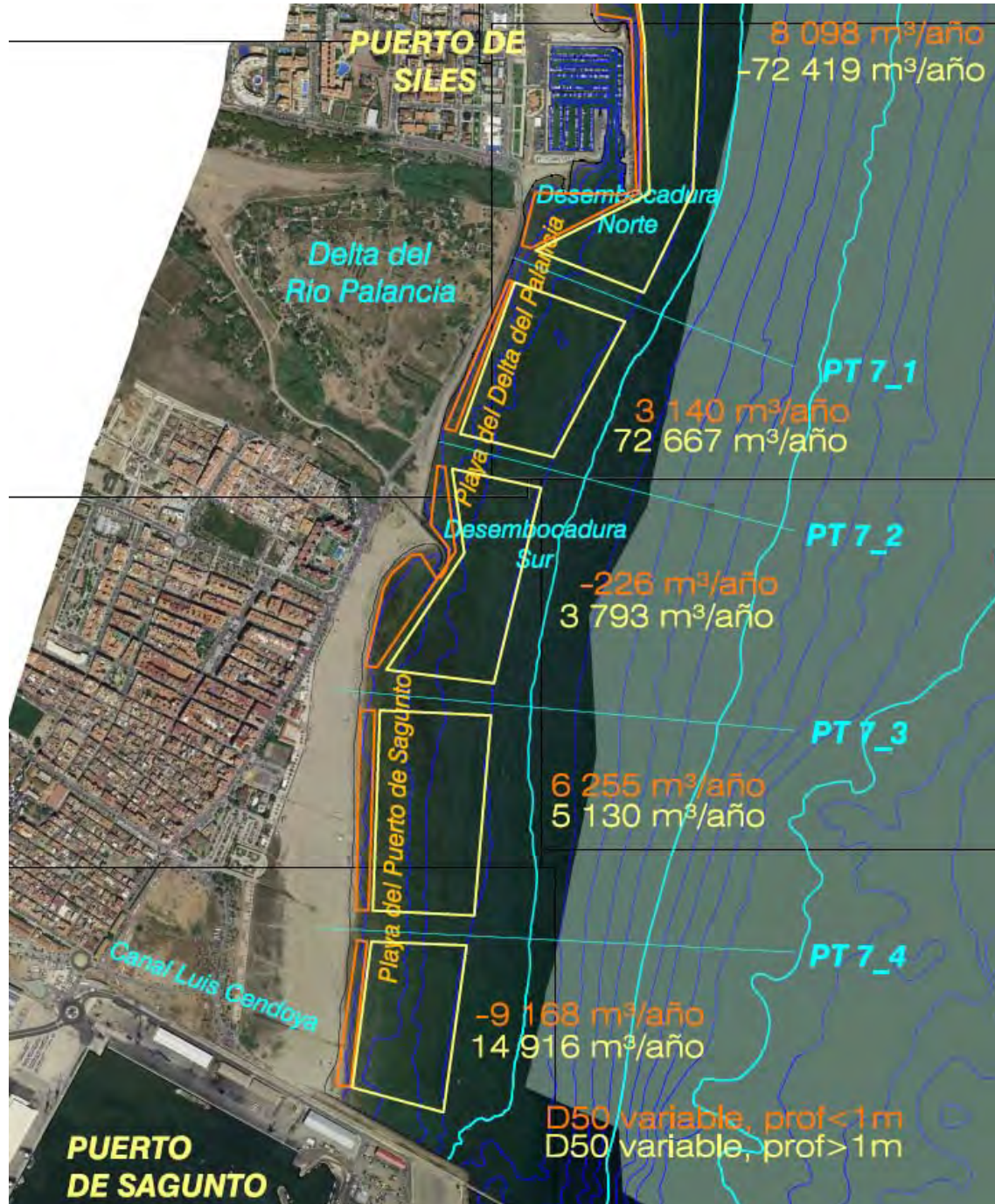


Figura 4.110. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 1 m y mayor que 1 m para la zona 7 (- significa pérdida de sedimento).

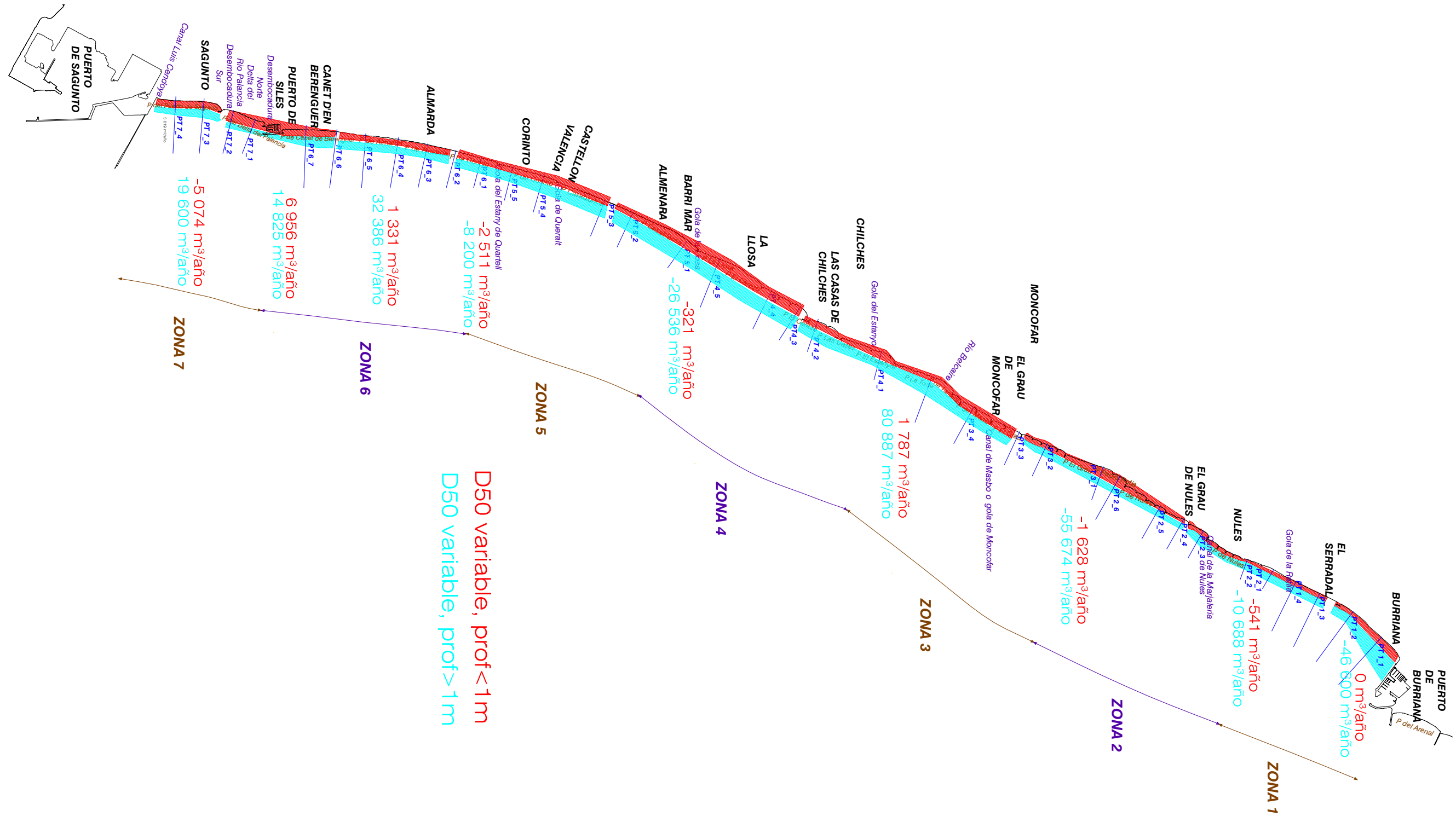


Figura 4.111. Balance sedimentario en perfil mixto diferenciando transporte en profundidad menor que 1 m y mayor que 1 m en la unidad fisiográfica completa (- significa pérdida de sedimento).

## **4.6. Conclusiones**

### **4.6.1. Introducción**

Como resultado del estudio realizado se presentan a continuación las conclusiones más relevantes que se pueden extraer a partir de dicho estudio.

De cara a la interpretación de las conclusiones que a continuación se indican se debe tener presente que, aunque la dinámica marina en la zona de estudio ha sido establecida con una resolución de 10 m (véase Capítulo 3), debido a la gran extensión de la zona analizada (26 kilómetros), el estudio de transporte sólido litoral se ha llevado a cabo considerando los 36 perfiles transversales indicados a lo largo del capítulo, los cuales se encuentran separados entre sí a una distancia media del orden del kilómetro. Dichos perfiles son representativos de las condiciones de transporte medias espaciales de la zona en la que se ubican pero no reproducen (ni tampoco era esa la intención) las condiciones puntuales de determinadas áreas. Por lo tanto, los resultados obtenidos son acordes con la escala espacial previamente indicada. Así pues, téngase en consideración que el estudio de transporte litoral a una resolución de mayor detalle no ha sido el objetivo del presente trabajo.

### **4.6.2. General**

- El tramo de costa comprendido entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto no se encuentra en equilibrio en la actualidad, a excepción de la Playa del Puerto de Sagunto (la cual se encuentra saturada de sedimento y prácticamente en equilibrio estático) y de la mayor parte de las playas de gravas.

### **4.6.3. Forma en planta**

- A excepción de la Playa del Puerto de Sagunto y de la mayor parte de las playas de gravas, cuyas formas en planta son prácticamente las de equilibrio estático, el resto del tramo analizado adopta una orientación consecuente con el transporte de sedimentos existente en la zona.

### **4.6.4. Perfil**

- El tramo de costa analizado tiene como característica fundamental que los perfiles de playa existentes son perfiles mixtos grava-arena, en los que existe una gran variabilidad en sus características tanto en profundidad como a lo largo del tramo. Así pues, en proximidad de la línea de costa (hasta una profundidad de 1-2 m) la pendiente del perfil es mayor y el tamaño de grano es más elevado de tipo gravas (4 mm), y a partir de una profundidad de 1-2 m la pendiente del perfil disminuye

DOCUMENTO PRELIMINAR

y el sedimento es de tipo arenas (0.2 mm-0.4 mm). Asimismo, a medida que se avanza de Norte a Sur desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto, esta variabilidad en profundidad disminuye hasta el punto de que en la Playa de Almardá en la proximidad del Puerto de Siles el perfil de playa está compuesto por arenas de 0.2 mm en el perfil completo de playa.

#### **4.6.5. Corrientes en el sistema analizado**

- La zona de estudio se encuentra sometida la mayor parte del tiempo a un sistema de corrientes con sentido de Norte a Sur asociada a los oleajes más frecuentes y más energéticos de la zona (los oleajes del Este). Las diferentes estructuras ubicadas entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto (espigones, diques exentos, golas e incluso el Puerto de Siles) se extienden sólo hasta una profundidad de 1 m, 2 m o hasta 3 m en el caso del Puerto de Siles, no permitiendo independizar los diferentes tramos de costa. Por consiguiente, las corrientes existentes con sentido de Norte a Sur recorren toda la unidad fisiográfica analizada desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto.
- En ocasiones puntuales menos frecuentes y asociado a los temporales del Sur, el sistema de corrientes se invierte llevando un sentido de Sur a Norte desde el Puerto de Sagunto al Puerto de Burriana. En este caso, al igual que para los oleajes del Este y por los mismos motivos ya comentados, no existe ningún elemento que impida este transporte. Este sistema de corrientes permite que se pueda recuperar parte del sedimento transportado por los oleajes del Este hacia el Sur.

#### **4.6.6. Transporte longitudinal de sedimentos**

- Las corrientes existentes en la zona de estudio provocan un movimiento del sedimento susceptible de ser transportado en la dirección de las mismas, esto es, en sentido de Norte a Sur. Las diferentes estructuras y elementos dispuestos fundamentalmente en la zona Norte del tramo de estudio (golas, espigones, diques exentos, etc), no alcanzan la suficiente profundidad como para impedir el by-pass de sedimentos a través de las mismas, proporcionando sólo apoyo a la mayor parte de las playas de gravas. Por consiguiente, en el sistema analizado la mayor parte del tiempo se produce un transporte de sedimentos en sentido de Norte a Sur. Así pues, en toda la zona analizada los transportes medios anuales llevan sentido de Norte a Sur. Precisamente con la idea de restituir el sedimento transportado hacia el Sur en los últimos años se han llevado a cabo aportes de gravas con una periodicidad prácticamente anual en las Playas situadas entre Nules y Corinto, así como transvases de sedimento de la Playa de Canet de Berenguer adyacente al Puerto de Siles hacia la Playa de Almardá.

DOCUMENTO PRELIMINAR

- Las tasas de transporte han variado con el paso del tiempo, siendo más elevadas en el pasado que en la actualidad. En este punto se debe tener presente que en el sistema analizado no sólo se ha producido una variación de la línea de costa por la colmatación de las zonas más a l Sur debido a l t ransporte d e Norte a S ur continuado a lo largo de los años, sino también se han construido diferentes estructuras y elementos tales como golas, espigones, diques exentos e incluso el Puerto de Siles.
- Los gradientes espaciales de las tasas de transporte son considerables e n e l presente con una mayor o menor importancia según la zona analizada y aún fueron de mayor relevancia en el pasado.
- De la estimación de la variación de sedimento en épocas pasadas se han establecido las siguientes tasas de transporte (con sentido de Norte a Sur) históricas medias anuales medias espaciales para cada una de las 7 zonas y para el período de tiempo comprendido entre 1965-1972: Zona 1 El Serradal 34085 m<sup>3</sup>/año ( 60830 m<sup>3</sup>/año e n e l p eríodo 1 947-1956 d onde to davía n o s e h abía dispuesto la escollera), Zona 2 Nules 121456 m<sup>3</sup>/año, Zona 3 Moncofar 90424 m<sup>3</sup>/año, Zona 4 Chilches 89719 m<sup>3</sup>/año, Zona 5 Almenara 89549 m<sup>3</sup>/año, Zona 6 Albardá hasta el Puerto de Siles 66944 m<sup>3</sup>/año y Zona 7 Sagunto 43379 m<sup>3</sup>/año.
- Por otra parte, se han establecido las tasas de transporte (con sentido de Norte a Sur) actuales medias anuales medias espaciales para cada una de las 7 zonas y, siendo consecuentes con las características de perfil mixto, se ha diferenciado el transporte existente en línea de orilla del que existe en profundidad.
- Así pues, se han establecido las tasas de transporte (con sentido de Norte a Sur) medias anuales medias espaciales existentes e n p rofundidad m enor q ue 2 m (transporte en línea de orilla) para cada una de las 7 zonas diferenciadas: Zona 1 El Serradal no hay transporte por la presencia de la escollera, Zona 2 Nules 5296 m<sup>3</sup>/año, Zona 3 Moncofar 10887 m<sup>3</sup>/año, Zona 4 Chilches 6050 m<sup>3</sup>/año, Zona 5 Almenara 5372 m<sup>3</sup>/año, Zona 6 Albardá hasta el Puerto de Siles, en zona Norte del tramo 26 639 m<sup>3</sup>/año y e n z ona S ur de l t ramo 22 257 m<sup>3</sup>/año y Zo na 7 Sagunto el transporte es prácticamente cero.
- Asimismo, se han obtenido las tasas de transporte (con sentido de Norte a Sur) medias anuales medias espaciales existentes e n p rofundidad m ayor q ue 2 m (transporte en profundidad) para cada una de las 7 zonas diferenciadas: Zona 1 El Serradal 4808 m<sup>3</sup>/año, Zona 2 Nules 17358 m<sup>3</sup>/año, Zona 3 Moncofar 36174 m<sup>3</sup>/año, Zona 4 Chilches 12817 m<sup>3</sup>/año, Zona 5 Almenara 24419 m<sup>3</sup>/año, Zona 6 Albardá hasta el Puerto de Siles, en zona Norte del tramo 17246 m<sup>3</sup>/año y e n z ona S ur del tramo 9179 m<sup>3</sup>/año y Zona 7 Sagunto 11796 m<sup>3</sup>/año.
- Por otra parte, en el caso de que el sedimento existente en línea de orilla se extiende hasta la batimétrica de 1 m, se han establecido las tasas de transporte

DOCUMENTO PRELIMINAR

(con sentido de Norte a Sur) medias anuales medias espaciales existentes en línea de orilla para cada una de las 7 zonas diferenciadas: Zona 1 El Serradal no hay transporte por la presencia de la escollera, Zona 2 Nules 541 m<sup>3</sup>/año, Zona 3 Moncofar 2 170 m<sup>3</sup>/año, Zona 4 Chilches 38 3 m<sup>3</sup>/año, Zona 5 Almenara 7 03 m<sup>3</sup>/año, Zona 6 Almardá hasta el Puerto de Siles, en zona Norte del tramo 3214 m<sup>3</sup>/año y en zona Sur del tramo 1882 m<sup>3</sup>/año y Zona 7 Sagunto -5074 m<sup>3</sup>/año.

- En el caso de que el sedimento existente en línea de orilla se extiende hasta la batimétrica de 1 m, se han obtenido las tasas de transporte (con sentido de Norte a Sur) medias anuales medias espaciales existentes en profundidad para cada una de las 7 zonas diferenciadas: Zona 1 El Serradal 46600 m<sup>3</sup>/año, Zona 2 Nules 57287 m<sup>3</sup>/año, Zona 3 Moncofar 112961 m<sup>3</sup>/año, Zona 4 Chilches 32075 m<sup>3</sup>/año, Zona 5 Almenara 58611 m<sup>3</sup>/año, Zona 6 Almardá hasta el Puerto de Siles, en zona Norte del tramo 66811 m<sup>3</sup>/año y en zona Sur del tramo 34425 m<sup>3</sup>/año y Zona 7 Sagunto 19600 m<sup>3</sup>/año.

#### **4.6.7. Implicaciones del transporte existente en el perfil mixto**

- De la situación descrita previamente en cuanto a las tasas de transporte en perfil mixto se derivan una serie de implicaciones. Lo que va a ser comentado a continuación se refiere a la zona comprendida entre el Puerto de Burriana y la Playa de Almardá en la proximidad del Puerto de Siles, zona en la que hoy en día se diferencian claramente dos tramos en el perfil de playa con características de pendiente y tamaño de grano diferentes (perfil mixto).
- Los dos tramos del perfil mixto funcionan de manera independiente, tal y como se indica a continuación (véase figura 4.112).
- En el caso de que el oleaje se encuentre rompiendo en el tramo superior más próximo a la costa (aproximadamente profundidad menor que 1-2 m), se produce un transporte longitudinal en línea de orilla (en la mayoría de las situaciones de Norte a Sur) sobre el sedimento de mayor tamaño (tipo gravas) pero de una reducida magnitud debido al tamaño del sedimento, con la consiguiente variación de la alineación de la línea de costa en las playas encajadas entre espigones en el caso de temporales. En este caso la parte del perfil sumergido a profundidad mayor que 1-2 m permanece prácticamente invariable.
- En el caso de que el oleaje se encuentre rompiendo en el tramo inferior (profundidad mayor que 1-2 m), se produce transporte tanto en la zona de gravas como en la zona de arenas, lo que da lugar a una erosión del perfil de arenas en el que se apoya la playa de gravas (véase figura 4.112). Esta variación media del fondo, considerando los gradientes espaciales de las tasas de transporte establecidas en las escalas espaciales objetivo del presente documento es, en cualquier caso, de pequeña magnitud (del orden de los 3 -5 cm/año y con

DOCUMENTO PRELIMINAR

máximos puntuales de 10 cm/año). En el caso de que los gradientes espaciales del transporte en profundidad supusiera ganancia de sedimento en profundidad, en la zona del perfil sumergido a profundidad mayor que 1-2 m se reduciría ligeramente el calado existente pero sin prácticamente implicaciones en el tramo de perfil próximo a la línea de orilla. Por otra parte, en el caso de que los gradientes espaciales del transporte en profundidad supusiera pérdida de sedimento en profundidad, se aumentaría ligeramente el calado existente en esta zona del perfil sumergido a mayor profundidad que 1-2 m y las implicaciones en el tramo del perfil próximo a la costa serían también despreciables (posible descenso en la cota del sedimento tipo gravas y variación de línea de costa pero de una magnitud despreciable, véase figura 4.112).

- Así pues, en la mayor parte de las playas de gravas existentes en el tramo de costa con playas de perfil mixto, a pesar del transporte longitudinal existente en profundidad, el transporte en línea de orilla en la zona de gravas es más reducido y la línea de costa en estas playas de gravas se encuentra próxima a la de equilibrio estático. Sin embargo, y teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, en dichas playas será necesario realizar labores esporádicas de conservación con aportes de gravas. Así, por ejemplo, aunque se tuviera un descenso del fondo de arenas de 10 cm anuales (valor que como ya ha sido comentado es una cota de variación de fondo máxima puntual), esto supondría un retranqueo de la línea de costa del orden de los 2 cm anuales a efectos de reponer el volumen de gravas necesario indicado en la figura 4.112 (volumen de gravas anual del orden de los  $0.06 \text{ m}^3/\text{m}$  lineal, o lo que es lo mismo,  $60 \text{ m}^3$  de gravas anuales en 1000 m de playa).

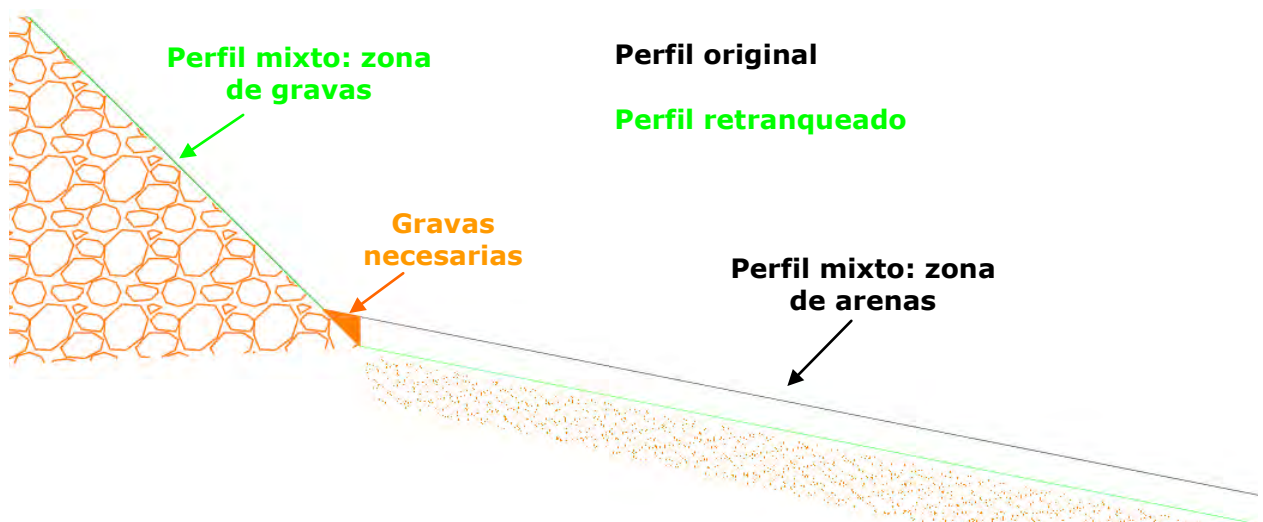


Figura 4.112. Esquema de funcionamiento del perfil mixto en caso de descenso del fondo de arenas.





## **Anejo 1 Capítulo 5 del Documento Preliminar**

## **ALTERNATIVAS DE ACTUACIÓN**



## 5. ALTERNATIVAS DE ACTUACIÓN

En el capítulo anterior se analizó la dinámica litoral del tramo de costa de estudio, destacando especialmente la determinación de las tasas de transporte litoral existente en la zona. Como resultado del análisis se estableció el modelo de funcionamiento del sistema analizado, lo cual es fundamental para la propuesta de diversas líneas de actuación encaminadas a garantizar la estabilidad de las playas de la zona de estudio y que será objeto del presente capítulo.

La mencionada estabilidad ha de entenderse en un sentido amplio, ya que en las alternativas a continuación propuestas se contemplan tanto soluciones en las que las playas se encuentran en equilibrio estático como en equilibrio dinámico.

A modo de introducción se realiza un resumen del diagnóstico del estado actual de las playas, continuando con un análisis de la evolución futura de la zona en el caso de no llevar a cabo ninguna actuación.

Posteriormente, en función de las necesidades de actuación, se establecen los criterios de diseño y se describen diversas líneas de actuación para la estabilización en el sentido amplio ya comentado de las playas de la zona de estudio. Por último se compara todas las alternativas propuestas.

El objetivo del presente documento es ofrecer las herramientas de decisión necesarias para la elección de la más adecuada de entre todas las alternativas propuestas, a través del análisis comparativo de todas ellas. Por lo tanto, los cálculos realizados en el presente documento se han llevado a cabo con un nivel de detalle adecuado para tal objetivo.

Cabe señalar que en el desarrollo de algunos de estos cálculos ha sido necesario asumir simplificaciones que, si bien son aceptables de cara a un estudio de alternativas, no pueden ni serán tenidas en cuenta en posteriores trabajos de desarrollo de la alternativa escogida como óptima.

### 5.1. Diagnóstico de la situación actual

#### 5.1.1. Introducción

Previo a la presentación de alternativas de actuación y como resumen de los análisis desarrollados en los capítulos anteriores se presentan a continuación las conclusiones más relevantes del diagnóstico de la situación actual.

De cara a la interpretación de las conclusiones que a continuación se indican se debe tener presente que, aunque la dinámica marina en la zona de estudio ha sido establecida

**DOCUMENTO FINAL**

con una resolución de 10 m (véase Capítulo 3), debido a la gran extensión de la zona analizada (26 kilómetros), el estudio de transporte sólido litoral se ha llevado a cabo considerando los 36 perfiles transversales indicados a lo largo del capítulo, los cuales se encuentran separados entre sí a una distancia media del orden del kilómetro. Dichos perfiles son representativos de las condiciones de transporte medias espaciales de la zona en la que se ubican pero no reproducen (ni tampoco era esa la intención) las condiciones puntuales de determinadas áreas. Por lo tanto, los resultados obtenidos son acordes con la escala espacial previamente indicada. Así pues, téngase en consideración que el estudio de transporte litoral a una resolución de mayor detalle no ha sido el objetivo del presente trabajo.

### **5.1.2. General**

- El tramo de costa comprendido entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto no se encuentra en equilibrio en la actualidad, a excepción de la Playa del Puerto de Sagunto (la cual se encuentra saturada de sedimento y prácticamente en equilibrio estático) y de la mayor parte de las playas de gravas, en las que a pesar del transporte longitudinal existente en profundidad, el transporte en línea de orilla en la zona de gravas es más reducido y la línea de costa en estas playas de gravas se encuentra próxima a la de equilibrio estático.

### **5.1.3. Forma en planta**

- A excepción de la Playa del Puerto de Sagunto (prácticamente en equilibrio estático) y de la mayor parte de las playas de gravas (próximas al equilibrio estático), el resto del tramo analizado adopta una orientación consecuente con el transporte de sedimentos existente en la zona.

### **5.1.4. Perfil**

- El tramo de costa analizado tiene como característica fundamental que los perfiles de playa existentes son perfiles mixtos grava-arena, en los que existe una gran variabilidad en sus características tanto en profundidad como a lo largo del tramo. Así pues, en proximidad de la línea de costa (hasta una profundidad de 1-2 m) la pendiente del perfil es mayor y el tamaño de grano es más elevado de tipo gravas (4 mm), y a partir de una profundidad de 1-2 m la pendiente del perfil disminuye y el sedimento es de tipo arenas (0.2 mm-0.4 mm). Asimismo, a medida que se avanza de Norte a Sur desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto, esta variabilidad en profundidad disminuye hasta el punto de que en la Playa de Almadá en la proximidad del Puerto de Siles el perfil de playa está compuesto por arenas de 0.2 mm en el perfil completo de playa.

### **5.1.5. Corrientes en el sistema analizado**

- La zona de estudio se encuentra sometida la mayor parte del tiempo a un sistema de corrientes con sentido de Norte a Sur asociada a los oleajes más frecuentes y más energéticos de la zona (los oleajes del Este). Las diferentes estructuras ubicadas entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto (espigones, diques exentos, golas e incluso el Puerto de Siles) se extienden sólo hasta una profundidad de 1 m, 2 m o hasta 3 m en el caso del Puerto de Siles, por lo que incluso en el caso de perfil mixto, sólo el sedimento en línea de orilla tipo gravas queda contenido en dichas estructuras la mayor parte del tiempo. Así pues, las corrientes existentes con sentido de Norte a Sur recorren toda la unidad fisiográfica, movilizándose el sedimento susceptible de ser transportado de Norte a Sur (en perfiles mixtos principalmente el sedimento fino existente en profundidad mayor que 1 m).
- En ocasiones puntuales menos frecuentes y asociado a los temporales del Sur, el sistema de corrientes se invierte llevando un sentido de Sur a Norte desde el Puerto de Sagunto al Puerto de Burriana. En este caso, los comentarios son los mismos que en el caso anterior (con sentido contrario). Este sistema de corrientes permite que se pueda recuperar parte del sedimento fino transportado por los oleajes del Este hacia el Sur.

### **5.1.6. Transporte longitudinal de sedimentos**

- Las corrientes existentes en la zona de estudio provocan un movimiento del sedimento susceptible de ser transportado en la dirección de las mismas, esto es, en sentido de Norte a Sur. Las diferentes estructuras y elementos dispuestos fundamentalmente en la zona Norte del tramo de estudio (golas, espigones, diques exentos, etc), no alcanzan la suficiente profundidad como para impedir el by-pass de sedimentos a través de las mismas, proporcionando sólo apoyo a la mayor parte de las playas de gravas. Por consiguiente, en el sistema analizado la mayor parte del tiempo se produce un transporte de sedimentos en sentido de Norte a Sur. Así pues, en toda la zona analizada los transportes medios anuales llevan sentido de Norte a Sur. Precisamente con la idea de restituir el sedimento transportado hacia el Sur en los últimos años se han llevado a cabo aportes de gravas con una periodicidad prácticamente anual en las Playas situadas entre Nules y Corinto, así como transvases de sedimento de la Playa de Canet de Berenguer adyacente al Puerto de Siles hacia la Playa de Almardá.
- Las tasas de transporte han variado con el paso del tiempo, siendo más elevadas en el pasado que en la actualidad. En este punto se debe tener presente que en el sistema analizado no sólo se ha producido una variación de la línea de costa por la colmatación de las zonas más al Sur debido al transporte de Norte a Sur continuado a lo largo de los años, sino también se han construido diferentes

**DOCUMENTO FINAL**

estructuras y elementos tales como golas, espigones, diques exentos e incluso el Puerto de Siles.

- Los gradientes espaciales de las tasas de transporte son considerables en el presente con una mayor o menor importancia según la zona analizada y aún fueron de mayor relevancia en el pasado.
- De la estimación de la variación de sedimento en épocas pasadas se han establecido las siguientes tasas de transporte (con sentido de Norte a Sur) históricas medias anuales medias espaciales para cada una de las 7 zonas y para el período de tiempo comprendido entre 1965-1972: Zona 1 El Serradal 34085 m<sup>3</sup>/año ( 60830 m<sup>3</sup>/año en el período 1947-1956 donde todavía no se había dispuesto la escollera), Zona 2 Nules 121456 m<sup>3</sup>/año, Zona 3 Moncofar 90424 m<sup>3</sup>/año, Zona 4 Chilches 89719 m<sup>3</sup>/año, Zona 5 Almenara 89549 m<sup>3</sup>/año, Zona 6 Almadá hasta el Puerto de Siles 66944 m<sup>3</sup>/año y Zona 7 Sagunto 43379 m<sup>3</sup>/año.
- Por otra parte, se han establecido las tasas de transporte (con sentido de Norte a Sur) actuales medias anuales medias espaciales para cada una de las 7 zonas y, siendo consecuentes con las características de perfil mixto, se ha diferenciado el transporte existente en línea de orilla del que existe en profundidad.
- Así pues, se han establecido las tasas de transporte (con sentido de Norte a Sur) medias anuales medias espaciales existentes en profundidad menor que 2 m (transporte en línea de orilla) para cada una de las 7 zonas diferenciadas: Zona 1 El Serradal no hay transporte por la presencia de la escollera, Zona 2 Nules 5296 m<sup>3</sup>/año, Zona 3 Moncofar 10887 m<sup>3</sup>/año, Zona 4 Chilches 6050 m<sup>3</sup>/año, Zona 5 Almenara 5372 m<sup>3</sup>/año, Zona 6 Almadá hasta el Puerto de Siles, en zona Norte del tramo 26639 m<sup>3</sup>/año y en zona Sur del tramo 22257 m<sup>3</sup>/año y Zona 7 Sagunto el transporte es prácticamente cero.
- Asimismo, se han obtenido las tasas de transporte (con sentido de Norte a Sur) medias anuales medias espaciales existentes en profundidad mayor que 2 m (transporte en profundidad) para cada una de las 7 zonas diferenciadas: Zona 1 El Serradal 4808 m<sup>3</sup>/año, Zona 2 Nules 17358 m<sup>3</sup>/año, Zona 3 Moncofar 36174 m<sup>3</sup>/año, Zona 4 Chilches 12817 m<sup>3</sup>/año, Zona 5 Almenara 24419 m<sup>3</sup>/año, Zona 6 Almadá hasta el Puerto de Siles, en zona Norte del tramo 17246 m<sup>3</sup>/año y en zona Sur del tramo 9179 m<sup>3</sup>/año y Zona 7 Sagunto 11796 m<sup>3</sup>/año.
- Por otra parte, en el caso de que el sedimento existente en línea de orilla se extiende hasta la batimétrica de 1 m, se han establecido las tasas de transporte (con sentido de Norte a Sur) medias anuales medias espaciales existentes en línea de orilla para cada una de las 7 zonas diferenciadas: Zona 1 El Serradal no hay transporte por la presencia de la escollera, Zona 2 Nules 541 m<sup>3</sup>/año, Zona 3 Moncofar 2170 m<sup>3</sup>/año, Zona 4 Chilches 383 m<sup>3</sup>/año, Zona 5 Almenara 703

**DOCUMENTO FINAL**

m<sup>3</sup>/año, Zona 6 Almarzá hasta el Puerto de Siles, en zona Norte del tramo 3214 m<sup>3</sup>/año y en zona Sur del tramo 1882 m<sup>3</sup>/año y Zona 7 Sagunto -5074 m<sup>3</sup>/año.

- En el caso de que el sedimento existente en línea de orilla se extiende hasta la batimétrica de 1 m, se han obtenido las tasas de transporte (con sentido de Norte a Sur) medias anuales medias espaciales existentes en profundidad para cada una de las 7 zonas diferenciadas: Zona 1 El Serradal 46600 m<sup>3</sup>/año, Zona 2 Nules 57287 m<sup>3</sup>/año, Zona 3 Moncofar 112961 m<sup>3</sup>/año, Zona 4 Chilches 32075 m<sup>3</sup>/año, Zona 5 Almenara 58611 m<sup>3</sup>/año, Zona 6 Almarzá hasta el Puerto de Siles, en zona Norte del tramo 66811 m<sup>3</sup>/año y en zona Sur del tramo 34425 m<sup>3</sup>/año y Zona 7 Sagunto 19600 m<sup>3</sup>/año.

### **5.1.7. Implicaciones del transporte existente en el perfil mixto**

- De la situación descrita previamente en cuanto a las tasas de transporte en perfil mixto se derivan una serie de implicaciones. Lo que va a ser comentado a continuación se refiere a la zona comprendida entre el Puerto de Burriana y la Playa de Almarzá en la proximidad del Puerto de Siles, zona en la que hoy en día se diferencian claramente dos tramos en el perfil de playa con características de pendiente y tamaño de grano diferentes (perfil mixto).
- Los dos tramos del perfil mixto funcionan de manera independiente, tal y como se indica a continuación.
- En el caso de que el oleaje se encuentre rompiendo en el tramo superior más próximo a la costa (aproximadamente profundidad menor que 1-2 m), se produce un transporte longitudinal en línea de orilla (en la mayoría de las situaciones de Norte a Sur) sobre el sedimento de mayor tamaño (tipo gravas) pero de una magnitud mucho más pequeña que el existente en profundidad, con la consiguiente variación de la línea de costa en el caso de temporales y la pérdida de material hacia el Sur. En este caso la parte del perfil sumergido a profundidad mayor que 1-2 m permanece prácticamente invariable.
- En el caso de que el oleaje se encuentre rompiendo en el tramo inferior (profundidad mayor que 1-2 m), la principal implicación en el perfil mixto de playa es en la variación del fondo por el transporte de sedimento existente en profundidad. Esta variación media del fondo, considerando los gradientes espaciales de las tasas de transporte establecidas en las escalas espaciales objetivo del presente documento (recuérdese lo ya comentado de que las tasas obtenidas son tasas medias espaciales de zonas del orden del kilómetro pero que no corresponden a tasas puntuales de puntos problemáticos de erosión, hot spots), se puede considerar de pequeña magnitud (menor que los 10 cm). En el caso de que los gradientes espaciales del transporte en profundidad existente

**DOCUMENTO FINAL**

supusiera ganancia de sedimento en profundidad, en la zona del perfil sumergido a profundidad mayor que 1-2 m se reduciría ligeramente el calado existente pero sin prácticamente implicaciones en el tramo de perfil próximo a la línea de orilla. Por otra parte, en el caso de que los gradientes espaciales del transporte en profundidad existente supusiera pérdida de sedimento en profundidad, se aumentaría ligeramente el calado existente en esta zona del perfil sumergido a mayor profundidad que 1-2 m y las implicaciones en el tramo del perfil próximo a la costa serían también despreciables, aunque más importantes que en el caso anterior (posible pérdida de sedimento tipo gravas y variación de línea de costa pero de una magnitud despreciable para las escalas analizadas en el presente trabajo).

## **5.2. Problemática actual de partida y evolución futura de las playas**

### **5.2.1. Problemática actual de partida**

En este apartado se vuelven a mencionar una serie de consideraciones con respecto a la situación actual que refleja la problemática actual existente de partida, con especial enfoque en el tipo de sedimento existente y en las tasas de transporte actuales, lo cual será de interés para la propuesta de alternativas.

En las tasas de transporte actuales, para ser consecuentes con las características de perfil mixto con tamaño de grano y pendiente variable en profundidad, se ha diferenciado el transporte existente en profundidad menor que 2 m (transporte en línea de orilla) del que existe en profundidad mayor que 2 m (transporte en profundidad).

En la figura 5.1 se presenta por un lado las tasas actuales totales de transporte en el perfil completo de playa para todo el tramo desde el Puerto de Burriana al Puerto de Sagunto y, por otro, las tasas correspondientes a la fracción de sedimento en profundidad menor de 2 m para los tamaños de grano en línea de orilla mayores que 1 mm, sedimento tipo gravas ( $D_{50} > 1 \text{ mm}$ ) de las Playas localizadas entre Nules y Corinto. Se ha estimado un valor máximo para esta última tasa de  $11403 \text{ m}^3/\text{año}$ , como se muestra en la figura 5.1.

DOCUMENTO FINAL

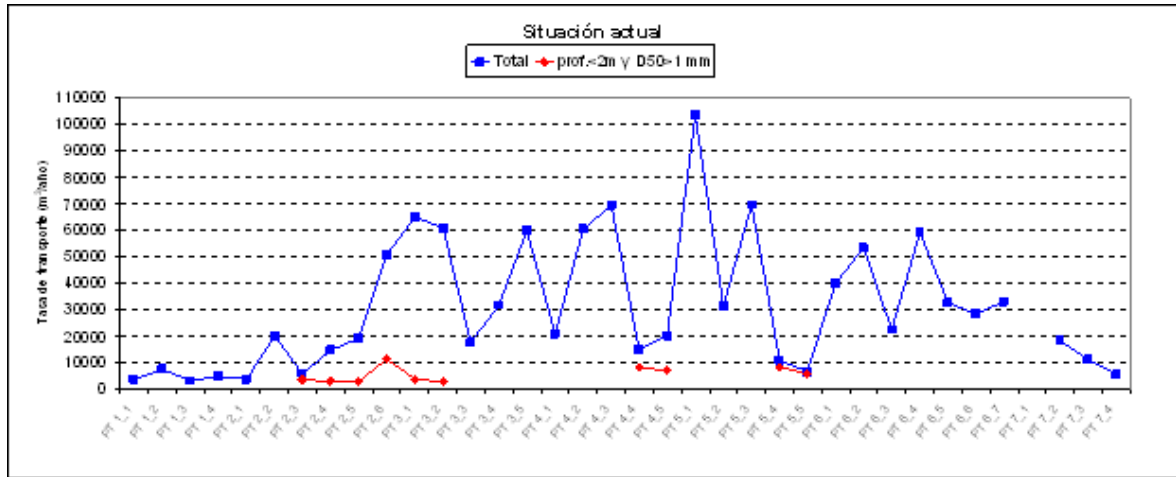


Figura 5.1 Tasas actuales medias anuales de transporte neto de sedimentos entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto.

La localización de los perfiles considerados para el establecimiento de las tasas de transporte a lo largo del tramo de costa de estudio, recogidos en el eje de abscisas de la figura 5.1, se muestra desde la figura 5.2 a la figura 5.5.



Figura 5.2 Localización de perfiles para el cálculo del transporte de sedimentos en el tramo 1.



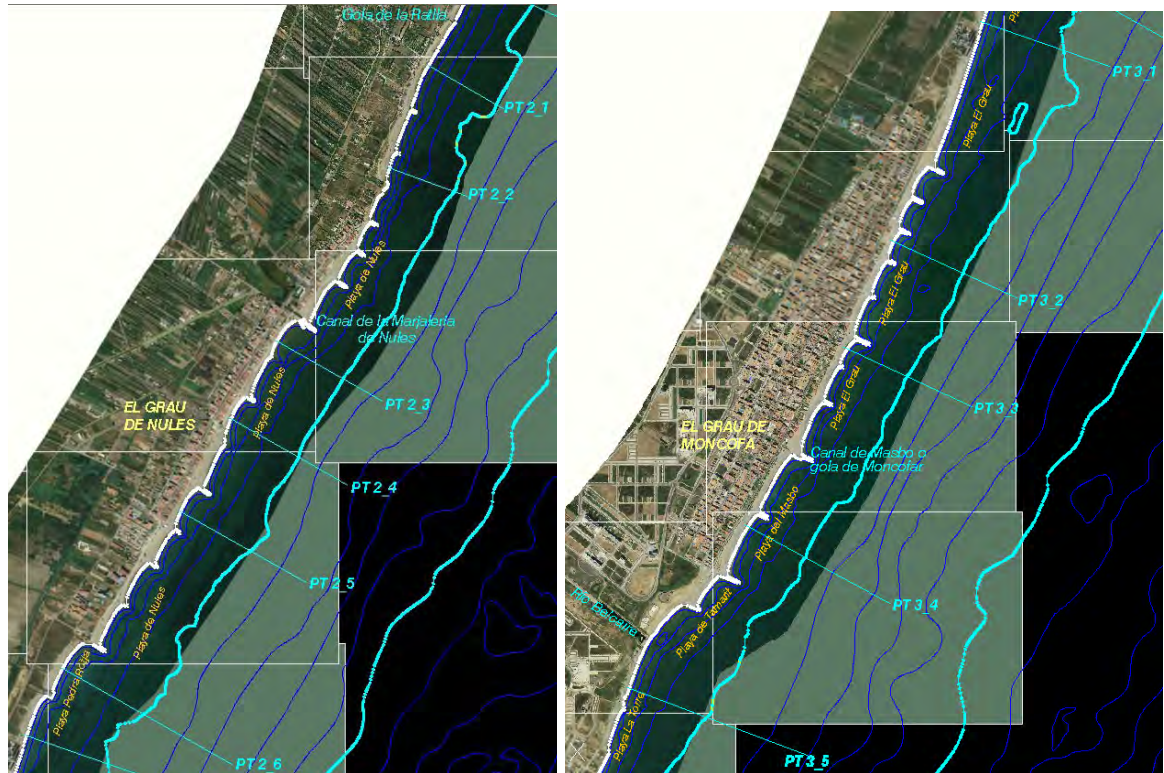


Figura 5.3 Localización de perfiles para el cálculo del transporte de sedimentos en los tramos 2 y 3.



Figura 5.4 Localización de perfiles para el cálculo del transporte de sedimentos en los tramos 4 y 5.

DOCUMENTO FINAL

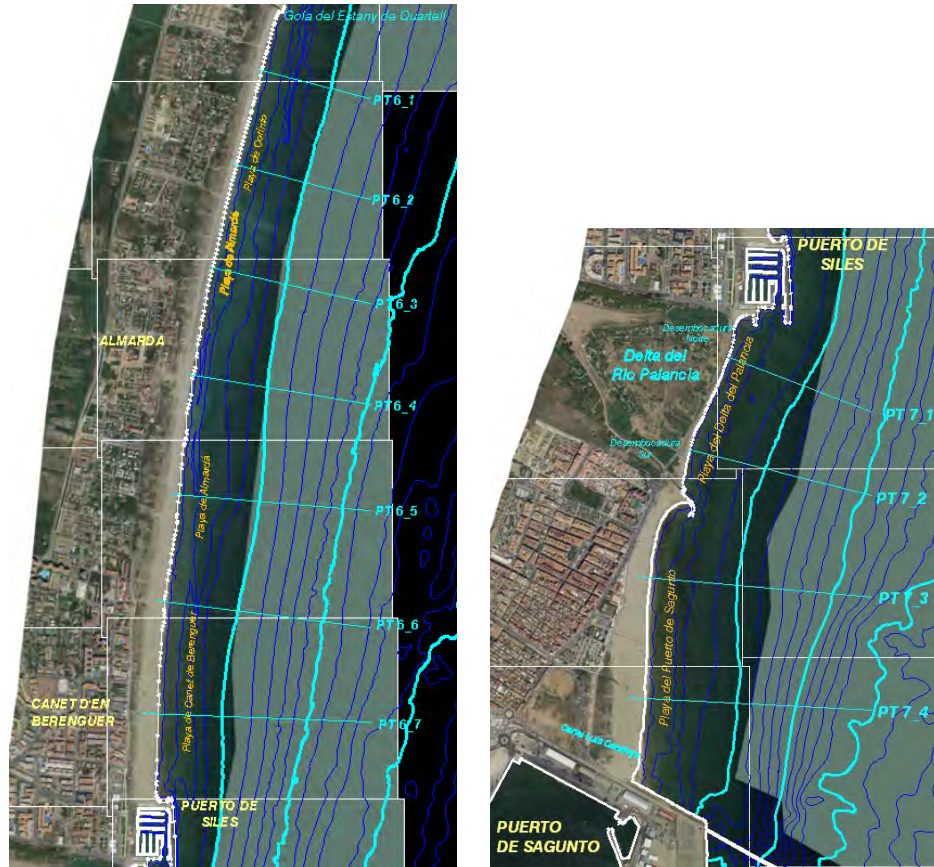


Figura 5.5 Localización de perfiles para el cálculo del transporte de sedimentos en los tramos 6 y 7.

En contraposición a las playas de perfil mixto grava-arena situadas al Norte de la Playa de Albardá, desde la parte Sur de la mencionada Playa y hacia el límite Sur de la zona de actuación (Playas de Canet de Berenguer, Delta del Río Palancia y Playa de Sagunto), las playas están constituidas por arenas en toda la extensión de su perfil activo (véase tabla 5.1). En este punto debe tenerse presente que esta diferenciación del tipo de sedimento existente se ha realizado con base a tamaño de grano extraído de las campañas de campo más recientes con las que se ha contado (Noviembre de 2009 para el tramo comprendido entre el Puerto de Burriana y el perfil PT 5\_3 del tramo 5, Septiembre de 2006 para la zona comprendida entre este último perfil y el Puerto de Sagunto). Asimismo, se ha considerado que sedimento con tamaño de grano del orden de 0.2 mm-0.4 mm es de tipo arenas.

**DOCUMENTO FINAL**

Playa	Tipo de sedimento
Burriana	Escollera (prof < 2 m) Arena fina (prof > 2 m)
Playa de Nules Playa de Pedra Rotja Playa del Masbó Playa de Tamarit Playa de las Casas de Chilches Playa del Cerezo Playa de La Llosa Playa de Casablanca Playa de Corinto	Gravas (prof < 2 m) Arenas (prof > 2 m)
Playa de Almardá	Arenas con algunas gravas
Playa de Canet de Berenguer Delta del Río Palancia Playa de Sagunto	Arenas

Tabla 5.1 Playas existentes en la zona de estudio y tipo de sedimento.

Al coexistir gravas al Norte de Corinto con arenas al Sur, el diferencial de las tasas de transporte en la zona de transición, de hasta un orden de magnitud, origina problemas de erosión en dicha zona. En la figura 5.6 se muestra de forma esquemática el mecanismo de erosión que se produce en la zona de transición en base a valores medios de las tasas medias anuales de transporte de los distintos materiales granulares existentes.

Por otro lado, el constante aporte de gravas en las playas situadas al Norte de Corinto, junto con el transporte neto que éstas experimentan hacia el Sur, implica que las playas al Sur de Corinto, antiguamente constituidas por arenas, se encuentran progresivamente ocupadas por las gravas procedentes del Norte de la zona de estudio, de tal modo que hoy en día estas gravas han alcanzado la Playa de Almardá.

La construcción del Puerto de Siles en los años ochenta supuso la interrupción del transporte sedimentario hacia el Sur, por lo que se originó una progresiva acumulación de sedimentos en la Playa de Canet de Berenguer gracias al apoyo proporcionado por el arranque del dique principal de dicho Puerto. Sin embargo, la dimensión del Puerto de Siles inferior a la profundidad de cierre del perfil de la Playa de Canet de Berenguer permite el by-pass de sedimentos en la situación actual desde esta última Playa (al Norte del Puerto de Siles) hasta la Playa de Sagunto (al Sur del Puerto de Siles). Así pues, a pesar de que en los últimos años se han realizando diversos transvases de arena de la Playa de Canet de Berenguer a la Playa de Almardá, en la actualidad la acumulación de sedimentos en la Playa de Canet de Berenguer es tal que se está produciendo by-pass de dicho sedimento hacia el Sur.

Al igual que el Puerto de Siles, en la zona analizada se puede mencionar la presencia de determinados elementos, como diques, paseos, etc, los cuales al suponer una

**DOCUMENTO FINAL**

interrupción parcial (no total) al transporte de sedimentos, tienen como consecuencia la generación de puntos problemáticos de erosión (hot spots).

Por último, la Playa del Puerto de Sagunto se encuentra saturada de sedimento con una forma en planta prácticamente en equilibrio estático.

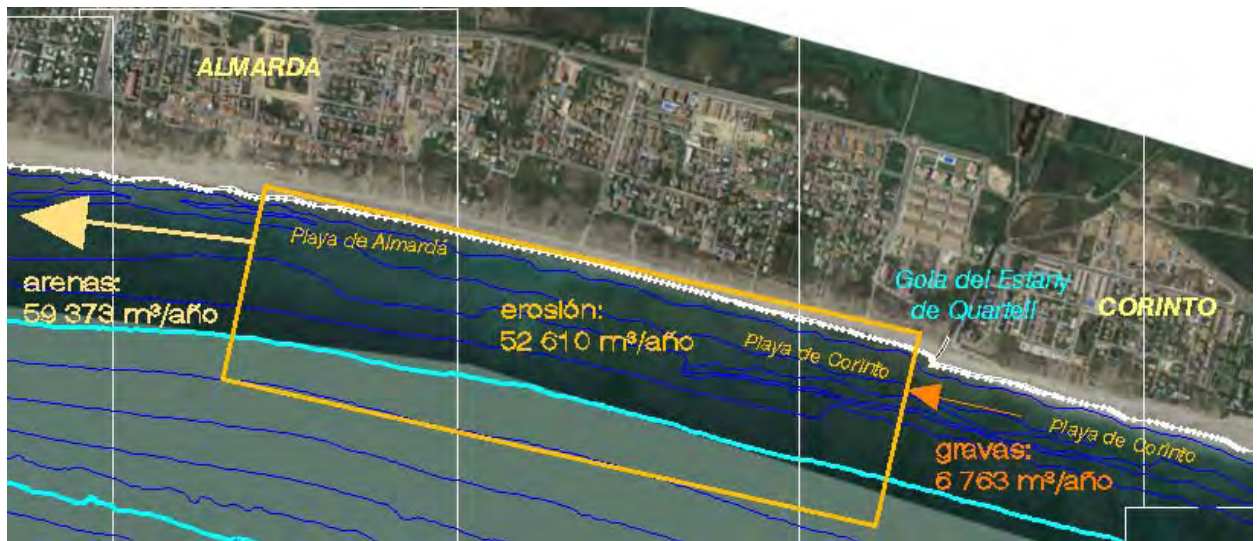


Figura 5.6 Esquema del mecanismo de erosión en la zona de transición grava-arena.

### **5.2.2. Evolución futura de las playas**

A partir del diagnóstico de la situación actual se describe brevemente a continuación una prognosis cualitativa de la zona de actuación bajo la hipótesis de no llevar a cabo ninguna actuación sobre la misma.

Las playas de perfil mixto grava-arena situadas entre la Playa de Nules y la Playa de Corinto, se encuentran sometidas a un transporte longitudinal de Norte a Sur principalmente en profundidad. El transporte existente en línea de orilla (en la zona de gravas) es más reducido y tiene como consecuencia que, debido a las pérdidas puntuales generadas por los temporales del primer cuadrante, la anchura de playa seca se pueda ver reducida con el paso del tiempo. La situación descrita puede provocar que la inundación debida a temporales alcance en determinadas localizaciones las viviendas e infraestructuras que en la actualidad trasdoran las playas. Por otro lado, las gravas erosionadas en las Playas situadas al Norte de Corinto pueden ser transportadas en ocasiones puntuales e invadir las playas situadas al Sur de Corinto que en la actualidad son de arenas.

**DOCUMENTO FINAL**

Asimismo, la zona adyacente al Puerto de Sagunto está recibiendo continuamente sedimento, colmatándose dicha zona y produciéndose incluso rebase del mismo hacia la zona de Sagunto.

Finalmente, los nuevos aportes de sedimento que reciba la Playa de Sagunto procedentes del by-pass en el Puerto de Sagunto y del Delta del Río Palancia, provocarán la total saturación de la misma.

### 5.3. Planteamiento conceptual de actuaciones

En el presente apartado se pretende exponer en primer lugar la problemática de la Costa Mediterránea española y las estrategias generales de actuación frente a dicha problemática.

Posteriormente, en base al diagnóstico de la situación actual y a las diferentes escalas de estudio establecidas, se procede a la descripción conceptual de las diversas líneas de actuación propuestas. Haciendo hincapié en los condicionantes, hipótesis establecidas en el estudio de las mismas y criterios generales de diseño.

#### 5.3.1 Introducción

En términos generales, la disminución del aporte sedimentario de los ríos que desembocan en la costa, cuyos caudales se encuentran sometidos a una alta regulación y sus márgenes fuertemente antropizados, ha roto el antiguo equilibrio dinámico existente entre el aporte en forma de caudal sólido de los ríos y la erosión debida al transporte longitudinal de sedimentos que produce el oleaje en la costa (véanse figuras 5.7 y 5.8).

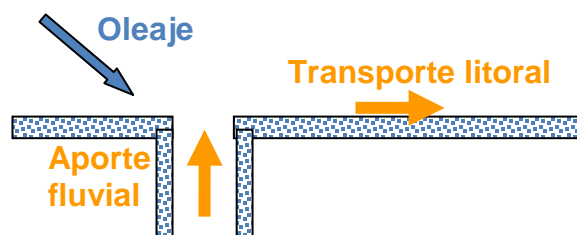


Figura 5.7 Esquema del antiguo equilibrio dinámico.

Adicionalmente a la disminución del aporte fluvial de sedimentos a las costas, la presencia de estructuras costeras interrumpe la deriva litoral de sedimentos acentuando la erosión de la costa aguas abajo de las mismas, mientras que aguas arriba se crean zonas de acumulación de sedimentos.

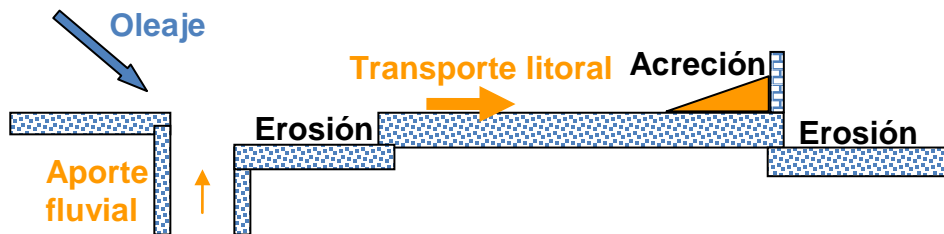


Figura 5.8 Esquema del actual desequilibrio entre aportes fluviales y transporte litoral.

Por ello, en general, la Costa Mediterránea española en la actualidad se encuentra en desequilibrio, presentado importantes procesos de erosión.

Conscientes de este desequilibrio y para evitar el retroceso de la línea de costa, se hace necesaria la actuación humana que puede dirigirse principalmente en dos direcciones.

- **Estrategia A** : Restablecimiento del antiguo equilibrio dinámico, mediante el aporte periódico de sedimento que sustituye el caudal sólido que ya no vierten los ríos.
- **Estrategia B** : Establecimiento de un equilibrio estático, mediante la construcción de obras de estabilización acompañada o no de un relleno inicial.

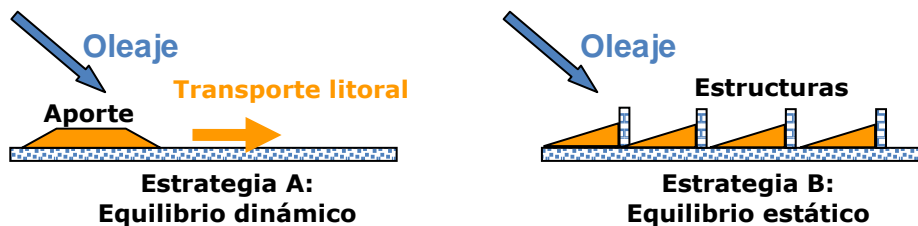


Figura 5.9 Esquema de las principales líneas de actuación para el restablecimiento del equilibrio (estrategias A y B respectivamente).

El coste de la estrategia A, que implica una labor periódica de mantenimiento es muy dependiente de la tasa de transporte, mientras que la estrategia B depende altamente de la longitud del tramo de costa a estabilizar.

Esto implica que la solución óptima para un tramo costero relativamente corto correspondería a la estrategia B (equilibrio estático).

**DOCUMENTO FINAL**

Sin embargo, si se tuviera en consideración una mayor longitud de costa, podría resultar preferible la estrategia A (equilibrio dinámico), ya que el coste del necesario aporte periódico de sedimentos durante toda la vida útil de las obras sería menor que el de la construcción de las estructuras necesarias para el establecimiento del equilibrio estático de la línea de costa.

Por tanto existe una longitud crítica del tramo de costa de estudio por encima de la cual la estrategia B (construcción de obras de estabilización: equilibrio estático) deja de ser la óptima y empieza a serlo la estrategia A (aportes periódicos de sedimentos: equilibrio dinámico).

En base a recientes estudios realizados en IH Cantabria se ha podido cuantificar el valor de dicha longitud crítica en función de distintos escenarios de transporte litoral. Considerando una vida útil de 30 años y para un transporte litoral neto de 5 000 m<sup>3</sup>/año, 100000 m<sup>3</sup>/año y 200000 m<sup>3</sup>/año la mencionada longitud crítica resultó ser de 2.28 kilómetros, 4.57 kilómetros y 9.15 kilómetros, respectivamente.

Habitualmente la escala espacial de los proyectos de estabilización de la costa es de apenas varios miles de metros, mientras que su vida útil es del orden de 30 a 50 años. Por tanto, de las dos líneas de actuación posibles y a la vista de los resultados de la longitud crítica anteriormente mencionada, en general resulta que la solución óptima es aquella independiente del tiempo y que conlleva la construcción de estructuras de estabilización (estrategia B).

El presente proyecto, sin embargo, abarca una longitud de costa inusualmente grande, del orden de los 26 kilómetros, que resulta muy superior a la longitud crítica del escenario pésimo, por lo que cabe plantearse la adecuación de la restitución del equilibrio dinámico mediante aportes periódicos de sedimentos (estrategia A).

Dado que la estrategia óptima, como se ha mencionado anteriormente, es altamente dependiente de la longitud del tramo de costa considerado, se ha planteado el análisis del problema a escalas diferentes dividiendo o no la zona de estudio.

En concreto, se han establecido 3 escalas que dan lugar a las 3 principales líneas de actuación considerando la zona de estudio como:

- **1 unidad fisiográfica:** que constituye toda la zona de estudio, desde el Puerto de Burriana hasta el Puerto de Sagunto.
- **2 sectores:** considerando separadamente las playas de arenas al Sur de las playas de perfil mixto grava-arena al Norte.
- **7 tramos:** Burriana, Nules, Moncofar, Chilches, Almardá, Almenara y Sagunto.

### **5.3.2 Descripción conceptual de las alternativas propuestas**

En base al diagnóstico de la situación actual y a las 3 escalas espaciales establecidas, se han propuesto las 3 principales líneas de actuación, presentando cada una de ellas diversas variantes.

Todas estas alternativas serán descritas con mayor detenimiento en el apartado 5.4 del presente documento, si bien cabe destacar que el nivel de detalle será el estrictamente necesario para llevar a cabo la comparación de todas ellas, dejando para posteriores trabajos el estudio detallado y descripción a mayor nivel de detalle de la alternativa escogida como óptima.

Cabe destacar que todas las alternativas propuestas se fundamentan en la estrategia A (aportes periódicos de sedimentos: equilibrio dinámico), debido a la gran longitud de la zona de actuación, a excepción de la alternativa 3.2, en la que se propone la construcción de playas encajadas entre espigones (estrategia B).

#### ***Alternativa 1: 1 unidad fisiográfica***

La primera de las 3 líneas principales de actuación surge del estudio en conjunto del tramo costero situado entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto.

Como respuesta al análisis de un tramo costero de gran longitud (mayor que los 4.57 kilómetros establecidos como longitud crítica para que la opción de diques y playas estáticas se arrentable, véase apartado 5.3.1) se han propuesto varias alternativas basadas en la estrategia A (equilibrio dinámico), consistentes en el mantenimiento de un equilibrio dinámico mediante rellenos periódicos:

- **Alternativa 1.1:** Mantenimiento periódico mediante aporte de gravas (situación actual).
- **Alternativa 1.2:** Relleno inicial masivo de arenas y mantenimiento periódico mediante aporte y dragado de arenas.

Dado que los problemas de erosión del tramo de actuación se producen en las playas que presentan un perfil mixto gravas-arenas, inicialmente se ha propuesto un mecanismo de realimentación de éstas consistente en el aporte periódico de gravas a estas playas (véase alternativa 1.1), similar a la estrategia de mantenimiento que se está realizando en la actualidad.



**DOCUMENTO FINAL**

Por otro lado, también en el marco de la alternativa 1.1 y repitiendo la estrategia actual para reducir la acumulación de arena que se produce junto al Puerto de Siles, se ha propuesto la recirculación de estos sedimentos en la Playa de Almardá.

Cabe destacar que la alternativa 1.1 muestra ciertas limitaciones y no resuelve por completo la problemática de la zona de estudio.

Por ello, se ha propuesto en la alternativa 1.2 la realización de un relleno masivo de arena de forma que queden enterradas las existentes playas de perfil mixto grava-arena bajo este relleno.

Una vez realizado este relleno que transforma toda la zona de actuación en una gran playa continua de arena, se ha diseñado un mecanismo de mantenimiento consistente en el dragado periódico de las arenas acumuladas en el Sur de la zona de actuación y el aporte de arenas en el Norte.

**Alternativa 2: 2 sectores**

Debido a la presencia en la zona de actuación de dos tipologías diferentes de playas, de perfil mixto grava-arena al Norte y constituidas sólo por arena al Sur, se ha propuesto llevar a cabo su separación física mediante la construcción de un gran espigón.

De este modo se realizará una gestión separada de cada uno de los sectores, aplicando en cada uno de ellos medidas diferentes encaminadas a corregir la problemática específica que presentan.

La longitud de cada uno de los tramos de estudio resultantes de fragmentar el tramo Burriana-Sagunto en 2 sectores sigue siendo del mismo orden de magnitud que la longitud total, por lo que las propuestas realizadas en el marco de la alternativa 2 (2 sectores) se basan en la estrategia A (equilibrio dinámico), al igual que en la alternativa 1 (1 unidad fisiográfica).

El mecanismo de realimentación es tal que en cada uno de los dos sectores ha de realizarse un dragado periódico de los sedimentos acumulados al Sur del mismo y un aporte igualmente periódico al Norte.

La longitud del espigón de separación de los dos sectores ha de ser tal que garantice la interrupción total del transporte de sedimentos. Por ello deberá alcanzar al menos la profundidad de cierre del perfil activo de las playas colindantes más el posible avance de la costa debido a la acumulación de sedimentos aguas arriba del mismo.

Por otro lado, la localización del espigón de separación ha de ser tal que permita una importante erosión aguas abajo del mismo, así como acumulación aguas arriba de dicho espigón.

**DOCUMENTO FINAL**

Se han propuesto 3 distintas localizaciones de este espigón que constituyen las 3 variantes de la alternativa 2 (véase figura 5.21):

- **Alternativa 2.1:** Al Norte de la Gola de la Llosa.
- **Alternativa 2.2:** Entre la Gola de la Llosa y la Gola de Queralt.
- **Alternativa 2.3:** En la Gola del Estany de Quartell.

**Alternativa 3: 7 tramos**

Al dividir la zona de estudio en 7 tramos independientes de mucha menor longitud que el conjunto del tramo entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto, la longitud de cada uno de los tramos resulta similar a la longitud crítica por debajo de la cual la estrategia B (equilibrio estático) comienza a ser preferible a la estrategia A (equilibrio dinámico).

Por ello, para cada tramo, han surgido dos variantes de la presente alternativa, cada una de ellas basada en una de las mencionadas estrategias:

- **Alternativa 3 .1:** Restablecimiento del equilibrio dinámico en cada tramo (estrategia A) mediante aporte y dragado periódico de sedimentos.
- **Alternativa 3 .2:** C reacción d e p layas e n equilibrio e stático ( estrategia B ) mediante un aporte inicial de arenas y la construcción de espigones.

Cabe señalar que, a efectos de separar físicamente los 7 tramos, se ha propuesto la construcción de espigones de similares características al descrito para separar los dos sectores de la alternativa 2.

En la alternativa 3 .1, el mecanismo de mantenimiento de cada uno de los tramos consiste en el dragado periódico de los sedimentos acumulados al Sur del mismo, que se acumulan apoyados en el espigón de separación de dos tramos consecutivos, junto con un aporte igualmente periódico al Norte.

Se ha prestado especial atención a la erosión que se produce al Norte de los espigones de separación entre tramos, proponiendo la disposición de un relleno inicial a modo de buffer de sedimentos en algunos de los casos en los que esta erosión resulta inaceptable.

La alternativa 3.2 supone la construcción de numerosos espigones de gran longitud para la creación de playas encajadas en toda la extensión del tramo de estudio. Dada la disponibilidad de un gran volumen de arena de aportación, se ha propuesto la disposición de un relleno inicial de este material para que las mencionadas playas encajadas sean de arena.

**DOCUMENTO FINAL**

El número y la longitud de los espigones necesarios hacen que el coste de la alternativa 3.2 sea inabordable para todo el conjunto de la zona de estudio, sin embargo puede resultar interesante su consideración en alguno de los 7 tramos como alternativa a la solución de equilibrio dinámico.

### **5.3.3 Condicionantes del diseño de alternativas**

Existen una serie de elementos que condicionan el diseño de las actuaciones a realizar, como son el oleaje, la batimetría existente o las características granulométricas del sedimento que conforma las playas.

El conocimiento en profundidad de dichos condicionantes es fundamental para llevar a cabo el planteamiento de alternativas.

Por ello, a continuación se enumeran dichos condicionantes, tanto a nivel general como particular para el caso en concreto de la zona objeto de este trabajo.

#### **5.3.3.1. Oleaje**

Las características del oleaje condicionan el diseño de las playas en diversos aspectos, que se enumeran a continuación.

La intensidad del oleaje que se aproxima a la costa, medida a través del  $H_{s12}$  (altura significativa de ola sólo superada por 12 horas al año) y su periodo asociado, condiciona el valor de la profundidad de cierre del perfil de playa, que delimita el perfil activo de playa (Birkemeier, 1985). El conocimiento de dicha profundidad de cierre es, por tanto, fundamental a la hora de diseñar estructuras que den apoyo a la playa hasta su pie.

Por otro lado, la intensidad de oleaje, en este caso medida a través del parámetro de altura significativa de ola en rotura ( $H_{sb}$ ), así como la oblicuidad del mismo respecto a la costa, condicionan el transporte potencial de sedimentos (Kamphuis et al., 1986). Es evidente la importancia de la cuantificación de este transporte litoral, tanto a la hora de establecer la erosión a la que da lugar como para diseñar estrategias de relleno o dragado periódico en el mantenimiento de playas en equilibrio dinámico.

También el parámetro altura significativa de ola en rotura, junto con su periodo de pico asociado, determinan los estados morfodinámicos de la playa (Wright et al., 1985), cuyo conocimiento es importante ya que el estado morfodinámico de la misma puede condicionar su uso (baño, surf,...).

**DOCUMENTO FINAL**

Por otro lado, la dirección del flujo medio de energía del oleaje determina la orientación de equilibrio estático de la línea de costa. Por ello, es imprescindible su conocimiento en el diseño de playas en equilibrio estático.

### **5.3.3.2. Batimetría**

La orientación de la línea de costa, así como la presencia de elementos tales como lajas rocosas, bajos, u otras irregularidades en las curvas de nivel, condiciona las transformaciones (refracción, asomeramiento, rotura,...) que sufre el oleaje en su propagación desde aguas profundas hasta la costa. Por tanto, la batimetría determina el oleaje existente a pie de playa, cuya relevancia ha sido detallada en el apartado anterior.

En el anterior apartado se ha mencionado la importancia de la profundidad de cierre de la playa. Si bien el oleaje condiciona el valor de dicha profundidad, es su posición relativa respecto de la línea de costa la que condiciona la longitud de las estructuras de estabilización necesarias para dar apoyo a la playa hasta su pie y por tanto el coste de dichas estructuras.

En la batimetría de la zona de estudio la profundidad de cierre de las playas (alrededor de los 4 m de profundidad) se encuentra entre 150 y 300 m de la línea de costa, por tanto los espigones existentes en la actualidad en Nules, Moncofar o Chilches, de menos de 100 m de longitud no contienen el perfil mixto completo (aunque en la mayor parte de los casos sí que contiene la parte de gravas).

También cabe señalar que la formulación empleada para el cálculo del transporte potencial de sedimentos (Kamphuis et al., 1986) establece que la tasa de transporte es directamente proporcional a la pendiente del fondo en la zona de rompientes, por lo que la batimetría también tiene su importancia en la cuantificación del transporte litoral.

### **5.3.3.3. Características granulométricas de los sedimentos**

En lo que se refiere al material granular actualmente existente, el tramo de estudio se divide en dos sectores con diferentes tipos de sedimento, existiendo una zona de transición entre ellos situada entre la Playa de Almardá y la Playa de Corinto. En el sector Sur se encuentran arenas finas en todo el perfil de playa ( $D_{50} \approx 0.2$  mm), mientras que en el sector Norte existen gravas ( $D_{50} > 1$  mm) en línea de costa junto con arenas muy finas a partir de los 1-2 m de profundidad.

Es necesario tener en cuenta que el principal condicionante para el diseño de alternativas que impliquen un aporte de sedimentos, tanto inicial como periódico, no es la granulometría del material existente sino la granulometría del material de aportación que conformará la playa regenerada, así como su disponibilidad.

**DOCUMENTO FINAL**

La dificultad de conseguir arena de origen marino y las pobres características de la arena de machaqueo, que habitualmente contiene gran cantidad de finos y presenta aristas poco pulidas, obligan en multitud de ocasiones a la regeneración de playas con materiales más gruesos, en general menos atractivos para los usuarios de las playas.

Sin embargo, en el caso que nos ocupa, la posibilidad de explotación de un yacimiento de arena sumergida situada entre 65 y 85 m de profundidad frente a las costas valencianas (véase figura 5.10) ofrece la oportunidad de plantear alternativas en las que se han diseñado playas regeneradas a partir de esta arena.

De acuerdo al documento "Caracterización sedimentológica y bionómica de zonas en aguas profundas de Valencia y Alicante" realizado por Intecsa-Inarsa en 2007 el mencionado yacimiento dispone de un volumen total de arena explotable de aproximadamente 90 millones de m<sup>3</sup> con D<sub>50</sub> medio de 0.35 mm.

Por otro lado de cara al diseño de playas de gravas se dispone de material granular procedente de la Rambla de la Viuda a su paso por Els Ibarsos con D<sub>50</sub> de 15 mm.

El tamaño de los sedimentos de la playa, caracterizado a través de su tamaño medio (D<sub>50</sub>), determina la forma del perfil de equilibrio de la playa.

También el tamaño de grano (D<sub>50</sub>) condiciona el transporte litoral de sedimentos. De acuerdo a la formulación empleada para el cálculo del transporte potencial de sedimentos (Kamphuis et al., 1986), la tasa de transporte es inversamente proporcional al tamaño de grano.

La granulometría de la playa también repercute, a través del parámetro  $w$  (velocidad de caída de grano) en el estado morfodinámico de la playa (Wright et al., 1985), que como ya se ha mencionado anteriormente condiciona el uso de la playa.

**DOCUMENTO FINAL**

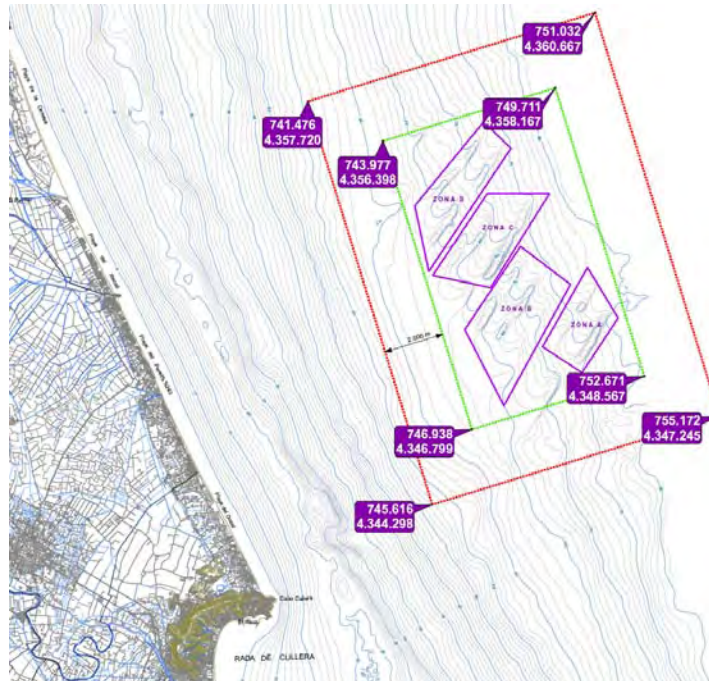


Figura 5.10 Localización del yacimiento de arena sumergida (Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino).

**5.3.3.4. Obras existentes**

Las obras existentes se han incluido dentro de los condicionantes del diseño porque en la medida de lo posible conviene llevar a cabo el planteamiento de alternativas que resuelvan la problemática del tramo costero de estudio aprovechando su presencia, debido al coste que supone su eliminación o modificación.

La costa situada entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto se encuentra altamente modificada por la acción humana, que mediante la construcción de los mencionados puertos además del Puerto Deportivo de Siles, así como menores pero muy numerosas obras de estabilización (espigones y diques exentos) o protección (escolleras), ha alterado la morfología natural de la zona de estudio.

Recorriendo la zona de actuación de Norte a Sur, en el primer tramo, situado entre Nules y el Puerto de Burriana, destaca la presencia de una escollera de protección de 3500 m de longitud.

La costa de Nules, Moncofar y Chilches es una sucesión de espigones y diques exentos, colocados casi regularmente a intervalos de 200 m, cuyos morros llegan hasta 1 ó 2 m de profundidad.

**DOCUMENTO FINAL**

Más al Sur, los tramos de Almenara, Corinto y Almardá, se encuentran menos antropizados y sólo se han dispuesto algunos tramos de escollera al Sur de las golas. Por último, en el tramo más meridional correspondiente a Sagunto, se encuentra el Puerto Deportivo de Siles, seguido de 220 m de escollera y un espigón que separa la Playa del Delta del Palancia de la Playa del Puerto de Sagunto.

### **5.3.4 Consideraciones de partida**

A la hora de diseñar las actuaciones a realizar en la zona de estudio se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones de partida:

#### ***5.3.4.1. Consideraciones generales***

- Los Puertos de Burriana y Sagunto interrumpen totalmente el transporte litoral de sedimentos. No existiendo en la actualidad ningún elemento que interrumpa totalmente el transporte litoral de sedimentos en el interior del tramo.
- A efectos del cálculo del transporte de sedimentos se ha asumido que la batimetría de la zona de actuación es para todas las alternativas invariante e igual a la de la situación actual.
- La valoración de las consecuencias que el transporte de sedimentos tiene sobre la costa se ha realizado de modo simplificado en base a valores agregados tanto espacial como temporalmente.

#### ***5.3.4.2. Consideraciones sobre el perfil de playa***

- En general se ha considerado que el perfil de playa en las diversas alternativas coincide con el perfil existente en la situación actual y en el caso de vertido de un sedimento distinto al existente se ha considerado que el perfil de playa es el correspondiente al perfil de equilibrio para ese tamaño de grano (debido a que las playas no se encuentran en equilibrio esto no va a ser exactamente así).
- Así pues, en las alternativas en las que se realiza un relleno inicial a partir de un material de granulometría diferente a la existente (véase alternativa 1.2, tramo 1 de la alternativa 3.1 y alternativa 3.2), la forma del perfil de la playa regenerada considerado ha sido el del correspondiente perfil de equilibrio de Dean (1977). Desde la línea de costa hasta la cota de coronación de la playa seca (+2 m), el perfil considerado presenta un talud de frente de playa 1:10. A

**DOCUMENTO FINAL**

partir de la profundidad de cierre de la playa ( $h^*$ ), calculada mediante la formulación de Birkemeier (1985), el perfil considerado presenta un talud 1:12.

### **5.3.4.3. Consideraciones sobre la planta de la playa**

- Siempre que no existan puntos de difracción que afecten a las playas, se ha considerado que el frente correspondiente al flujo medio de energía del oleaje determina la forma en planta de equilibrio estático de la playa.
- En los casos que los que sí existan puntos de difracción, se ha considerado que la forma en planta de equilibrio estático es la definida por la parábola de Hsu y Evans (1989).

### **5.3.5 Criterios de diseño**

Dada la orientación de equilibrio de la planta de la playa respecto al trasdós de la misma, no es posible establecer un ancho de playa seca uniforme en toda la extensión de las playas, por tanto se ha establecido como solución de compromiso que el ancho máximo de playa no debe superar los 70 m, siendo el ancho mínimo establecido variable para distintas alternativas. Los anchos mínimos de playa que se han analizado son:

- 20 m.
- 40 m.
- 60 m.

Para el establecimiento del intervalo de tiempo entre labores de mantenimiento en las alternativas que requieran dragados y rellenos periódicos, se han establecido periodos distintos para distintas alternativas. Los intervalos entre regeneraciones que se han considerado son:

- 1 año.
- 2 años.
- 5 años.

En cuanto al tipo de sedimento de la playa, se han diseñado soluciones tanto de playa arenosa ( $D_{50} = 0.35$  mm) como de playa de gravas.

La cota de coronación de la berma de la playa seca se ha establecido en la +2 m.



## 5.4 Descripción de las alternativas

A continuación se muestra de modo esquemático el conjunto de las alternativas propuestas:

**Alternativa 1:** 1 unidad fisiográfica.

- **Alternativa 1 .1:** Mantenimiento periódico mediante aporte de gravas (situación actual).

**Alternativa 1.1.a:** regeneraciones cada año.

**Alternativa 1.1.b:** regeneraciones cada 2 años.

**Alternativa 1.1.c:** regeneraciones cada 5 años.

- **Alternativa 1.2:** Relleno inicial masivo de arenas y mantenimiento periódico mediante aporte y dragado de arenas.

**Alternativa 1.2.a:** ancho inicial de playa seca de 20 m.

**Alternativa 1.2.b:** ancho inicial de playa seca de 40 m.

**Alternativa 1.2.c:** ancho inicial de playa seca de 60 m.

**Alternativa 1.2.d:** regeneraciones cada año.

**Alternativa 1.2.e:** regeneraciones cada 2 años.

**Alternativa 1.2.f:** regeneraciones cada 5 años.

**Alternativa 2:** 2 sectores. Playas de perfil mixto grava-arena en el sector Norte y arena en el sector Sur con mantenimiento periódico mediante aporte y dragado de sedimento en cada sector.

- **Alternativa 2.1:** Espigón de separación al Norte de la Gola de la Llosa.

**Alternativa 2.1.a:** regeneraciones cada año.

**Alternativa 2.1.b:** regeneraciones cada 2 años.

**Alternativa 2.1.c:** regeneraciones cada 5 años.

- **Alternativa 2.2:** Espigón de separación entre la Gola de la Llosa y la Gola de Queralt.

**Alternativa 2.2.a:** regeneraciones cada año.

**Alternativa 2.2.b:** regeneraciones cada 2 años.

**Alternativa 2.2.c:** regeneraciones cada 5 años.

- **Alternativa 2.3:** Espigón de separación en la Gola del Estany de Quartell.

**Alternativa 2.3.a:** regeneraciones cada año.

**Alternativa 2.3.b:** regeneraciones cada 2 años.

**Alternativa 2.3.c:** regeneraciones cada 5 años.

**Alternativa 3:** 7 tramos. Separación física de los tramos mediante espigones.

- **Alternativa 3 .1:** Restablecimiento del equilibrio dinámico en cada tramo mediante aporte y dragado periódico de sedimentos.

**Alternativa 3.1.a:** regeneraciones cada año.

**Alternativa 3.1.b:** regeneraciones cada 2 años.

**Alternativa 3.1.c:** regeneraciones cada 5 años.

- **Alternativa 3.2:** Creación de playas en equilibrio estático mediante un aporte inicial de arenas y la construcción de espigones.

#### **5.4.1 Alternativa 1.1: 1 unidad fisiográfica. Aporte periódico de gravas (situación actual)**

En primer lugar cabe señalar que la presente alternativa supone dar continuidad a la situación actual existente, por lo que no proporciona una solución de playas de arenas al total del tramo de costa considerado.

Como se ha explicado anteriormente, la zona de estudio se divide en dos zonas bien diferenciadas en función del tipo de perfil de playa existente:

- Desde la Playa de Nules hasta la Playa de Almardá se trata de un perfil mixto con gran variabilidad en profundidad en el tamaño de grano, constituido por gravas alrededor de la línea de costa y hasta unos 1-2 m de profundidad y arena en el resto del perfil activo de playa.
- Desde la playa de Almardá hasta el Puerto de Sagunto la variabilidad en profundidad del tamaño de grano se reduce, quedando el perfil de playa constituido por un sedimento de tipo arenas.

Los espigones existentes en la actualidad en el tramo correspondiente al perfil de playa mixto, cuyos morros se encuentran entre 1 y 2 m de profundidad, no contienen totalmente la fracción de gravas del perfil, no dando por consiguiente apoyo al perfil activo de la playa.

**DOCUMENTO FINAL**

En la presente alternativa se propone corregir los efectos de dicha erosión, del mismo modo que se hace en la actualidad, mediante la aportación puntual de gravas en las zonas afectadas.

De acuerdo a la mayor tasa de transporte para las gravas ( $D_{50} > 1 \text{ mm}$ ) situadas a una profundidad menor de 2 m, el volumen de gravas a reponer es de  $11403 \text{ m}^3/\text{año}$ , véase figura 5.1.

Por otro lado, las gravas situadas al Norte del tramo de estudio invaden progresivamente las playas arenosas situadas al Sur, encontrándose gravas en la actualidad desde la Playa de Nules hasta la parte Norte de la Playa de Almarzá.

La presente alternativa no propone ninguna medida para evitar la progresiva contaminación con gravas de las playas arenosas, más allá de la limpieza periódica de gravas superficiales en la medida de lo posible como medida correctora.

Se han propuesto 3 alternativas de mantenimiento periódico en función del intervalo de tiempo entre actuaciones de relleno, que puede ser anual, cada 2 años o cada 5 años, que se corresponden con las alternativas 1.1.a, 1.1.b y 1.1.c, respectivamente.

Para valorar los efectos erosivos que el transporte litoral de sedimentos tiene sobre las playas de perfil mixto grava-arena, se ha asumido un retroceso uniforme en toda la costa igual al máximo calculado para las playas de perfil mixto grava-arena en la zona 2 (de la Gola de Ratlla a la Playa de Pedra Rotja) y que se produce al Sur de la Playa de Nules. Dicho retroceso resulta de  $2.61 \text{ m/año}$ .

En la figura 5.11 se muestra junto al ancho de playa seca disponible en la actualidad, los anchos finales tras el periodo establecido entre realimentaciones para cada una de las variantes de la presente alternativa.

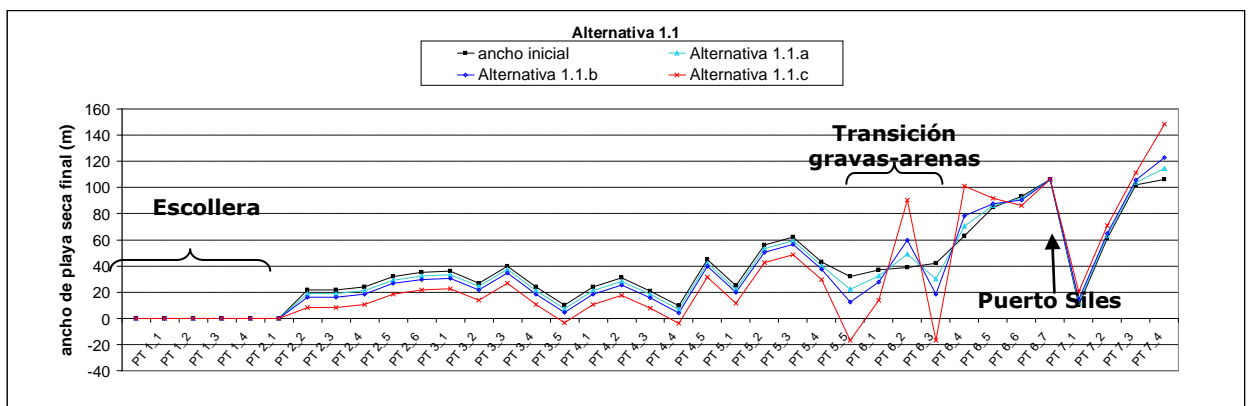


Figura 5.11 Ancho de playa seca inicial y final para todas las variantes de la alternativa 1.1.

**DOCUMENTO FINAL**

La localización de los perfiles considerados a lo largo del tramo de costa de estudio, recogidos en el eje de abscisas de la figura 5.11, son los mostrados desde la figura 5.2 a la figura 5.5.

A la vista de la figura 5.11 se observa que en el caso de la alternativa 1.1.c (regeneraciones cada 5 años), al final del periodo establecido entre realimentaciones, hay varias localizaciones en las que la playa desaparece por completo.

Para las otras dos variantes de la alternativa 1.1 (a y b), no llega a desaparecer la playa en ningún caso pero sí se reduce el ancho mínimo de playa seca por debajo de los 20 m en varias localizaciones.

Cabe destacar que la mayor erosión se produce en la zona de transición entre las playas de perfil mixto grava-arena y las playas de arena, que se produce entre la Gola del Estany del Quartell y el perfil PT 6\_4. Debido a la tasa diferencial de transporte entre las gravas de las playas situadas al Norte de dicha zona de transición respecto a la de las playas de arena situadas al Sur, en la zona de transición existe un déficit de sedimentos de 52610 m<sup>3</sup>/año.

Por otro lado, aunque la tendencia al Norte del Puerto de Siles es acumulativa, dado que el dique del puerto no da apoyo a todo el perfil activo de la playa, se produce by-pass de sedimento hacia el Sur. Así pues, para evitar esta pérdida de arena, a la vez que la excesiva acumulación de sedimentos en la Playa de Sagunto debido al by-pass en el Puerto de Siles, se propone el trasvase de la arena acumulada al Sur de la playa de Canet de Berenguer hacia el Norte de la Playa de Almardá, del mismo modo que se hace en la actualidad.

Dado que el volumen de sedimentos a dragar en la playa de Canet de Berenguer es inferior al déficit de sedimentos que se produce en la zona de transición entre las playas de perfil mixto grava-arena a las playas de arena, es necesario realizar un aporte adicional de arena, que se estima en 19502 m<sup>3</sup>/año.

A la vista de todo lo anterior, se han establecido las siguientes necesidades para el mantenimiento de las playas en el marco de la alternativa 1.1:

- Reposición de 11403 m<sup>3</sup>/año de gravas en las playas situadas al Norte de Corinto.
- Recirculación de sedimentos mediante el dragado de 33108 m<sup>3</sup> anuales junto al Puerto de Siles, para su posterior depósito en la parte Norte de la Playa de Almardá, en la zona de transición entre las playas de perfil mixto grava-arena a las playas de arena.

**DOCUMENTO FINAL**

- Aporte adicional de 19502 m<sup>3</sup>/año de arena al Sur de la Gola del Estany de Quartell.
- Limpieza superficial de gravas en la playa de Almardá.

### **5.4.2 Alternativa 1.2: Una unidad fisiográfica. Relleno inicial masivo de arena, dragado y aporte periódico de arenas.**

Dada la disponibilidad de arena de préstamo en grandes volúmenes gracias al yacimiento de arena sumergida existente, con 90 millones de metros cúbicos de arena de  $D_{50}=0.35$  mm explotable, se plantea la posibilidad de hacer un relleno inicial masivo en la zona de actuación desde el Puerto de Burriana hasta la Gola del Estany de Quartell, enlazando a l S ur d e la m encionada G ola c on las p layas d e a rena e xistentes en l a actualidad.

De este modo se crea una playa continua de arena en toda la zona de actuación con ancho inicial de playa seca de 20 m, 40 m o 60 m, respectivamente, para las variantes de la presente alternativa 1.2.a, 1.2.b o 1.2.c.

Por otro lado, para resolver la problemática del by-pass de sedimentos que se produce a través del Puerto de Siles, se propone la realización de un dragado masivo de las Playas de Canet de Berenguer y Almardá hasta que la línea de costa se sitúe en su posición previa a la construcción del Puerto de Siles, además de la disposición de una trampa de sedimentos frente a l Puerto d e S iles y la localización d e u na z ona d e d ragado de emergencia frente a la Playa del Puerto de Sagunto.

Dado que las playas resultantes tras el relleno y dragado inicial no se encuentran en equilibrio estático, es necesaria la realización de labores de mantenimiento periódicas de relleno y dragado para mantener a lo largo del tiempo un ancho de playa seca mínimo en toda la longitud del tramo de estudio.

El mecanismo de mantenimiento diseñado consiste en la recirculación de los sedimentos acumulados al Norte del Puerto de Siles durante el periodo establecido para ser posteriormente depositados en el buffer de Burriana.

La duración del intervalo entre operaciones de mantenimiento es de 1 año, 2 años o 5 años, respectivamente, para las variantes de la presente alternativa 1.2.d, 1.2.e o 1.2.f.

#### ***Relleno masivo inicial***

De cara al relleno masivo inicial, que se llevará a cabo desde el Puerto de Burriana hasta la Gola del Estany de Quartell, con arena de aportación con  $D_{50}=0.35$  mm procedente del

**DOCUMENTO FINAL**

yacimiento de arena sumergida ( véase figura 5 .10), se han propuesto 3 diferentes alineaciones iniciales de la línea de costa proporcionando un ancho de playa seca de 20 m, 40 m y 60 m, que se corresponden con las alternativas 1.2.a, 1.2.b y 1.2.c respectivamente.

Para el cálculo del volumen inicial de aportación, localizado entre el Puerto de Burriana y la Gola del Estany de Quartell, se ha asumido que el perfil de la playa regenerada sigue el perfil de equilibrio de Dean (1977) con un tamaño de grano de  $D_{50}=0.35$  mm, que la berma de playa seca se ubica a la cota +2 m y que la profundidad de cierre  $h^*$  es la propuesta por Birkemeier (1985).

De este modo, el volumen de relleno inicial estimado es de 2.81 millones de  $m^3$ , 5.04 millones de  $m^3$  y 7.39 millones de  $m^3$  para las alineaciones de 20 m, 40 m y 60 m de playa seca, respectivamente, como se muestra en la tabla 5.2.

**DOCUMENTO FINAL**

Alternativa			1.2.a (+20 m)		1.2.b (+40 m)		1.2.c (+60 m)	
Perfil	L (m)	h* (m)	Área perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Área perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Área perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
P 1_1	543	3.85	41	22 438	107	58 049	177	95 930
P 1_2	403	3.88	43	17 497	115	46 107	194	78 114
P 1_3	320	3.82	59	18 880	144	45 944	237	75 870
P 1_4	445	3.74	80	35 758	200	88 873	321	143 008
P 1_5	528	3.95	128	67 614	248	130 865	371	195 677
P 1_6	492	3.95	175	86 145	298	146 413	424	208 614
P 2_1	508	4.25	141	71 655	266	134 744	392	199 030
P 2_2	536	4.19	183	98 242	310	166 128	439	235 398
P 2_3	527	4.01	161	84 644	285	150 122	413	217 484
P 2_4	478	4.16	61	28 930	162	77 422	287	137 198
P 2_5	480	4.19	172	82 471	297	142 496	424	203 496
P 2_6	484	4.27	126	61 075	247	119 324	371	179 374
P 2_7	497	4.26	169	83 970	291	144 425	416	206 892
P 2_8	548	4.34	158	86 327	267	146 147	379	207 627
P 3_1	493	4.28	158	78 105	270	132 971	384	189 475
P 3_2	512	4.26	174	89 043	297	152 277	423	216 640
P 3_3	581	4.21	140	81 476	262	152 358	387	225 072
P 3_4	503	4.21	151	75 815	276	138 784	404	203 415
P 3_5	496	4.16	202	100 349	330	163 801	461	228 491
P 3_6	593	4.27	158	93 903	284	168 321	413	244 843
P 3_7	597	4.19	112	66 690	221	131 996	340	202 823
P 3_8	708	4.19	189	133 787	315	222 817	443	313 386
P 4_1	748	4.14	136	101 577	253	189 063	375	280 683
P 4_2	614	4.12	152	93 392	261	160 557	381	233 713
P 4_3	481	4.21	97	46 728	186	89 551	281	135 023
P 4_4	457	4.21	157	71 571	262	119 820	381	174 224
P 4_5	584	4.16	75	44 076	162	94 607	253	147 613
P 4_6	579	4.15	106	61 116	204	118 093	320	185 115
P 4_7	587	4.20	122	71 450	217	127 238	318	186 738
P 4_8	681	4.23	124	84 134	222	150 996	328	223 043
P 5_1	635	4.13	154	97 908	254	161 408	355	225 291
P 5_2	580	4.13	199	115 566	299	173 516	399	231 466
P 5_3	589	4.13	185	109 013	297	174 726	412	242 302
P 5_4	644	4.12	190	122 462	301	194 018	416	267 732
P 5_5	627	4.26	183	114 556	307	192 521	434	272 431
P 5_6	576	4.18	73	42 072	174	100 078	300	172 583
P 5_7	596	4.23	126	74 925	222	132 229	335	199 820
<b>Totales</b>				<b>2 815 362 m<sup>3</sup></b>		<b>5 038 805 m<sup>3</sup></b>		<b>7 385 634 m<sup>3</sup></b>

 Tabla 5.2 Volumen de relleno inicial (D<sub>50</sub>=0.35 mm). Alternativa 1.2.

La localización de los perfiles considerados para la cubicación de volúmenes de la tabla 5.2 se muestra desde la figura 5.12 a la figura 5.14 (nótese que los perfiles indicados en las diferentes tablas a lo largo del presente capítulo son los correspondientes al apartado

DOCUMENTO FINAL

de perfil del capítulo anterior pero no son exactamente los mismos perfiles en los que se ha establecido el transporte)..

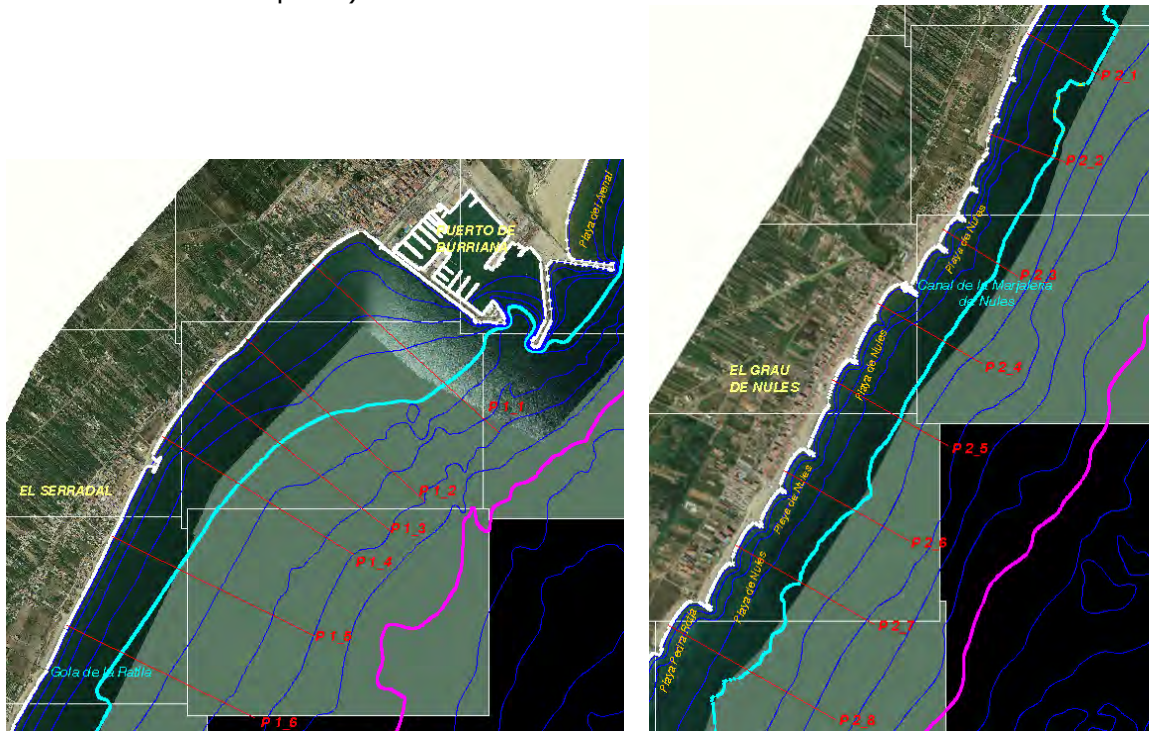


Figura 5.12 Localización de perfiles del tramo 1 y 2.

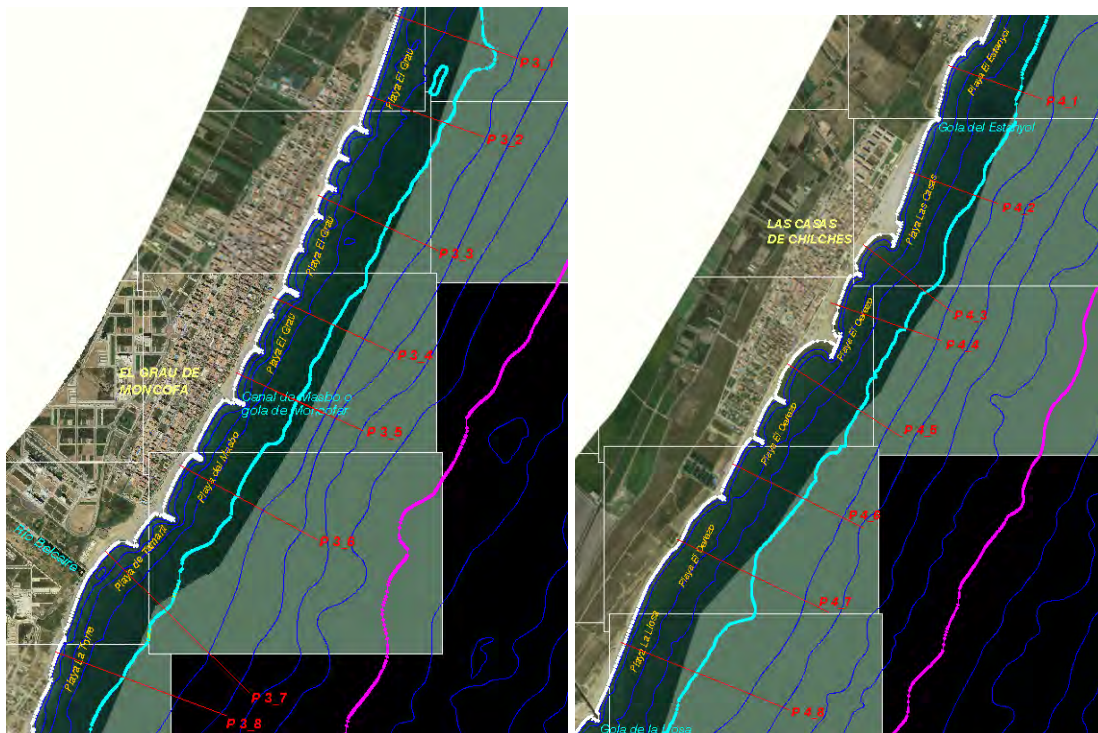


Figura 5.13 Localización de perfiles de los tramos 3 y 4.



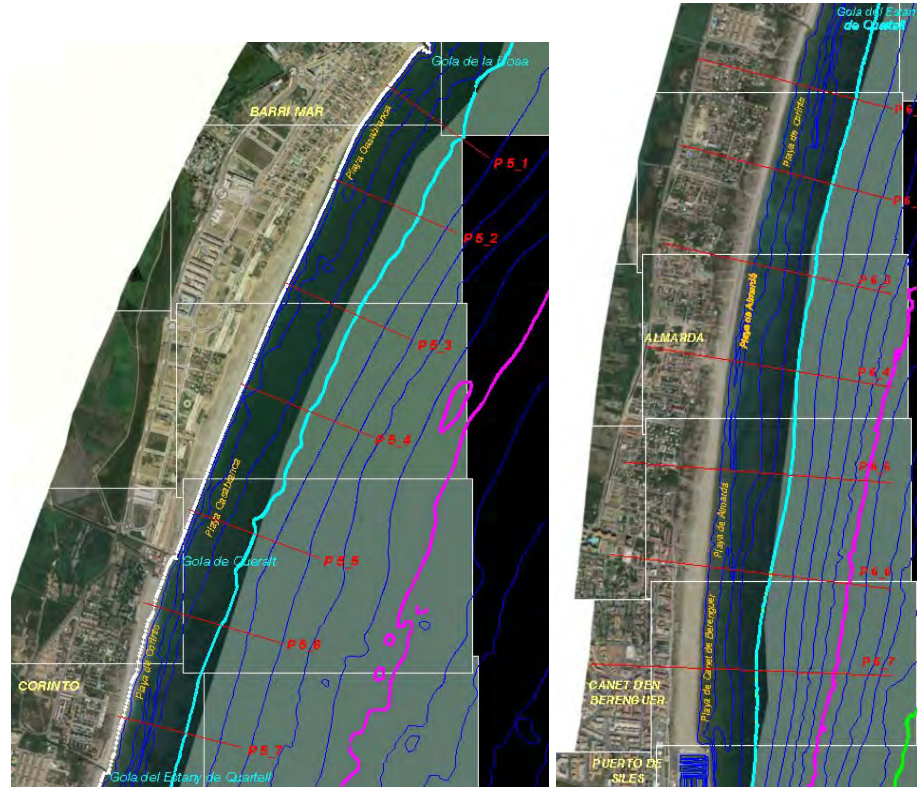


Figura 5.14 Localización de perfiles del tramo 5 y 6.

### ***Retirada de gravas al Sur de la Gola del Estany de Quartell***

Al Sur del Estany de Quartell no se plantea la disposición de un relleno inicial debido a que las playas existentes están y a en la actualidad compuestas principalmente por arenas de  $D_{50}$  aproximado de 0.2 mm. Sin embargo, es necesario señalar que en los primeros 1900 m al Sur de la Gola del Estany (hasta el perfil PT 6\_4 aproximadamente), en las Playas de Corinto y Algardá se encuentran gravas que se propone que sean retiradas y sustituidas por arena de  $D_{50} \approx 0.2$  mm procedente del dragado inicial al Norte del Puerto de Siles.

Por tanto, al Sur de la Gola de Estany de Quartell, en la Playa de Corinto se produce la transición de arenas de aportación ( $D_{50} = 0.35$  mm) a la arena existente en la actualidad en las playas de Algardá y Canet de Berenguer ( $D_{50} \approx 0.2$  mm).

Debido a las diferentes tasas del transporte de sedimentos en función de su tamaño de grano, se origina una zona de erosión en la mencionada transición, como ya se comentó en lo referente a la transición entre las playas de perfil mixto grava-arena y solo de arenas en la alternativa 1.1. Ahora bien, esta tasa diferencial de transporte va a ser menor que la existente en la actualidad.

**DOCUMENTO FINAL**

Para estimar el volumen de gravas a retirar, se ha considerado que éstas ocupan el perfil activo desde una profundidad de 2 m hasta la coronación, siendo el ancho del perfil activo de la playa de 30 m (Medina et al., 1995), resultando un volumen total de 228000 m<sup>3</sup> de gravas a retirar.

El volumen de arenas de D<sub>50</sub> aproximado de 0.2 mm, obtenido del dragado inicial realizado al Norte del Puerto de Siles necesario para sustituir las gravas retiradas al Sur de la gola del Estany de Quartell resulta ser de 260296 m<sup>3</sup>. Dicho volumen de arena ha sido calculado como se muestra en la tabla 5.3.

<b>Alternativa 1.2 Relleno D50≈0.2 mm</b>					
<b>Perfil</b>	<b>L (m)</b>	<b>h* (m)</b>	<b>Dx (m)</b>	<b>Área perfil (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>P 6_1</b>	562	4.17	0	23	12 738
<b>P 6_2</b>	523.5	4.25	0	15	7 700
<b>P 6_3</b>	556	4.00	0	21	11 857
-	Por retirada de gravas				228 000 m <sup>3</sup>
<b>Totales</b>					<b>260 296 m<sup>3</sup></b>

Tabla 5.3 Volumen de relleno de arena de D<sub>50</sub>≈0.2 mm al Sur de la Gola del Estany de Quartell. Alternativa 1.2.

**El buffer de Burriana**

La arena depositada en el tramo de costa situado entre el Puerto de Burriana y la Playa de Nules (justo en la zona en la que en la actualidad se encuentra dispuesta una escollera) como parte del relleno masivo inicial ha sido designada como buffer de almacenamiento de sedimentos.

Los sedimentos dispuestos en el llamado buffer de Burriana serán progresivamente erosionados y transportados hacia el Sur mediante los mecanismos naturales de transporte, alimentando al resto de los tramos de la zona de estudio.

Esta localización del buffer de almacenamiento de sedimentos, inmediatamente al Sur del Puerto de Burriana, a la briga de su contradique Sur (véase figura 5.15), permite aprovechar la escollera actualmente existente como elemento de protección costera si llega a producirse una erosión tal que alcance la posición actual de la línea de costa.

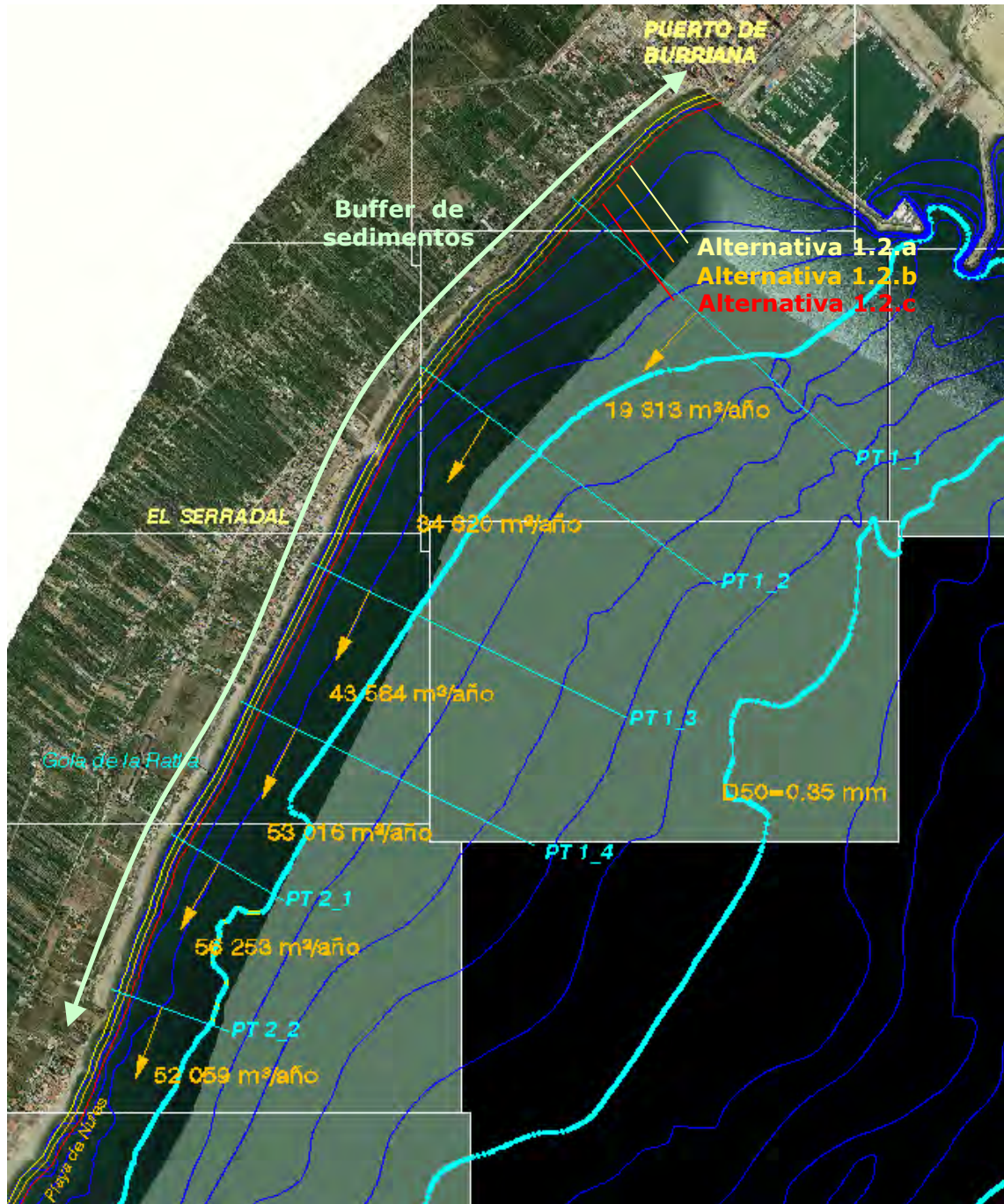


Figura 5.15 Localización del buffer al Sur del Puerto de Burriana y líneas de costa iniciales de las alternativas 1.2.a, 1.2.b y 1.2.c.

En la tabla 5.4 se muestra el volumen contenido inicialmente en el buffer para cada una de las variantes de relleno inicial (1.2.a, 1.2.b y 1.2.c con 20 m, 40 m y 60 m de ancho inicial de playas eca respectivamente) junto a l v olumen p otencial d e t ransporte d e sedimentos, teniendo en cuenta una tasa de transporte de 56300 m<sup>3</sup>/año (ya que la tasa

**DOCUMENTO FINAL**

máxima de transporte en la zona del buffer es de 56253 m<sup>3</sup>/año y corresponde al perfil PT 2\_1, véase figura 5.15), así como el volumen de sedimento contenido en el buffer al final del periodo entre actuaciones de relleno para las distintas variantes de duración de este periodo (1.2.d, 1.2.e y 1.2.f con 1 año, 2 años y 5 años).

Alternativa		Volumen inicial en buffer (m <sup>3</sup> )	Transporte potencial (m <sup>3</sup> )	Volumen final en buffer (m <sup>3</sup> )
1.2	a+d	369 108	56 300 (1 año)	312 808
	a+e		112 600 (2 años)	256 508
	a+f		281 500 (5 años)	87 608
	b+d	734 058	56 300 (1 año)	677 758
	b+e		112 600 (2 años)	621 458
	b+f		281 500 (5 años)	452 558
	c+d	1 113 943	56 300 (1 año)	1 057 643
	c+e		112 600 (2 años)	1 001 343
	c+f		281 500 (5 años)	832 443

Tabla 5.4 Volumen inicial y final de sedimento contenido en el buffer de Burriana. Alternativa 1.2.

A la vista de los valores mostrados en la tabla 5.4, se observa que disponiendo en el buffer de Burriana el mismo relleno inicial que en el resto de la zona de estudio (20 m, 40 m o 60 m de ancho inicial de playa seca), dicho buffer en ningún momento se quedará totalmente sin sedimentos. Por tanto, no se requiere la aportación inicial de ningún relleno adicional en el buffer de Burriana.

De hecho, en el peor de los casos se prevé llevar a cabo regeneraciones cada 5 años mientras que se estima que el buffer de Burriana tardaría por lo menos 6.5 años, 13 años o 20 años en quedarse sin sedimentos por completo, según las alternativas 1.2.a, 1.2.b o 1.2.c respectivamente.

### **Dragado inicial al Norte del Puerto de Siles**

Actualmente el área adyacente al Puerto de Siles en su zona Norte se encuentra saturada de sedimento, hasta el punto de que existe by-pass de dichos sedimentos hacia el Sur

**DOCUMENTO FINAL**

hacia la Playa de Sagunto. Con el objetivo de eliminar o reducir estib y-pass es necesario realizar un retranqueo de la línea de costa en esta zona Norte en las inmediaciones del Puerto de Siles, por lo que se propone la realización de un dragado inicial masivo en las Playas Almardá y Canet de Berenguer.

El dragado inicial propuesto es tal que la línea de costa actual queda retranqueada hasta la posición que tenía antes de la construcción del Puerto de Siles en 1981, como se muestra en la figura 5.16 (véase en la tabla 5.5 el volumen que es necesario dragar con el fin indicado).



Figura 5.16 Línea de costa correspondiente a 1981 en la Playa de Canet de Berenguer.

<b>Alternativa 1.2 (Dragado Inicial)</b>					
<b>Perfil</b>	<b>L (m)</b>	<b>Dx (m)</b>	<b>h* (m)</b>	<b>Área perfil (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>P 6_4</b>	594	-12	4.07	-73	-43 212
<b>P 6_5</b>	588	-21	4.16	-129	-76 043
<b>P 6_6</b>	570	-63	4.20	-390	-222 528
<b>P 6_7</b>	753	-95	4.22	-591	-444 624
<b>Totales</b>					<b>-786 407 m<sup>3</sup></b>

Tabla 5.5 Volumen de dragado inicial en la Playa de Canet de Berenguer.  
Alternativa 1.2.

### ***Mecanismo de mantenimiento periódico***

Dado que las playas diseñadas no se encuentran en equilibrio estático existiendo un transporte de sedimentos neto en dirección Sur, es necesario llevar a cabo labores de mantenimiento periódico a fin de mantener la alineación inicialmente establecida de la línea de costa, las cuales consistirán en el dragado de los sedimentos acumulados al Norte del Puerto de Siles y en el relleno del buffer situado al Sur del Puerto de Burriana.

Se han propuesto 3 alternativas de mantenimiento periódico en función del intervalo de tiempo entre actuaciones de dragado en la Playa de Canet de Berenguer y relleno del mencionado buffer, que puede ser anual, cada 2 años o cada 5 años, correspondiendo a las alternativas 1.2.d, 1.2.e y 1.2.f, respectivamente. En todos los casos el aporte de sedimentos a realizar será equivalente a 56300 m<sup>3</sup>/año y el dragado a realizar será del orden de 66606 m<sup>3</sup>/año (que es la tasa media anual de transporte en el perfil PT 6\_4 para un tamaño de grano de 0.2 mm). Nótese que en la realidad el dragado a realizar será inferior al indicado ya que a medida que se vaya depositando sedimento al Norte del Puerto de Siles las tasas de transporte serán inferiores y además a medida que se vaya mezclando el sedimento de la arena de aportación con un tamaño de grano de 0.35 mm con el sedimento existente con un tamaño de grano aproximado de 0.2 mm las tasas también se verán disminuidas.

Un periodo de varios años entre intervenciones de mantenimiento permite, por un lado, la reducción de los costes de movilización de maquinaria pesada si ésta fuera necesaria para el dragado y vertido de los rellenos periódicos y, por otro, mitigar los efectos de la variabilidad interanual en la erosión de la costa.

Sin embargo, cabe señalar que la variabilidad temporal del transporte de sedimentos no ha sido tenida en cuenta en el presente estudio comparativo de alternativas trabajándose con tasas medias anuales de transporte potencial. Dicha variabilidad será tenida en cuenta en la alternativa de actuación finalmente elegida.

Por otro lado, el avance que la línea de costa experimenta a la altura del Puerto de Siles respecto a su posición tras el dragado inicial (L0) se convierte en un indicador del volumen de sedimentos acumulados y por tanto de la necesidad de realizar un dragado

**DOCUMENTO FINAL**

en esta zona. Así pues, este indicador es lo más adecuado a la hora de decidir el momento de realizar el dragado.

Se han establecido 4 niveles de alerta (L1, L2, L3 y L4) para la acumulación de sedimentos al Norte del Puerto de Siles como se muestra en la figura 5.17, siendo el límite máximo permitido (L4) el nivel de saturación de la playa en la situación actual en la que existe by-pass de sedimento, mientras que los anteriores niveles de alerta L1, L2 y L3 se corresponden con las 3 variantes en cuanto a la estrategia de dragado 1.2.d, 1.2.e y 1.2.f, respectivamente.

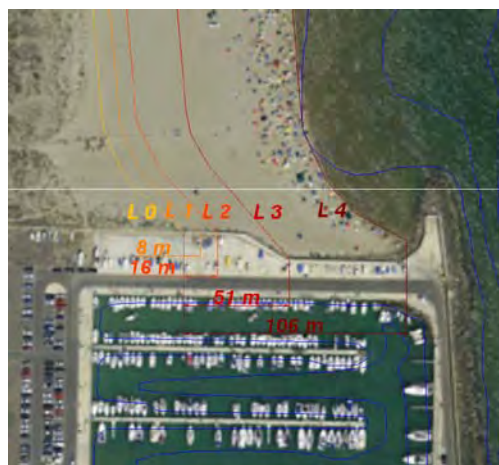


Figura 5.17 Niveles de alerta para la acumulación de sedimentos al Norte del Puerto de Siles.

El cálculo del volumen de sedimentos acumulado correspondiente a las sucesivas líneas de costa (L1, L2, L3 y L4), se muestra desde la tabla 5.6 a la tabla 5.9.

Alternativa 1.2.d			L0→L1		
Perfil	L (m)	h* (m)	Dx (m)	Área perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
P 6_4	593.5	4.07	1	6.2	3 660
P 6_5	588	4.16	2	11.0	6 440
P 6_6	570	4.20	5	33.1	18 846
P 6_7	752.5	4.22	8	50.0	37 655
<b>Totales</b>					<b>66 600 m<sup>3</sup></b>

Tabla 5.6 Volumen de sedimentos acumulados al Norte del Puerto de Siles desde la posición inicial de la línea de costa (L0) hasta la posición del primer nivel de alerta (L1).

**DOCUMENTO FINAL**

Alternativa 1.2.e			L0→L2		
Perfil	L (m)	h* (m)	Dx (m)	Área perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
P 6_4	593.5	4.07	2	12.3	7 319
P 6_5	588	4.16	4	21.9	12 880
P 6_6	570	4.20	11	66.1	37 691
P 6_7	752.5	4.22	16	100.1	75 310
<b>Totales</b>					<b>133 200 m<sup>3</sup></b>

Tabla 5.7 Volumen de sedimentos acumulados al Norte del Puerto de Siles desde la posición inicial de la línea de costa (L0) hasta la posición del segundo nivel de alerta (L2).

Alternativa 1.2.f			L0→L3		
Perfil	L (m)	h* (m)	Dx (m)	Área perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
P 6_4	593.5	4.07	5	30.8	18 298
P 6_5	588	4.16	9	54.8	32 200
P 6_6	570	4.20	27	165.3	94 228
P 6_7	752.5	4.22	40	250.2	188 274
<b>Totales</b>					<b>333 000 m<sup>3</sup></b>

Tabla 5.8 Volumen de sedimentos acumulados al Norte del Puerto de Siles desde la posición inicial de la línea de costa (L0) hasta la posición del tercer nivel de alerta (L3).

Situación actual			L0→L4		
Perfil	L (m)	h* (m)	Dx (m)	Área perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
P 6_4	593.5	4.07	12	73	43 212
P 6_5	588	4.16	21	129	76 043
P 6_6	570	4.20	63	390	222 528
P 6_7	752.5	4.22	95	591	444 624
<b>Totales</b>					<b>786 407 m<sup>3</sup></b>

Tabla 5.9 Volumen de sedimentos acumulados al Norte del Puerto de Siles desde la posición inicial de la línea de costa (L0) hasta la posición del cuarto nivel de alerta (L4).

Los volúmenes acumulados hasta las sucesivas líneas de costa, L1, L2 y L3, véase tabla 5.6 a tabla 5.8, se corresponden con los volúmenes estimados a dragar en las alternativas 1.2.d, 1.2.e y 1.2.f, respectivamente.

En la figura 5.18 se muestra el área de dragado en las Playas de Canet de Berenguer y Almadá, la línea de costa inicial (tras el dragado masivo realizado) y final correspondientes a los 4 niveles de alerta establecidos (L1, L2, L3 y L4) junto con las tasas medias anuales de transporte en la situación actual con tamaño de grano  $D_{50}=0.2$  mm.





Figura 5.18 Localización del área de dragado, línea de costa inicial y líneas de costa finales de las alternativas 1.2.g, h, i y j.

La línea de costa resultante tras el dragado inicial, similar a la que había en 1981, es sensiblemente rectilínea y tiene una orientación similar a la de la costa actual a la altura del perfil PT 6\_4. Por lo tanto, se ha asumido que la tasa de transporte tras el dragado inicial en las Playas de Canet de Berenguer y Almarada es de 66606 m<sup>3</sup>/año (véase figura 5.18).

**DOCUMENTO FINAL**

En la tabla 5.10 se muestra el tiempo aproximado que se estima que tardará la línea de costa en avanzar desde la posición L0 hasta las distintas posiciones establecidas (tiempo estimado entre dragados correspondiente a las variantes 1.2.d, 1.2.e y 1.2.f). Recuérdese lo ya comentado de que en la realidad el tiempo entre dragados será mayor que el indicado en la tabla 5.10 ya que a medida que se vaya depositando sedimento al Norte del Puerto de Siles las tasas de transporte serán inferiores y además a medida que se vaya mezclando el sedimento de la arena de aportación con un tamaño de grano de 0.35 mm con el sedimento existente con un tamaño de grano aproximado de 0.2 mm las tasas también se verán disminuidas.

<b>Alternativa</b>	<b>Nivel de alerta (avance límite de la línea de costa en Puerto Siles)</b>	<b><math>\Delta t</math> (años)</b>	<b>Volumen de sedimentos (m<sup>3</sup>)</b>
<b>1.2.d</b>	<b>L1</b>	1	66 600
<b>1.2.e</b>	<b>L2</b>	2	133 200
<b>1.2.f</b>	<b>L3</b>	5	333 000
<b>Situación actual</b>	<b>L4</b>	12	786 407

Tabla 5.10 Dragados periódicos a realizar al Norte del Puerto de Siles para la alternativa 1.2.

Asimismo, con el fin de disminuir el by-pass de sedimentos de la zona al Norte del Puerto de Siles hacia la zona al Sur del mencionado Puerto, se ha previsto la disposición de una trampa de sedimentos frente a la Playa de Canet de Berenguer y el propio Puerto de Siles cuyo dimensionamiento será objeto de posteriores trabajos, de ser ésta la alternativa seleccionada como óptima. Por otra parte y ante posibles by-pass de sedimento en la zona indicada previamente, también se ha previsto una segunda área de dragado al frente de la Playa de Sagunto, que se muestra en la figura 5.19.

Merece la pena recalcar que dado que la línea de costa no se encuentra en equilibrio estático y que existe un gradiente espacial de las tasas de transporte a lo largo del tramo de costa de estudio, existen zonas en las que se produce erosión y otras en las que se tiene acumulación de sedimentos. Será por tanto necesario el diseño de estrategias de detalle para mitigar el efecto de la erosión en estas zonas, lo cual sin embargo se escapa del alcance del presente estudio de alternativas y será objeto de un análisis detallado de ser ésta la alternativa seleccionada como óptima.

No obstante cabe aquí indicar cuáles son las zonas que se han detectado como potencialmente más problemáticas debido a la erosión que cabe esperar que se produzca en ellas. Tales zonas son principalmente las siguientes:

- El buffer situado al Sur del Puerto de Burriana (en la actualidad existe una escollera de protección en esta zona).
- La zona adyacente a la Gola de La Llosa en el Sur de dicha Gola (de hecho en esta zona en la actualidad se ubica una escollera de protección).

**DOCUMENTO FINAL**

- El Sur de la Gola del Estany de Quartell (ya que por la diferencia de sedimentos en esta zona, con tamaño de grano de 0.35 mm en el Norte y con 0.2 mm en el Sur, se producirá una tasa diferencial de transporte, aunque menor que la existente hoy en día. Téngase presente que a medida que pase el tiempo y a mbos s edimentos se v ayan m ezclando d ejará d e e xistir d icho gradiente diferencial de transporte).



Figura 5.19 Localización del área de dragado de emergencia en la Playa de Sagunto. Alternativa 1.2.

Como se muestra en la figura 5.20, la línea de costa llegará a erosionarse hasta dejar al descubierto la escollera existente en las dos primeras zonas indicadas previamente sólo al final del periodo entre realimentaciones de la variante 1.2.a.f, esto es para el menor

**DOCUMENTO FINAL**

ancho mínimo de playa seca (20 m) y el mayor intervalo entre realimentaciones (5 años).

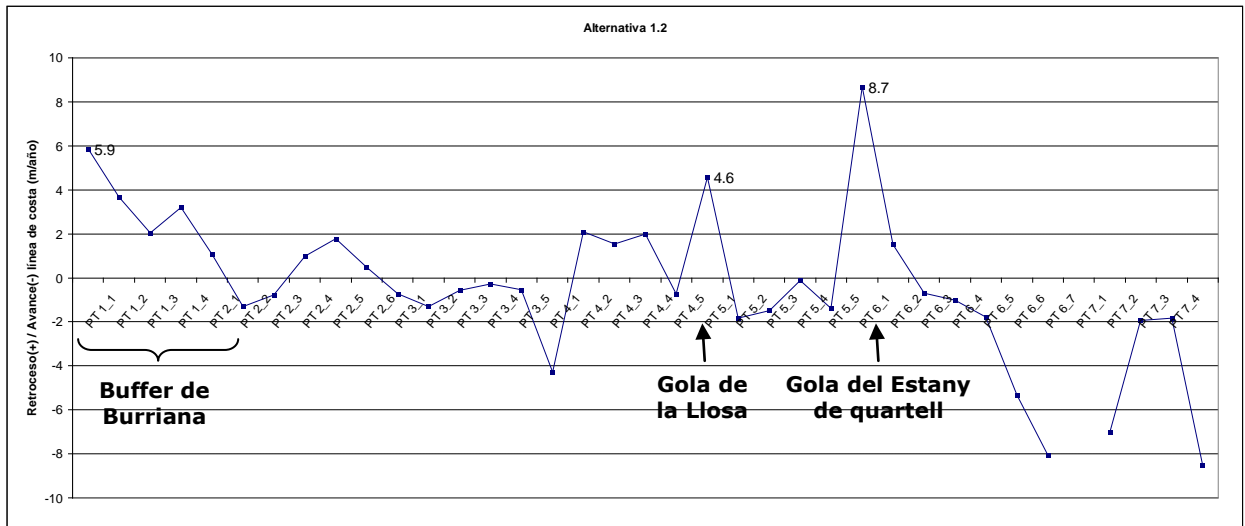


Figura 5.20 Retroceso (+) o avance (-) anual de la línea de costa a lo largo de toda la zona de estudio para la alternativa 1.2.

La localización de los perfiles considerados a lo largo del tramo de costa de estudio, recogidos en el eje de abscisas de la figura 5.20, se muestra desde la figura 5.2 a la figura 5.5.

La importante erosión producida al Sur de la Gola del Estany de Quartell se debe a que en esta zona se encuentra la transición entre un material más grueso al Norte (arena de aportación de  $D_{50}=0.35$  mm) y otro material más fino en la parte Sur de la playa (arena existente de  $D_{50}\approx 0.2$  mm). A pesar de esta erosión, en la zona de la Gola del Estany de Quartell, incluso en el peor de los casos (5 años entre realimentaciones), el ancho de playa seca disponible es tal (unos 120 m hasta la primera línea de viviendas) que a pesar de que la erosión que se llegaría a producir alcanzaría los 43.5 m, aún se dispondría de un holgado ancho de playa seca.

La posible disposición de un buffer de sedimentos en las inmediaciones de la Gola del Estany de Quartell será objeto de estudio en posteriores trabajos, de ser esta la alternativa seleccionada como óptima, así como la determinación de otros buffers en áreas con tendencias erosivas.

**DOCUMENTO FINAL**

**Resumen de actuaciones de la alternativa 1.2**

En resumen, en la presente alternativa se incluyen 9 posibles variantes combinando las distintas opciones propuestas para las siguientes actuaciones:

- 3 variantes de ancho de playa seca inicial: 1.2.a, 1.2.b y 1.2.c con 20 m, 40 m y 60 m respectivamente.
- 3 variantes para el intervalo entre operaciones de relleno y dragado: 1.2.d, 1.2.e, y 1.2.f con 1 año, 2 años y 5 años, respectivamente.

Las actuaciones iniciales a realizar son:

- Dragado inicial de la Playa de Canet de Berenguer y Almardá: 786 407 m<sup>3</sup>.
- Retirada de gravas en la playa de Corinto y Almardá: 228 000 m<sup>3</sup>.
- Sustitución de gravas por arena procedente del dragado: 260 296 m<sup>3</sup>.
- Relleno inicial desde el Puerto de Burriana hasta la Gola del Estany de Quartell:

Alternativa	Ancho mínimo playa seca (m)	Relleno inicial (m <sup>3</sup> )
<b>1.2.a</b>	20	2 815 362
<b>1.2.b</b>	40	5 038 805
<b>1.2.c</b>	60	7 385 634

Tabla 5.11 Relleno inicial de arena de aportación ( $D_{50}=0.35$  mm). Alternativa 1.2.

Las operaciones periódicas de mantenimiento a realizar, que se resumen en la tabla 5.12, son las siguientes:

- Dragado periódico de las Playas de Canet de Berenguer y Almardá.
- Relleno periódico del buffer de Burriana.

Alternativa	$\Delta t$ (años)	Dragado (m <sup>3</sup> )	Relleno buffer (m <sup>3</sup> )
<b>1.2.d</b>	1	66 600	56 300
<b>1.2.e</b>	2	133 200	112 600
<b>1.2.f</b>	5	333 000	281 500

Tabla 5.12 Operaciones de mantenimiento periódico. Alternativa 1.2.

Es necesario señalar que aunque el conjunto del sistema de realimentación se haya descrito como cerrado, no existiendo pérdidas de sedimento en la unidad fisiográfica, debido a procesos transversales de transporte, el transporte eólico de arena u otros fenómenos, es previsible que una porción de la arena erosionada en el buffer de Burriana no pueda ser recuperada con el dragado previsto en las Playas de Canet de Berenguer y Almardá, de modo que sea necesario realizar aportes periódicos adicionales.

### **5.4.3 Alternativa 2: Dos sectores. Playa de gravas al Norte y arenas al Sur con mantenimiento periódico en cada sector**

En la situación actual en la zona de estudio coexisten dos tipos de playas marcadamente diferentes, encontrando playas de perfil mixto grava-arena, en las que existe una gran variabilidad en profundidad del tamaño de grano y de la pendiente del perfil (de la zona 1 a la zona 5, desde la Playa de Nules hasta la Playa de Almardá) y playas con menor variabilidad en profundidad tanto del tamaño de grano como de la pendiente del perfil, con un sedimento de tipo arenas (de la zona 6 a la zona 7, desde la Playa de Almardá hasta el Puerto de Sagunto).

Para evitar los problemas derivados de la coexistencia en la zona de actuación de playas de perfil mixto grava-arena al Norte y de arenas al Sur ya enumerados anteriormente (véase la Alternativa 1.1), se propone en la presente alternativa reparar la unidad fisiográfica en dos sectores mediante la construcción de un espigón de separación.

De este modo la gestión de las playas de gravas situadas al Norte se puede llevar a cabo independientemente de la de las playas de arenas situadas al Sur de la mencionada obra.

En la actualidad las playas de perfil mixto grava-arena se extienden desde la Playa de Nules hasta la Playa de Almardá, ocupando la mayor parte del tramo de estudio. Por lo tanto, todas las localizaciones propuestas para el espigón de separación de los dos sectores, son tales que dejan una porción de gravas al Sur de dicho espigón. Por ello se plantea la necesidad de eliminar estas gravas y sustituirlas con arena.

Por otro lado, debido al transporte neto de sedimentos en dirección Sur existente en toda la zona de estudio, la localización del dique de separación de los dos sectores tiene que ser tal que permita la acumulación de sedimentos al Norte del mismo y la erosión de la costa al Sur.

Se proponen 3 posibles localizaciones para el dique de separación, constituyendo cada una de ellas una variante de la presente alternativa, que se muestran en la figura 5.21:

- **Alternativa 2.1:** Al Norte de la Gola de la Llosa.
- **Alternativa 2.2:** Entre la Gola de La Llosa y la Gola de Queralt.
- **Alternativa 2.3:** En la Gola del Estany de Quartell.

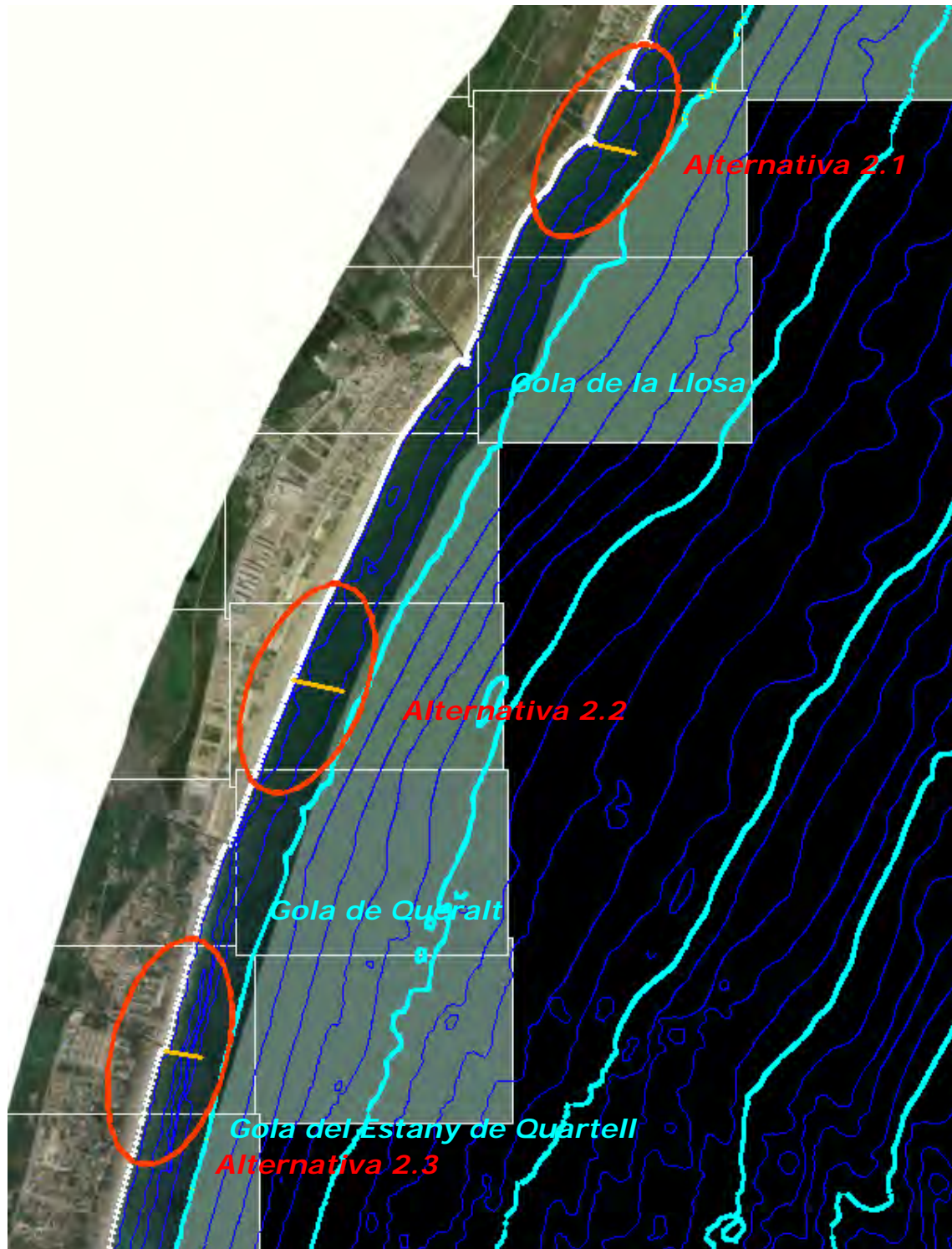


Figura 5.21 Localización de los espigones de separación de los sectores Norte y Sur en las distintas variantes de la alternativa 2.

**DOCUMENTO FINAL**

Para cada una de estas variantes, se propone el establecimiento del mismo mecanismo de mantenimiento periódico con 3 distintas duraciones del intervalo de tiempo entre realimentaciones, que son de 1 año, 2 años y 5 años, que se corresponden con las variantes a, b y c, respectivamente.

El mecanismo de realimentación será en todos los casos similar. Al dividir la zona de actuación en dos celdas independientes, separadas por un espigón, se han establecido dos mecanismos de realimentación independientes para el sector Norte y Sur que quedan a los dos lados del espigón de separación.

En el sector Norte (playas de perfil mixto grava-arena) se recogerán los sedimentos acumulados al Norte del espigón de separación y se verterán en la Playa de Nules. Este mecanismo de realimentación es similar al propuesto en la alternativa 1.1, con las siguientes ventajas derivadas de la presencia del espigón de separación:

- Disponer de una estructura que retiene los sedimentos para su recuperación y recirculación.
- Evitar la contaminación con gravas de las playas arenosas situadas al Sur de Corinto.

Cabe señalar la necesidad en todas las variantes de la alternativa 2 de un aporte periódico adicional de gravas en la Playa de Nules, debido a que la tasa de erosión de estas playas es superior a la correspondiente tasa de acumulación de gravas que se estima se producirá al Norte del espigón de separación de los dos sectores.

En el sector Sur (playas de arena) se recogerán los sedimentos acumulados al Norte del Puerto de Siles y ocasionalmente frente a la Playa de Sagunto y se verterán al Sur del espigón de separación. El mecanismo diseñado para el sector Sur es similar al descrito en la alternativa 1.2, pudiendo establecerse los mismos niveles de alerta (L1, L2, L3 y L4) propuestos en ella, véase figura 5.17.

Para ello, se propone en todas las variantes de la alternativa 2, la realización del dragado inicial descrito en la alternativa 1.2 en las playas de Canet de Berenguer y Almardá, con un volumen de 786407 m<sup>3</sup> de arena. Así como el resto de medidas encaminadas a evitar el by-pass de sedimentos en el Puerto de Siles (trampa de sedimentos y área de dragado de emergencia en Sagunto) que se describieron en la alternativa 1.2.

La longitud del espigón de separación se ha determinado en función de la profundidad de cierre del perfil activo de la playa situada aguas arriba del mismo y el avance que experimenta la línea de costa en esta playa debido a la acumulación de sedimentos apoyados en el espigón. Dado que este avance es mayor cuanto mayor sea el periodo de tiempo en que se deja que el sistema evolucione libremente, se ha calculado una longitud del espigón diferente para cada una de las 3 variantes propuestas (a, b o c).



**DOCUMENTO FINAL**

A efectos del presente documento no se ha contemplado la disposición de un relleno inicial al Sur del espigón de separación a modo de buffer de sedimentos. Sin embargo, de ser ésta la alternativa escogida como óptima, cabría la posibilidad de plantear su disposición para compensar la erosión que origina el espigón evitando que se produzca la reducción del ancho de playa seca en el periodo establecido entre realimentaciones por debajo del mínimo establecido.

**Alternativa 2.1: Espigón de separación al Norte de la Gola de La Llosa**

El espigón de separación entre los dos sectores se sitúa al Norte de la Gola de La Llosa, como prolongación del espigón existente frente al camping "Mediterráneo", como se muestran en la figura 5.22.

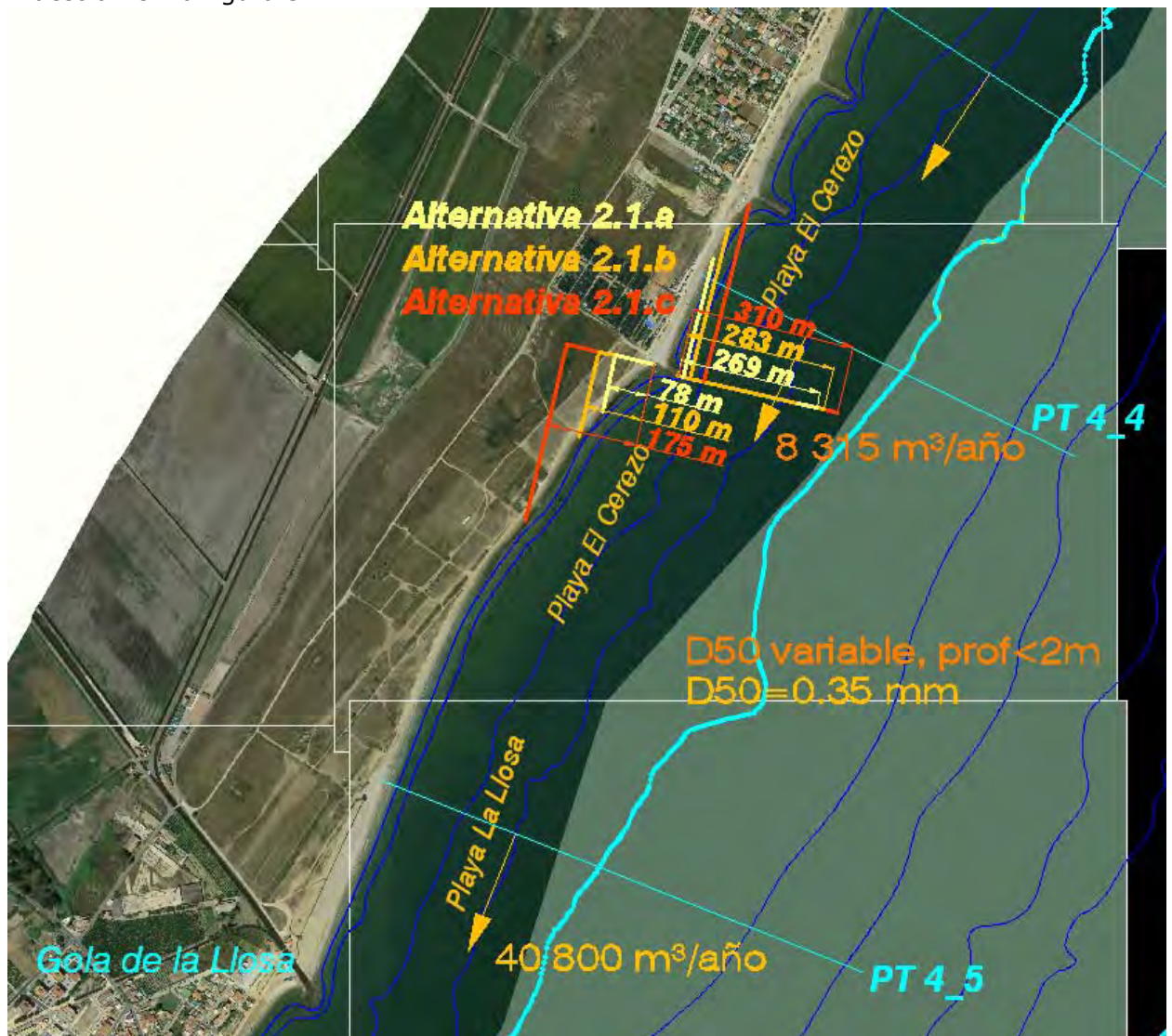


Figura 5.22 Dique de separación y líneas de costa finales de las alternativas 2.1.a, 2.1.b y 2.1.c.

**DOCUMENTO FINAL**

Desde la localización del espigón hacia el Sur, hasta la Playa de Almardá, es necesario retirar las gravas existentes, para que el sector Sur sea por completo de arena. Se ha estimado un volumen de 761703 m<sup>3</sup> de gravas a retirar.

Se dispone de 786407 m<sup>3</sup> de arena con D<sub>50</sub> aproximado de 0.2 mm, obtenidos del dragado realizado al Norte del Puerto de Siles, sin embargo esta arena es sólo suficiente para rellenar la costa desde la Playa de Almardá hasta el Sur de la Playa de Casablanca que requiere la aportación de 783816 m<sup>3</sup> de arena de D<sub>50</sub>≈0.2 mm, como se muestra en la tabla 5.13.

<b>Alternativa 2.1 Relleno D50≈0.2 mm</b>					
Perfil	L (m)	h* (m)	Dx (m)	Área	
				perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
PT 5_3	615.4	4.12	0	192	118 049
PT 5_4	919.0	4.18	0	97	89 028
PT 5_5	603.6	4.23	0	152	91 963
-	Por retirada de gravas				224 481
PT 6_1	562	4.17	0	23	12 738
PT 6_2	523.5	4.25	0	15	7 700
PT 6_3	556	4.00	0	21	11 857
-	Por retirada de gravas				228 000
<b>Totales</b>					<b>783 816 m<sup>3</sup></b>

Tabla 5.13 Relleno inicial de arena procedente del dragado de la playa de Canet de Berenguer (D50≈0.2 mm) para el sector Sur de la alternativa 2.1.

El resto del sector Sur, desde la Playa de Casablanca hasta el espigón de separación ha de rellenarse con la arena de aportación disponible (D<sub>50</sub>=0.35 mm), siendo el volumen necesario el que se muestra en la tabla 5.14.

<b>Alternativa 2.1 Relleno D50=0.35 mm</b>					
Perfil	L (m)	h* (m)	Dx (m)	Área	
				perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
PT 4_5	1377	4.23	0	32	44064
PT 5_2	1284.0	4.13	0	76.8	98610
PT 5_3	284.0	4.12	0	82.4	23395
-	Por retirada de gravas				309 222
<b>Totales</b>					<b>475 291 m<sup>3</sup></b>

Tabla 5.14 Relleno inicial de arena de aportación (D50=0.35 mm) para el sector Sur de la alternativa 2.1.

La localización de los perfiles considerados para la cubicación de volúmenes de la tabla 5.13 y la tabla 5.14 se muestran desde la figura 5.2 a la figura 5.5.

**DOCUMENTO FINAL**

Merece la pena comentar que en la Playa de Casablanca va a existir en su zona Sur sedimento con tamaño de grano de 0.2 mm y en su zona Norte sedimento con tamaño de grano de 0.35 mm. Por consiguiente, esta tasa diferencial en el transporte de sedimentos se espera que genere problemas de erosión en la zona de transición entre ambos tamaños de grano. Dicho problema será analizado en el caso de que la presente alternativa fuera elegida como la óptima.

Debido a la diferencia entre la tasa de transporte de las arenas más gruesas al Norte y más finas al Sur se producirá en la Playa de Casablanca, alrededor de la transición entre arenas de  $D_{50} \approx 0.2$  mm y  $D_{50} = 0.35$  mm, una erosión estimada en 8 m/año en términos de retroceso de la línea de costa. Dado que el ancho de playa seca disponible en el entorno de esta zona de transición es de unos 135 m, la pérdida de playa seca estimada es asumible.

En base a la tasa de transporte para el sedimento de tipo gravas situado a profundidad menor de 2 m en el perfil de playa PT 4\_4 (8315 m<sup>3</sup>/año), localizado al Norte del espigón de separación, véase figura 5.22, se ha estimado el avance que experimenta la línea de costa debido a la acumulación de gravas aguas arriba del espigón de separación.

A partir del mencionado avance y teniendo en cuenta la profundidad de cierre del perfil activo en la Playa del Cerezo se ha calculado la longitud necesaria del espigón de separación en las diversas variantes de la alternativa 2.1, como se muestra en la tabla 5.15.

Alternativa			2.1.a		2.1.b		2.1.c	
Espigón separación	h* (m)	Longitud inicial (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)
	4.15	236	33	269	47	283	74	310

Tabla 5.15 Longitud del espigón de separación de los sectores. Alternativa 2.1.

La erosión aguas abajo del espigón de separación se ha estimado a partir de la tasa de transporte de las arenas de  $D_{50} = 0.35$  mm en el perfil PT 4\_5 (40800 m<sup>3</sup>/año), resultando en un retroceso aproximado de la línea de costa de 78 m, 110m y 175 m para las alternativas 2.1.a, 2.1.b y 2.1.c respectivamente, véase figura 5.22. Ahora bien, téngase presente que este retroceso se ha calculado de una forma aproximada ya que se ha considerado que la línea de costa adopta la orientación del flujo medio de energía, quedando en equilibrio estático, lo cual permite obtener un retranqueo máximo.

En base a las anteriores tasas el mecanismo de realimentación de las playas consistirá para el sector Norte en el dragado periódico de la Playa del Cerezo (al Norte del espigón de separación), para el posterior depósito del material dragado en la Playa de Nules. El volumen de sedimento (gravas) a dragar será de 8315 m<sup>3</sup>/año, mientras que el volumen necesario a reponer en la Playa de Nules es de 11403 m<sup>3</sup>/año (véase alternativa 1.1), por lo que es necesario el aporte adicional de 3088 m<sup>3</sup>/año de grava que puede ser

**DOCUMENTO FINAL**

procedente de cantera ( $D_{50}=15$  mm) o bien puede emplearse la grava procedente del dragado inicial del sector Sur.

La utilización del material procedente del dragado inicial de gravas en el sector Sur para suplir el déficit de gravas en el mecanismo de realimentación bien sea a través de la disposición de un buffer de sedimentos en Nules u otros procedimientos será objeto de estudio en detalle en posteriores trabajos de ser ésta la alternativa escogida como óptima.

En el sector Sur, de modo análogo, se llevará a cabo el dragado periódico de las Playas de Canet de Berenguer y Almardá, para el posterior depósito de los sedimentos en la Playa del Cerezo (al Sur del espigón de separación). El volumen de sedimento (arenas) a gestionar será de  $66600$  m<sup>3</sup>/año, véase alternativa 1.2.

Se resumen a continuación las actuaciones a realizar en el marco de la alternativa 2.1:

- Construcción de un espigón de separación en la Playa del Cerezo con una longitud aproximada de 269 m, 283 m y 310 m para las alternativas 2.1.a, 2.1.b y 2.1.c, respectivamente. En este punto merece la pena recalcar que estos espigones se han diseñado con la intención de contener el sedimento tipo gravas pero que no van a impedir que a medida que avance el tiempo se produzca by-pass del sedimento de tipo arenas en aguas más profundas.
- Dragado inicial al Norte del Puerto de Siles de  $786407$  m<sup>3</sup>, véase alternativa 1.2.
- Retirada de  $761703$  m<sup>3</sup> de gravas desde el espigón de separación hasta la Playa de Almardá.
- Disposición de un relleno de  $783816$  m<sup>3</sup> de arenas procedentes del dragado al Norte del Puerto de Siles ( $D_{50}\approx 0.2$  mm) desde la Playa de Almardá hasta la parte Sur de la Playa de Casablanca.
- Disposición de un relleno de  $475291$  m<sup>3</sup> de arena de aportación ( $D_{50}=0.35$  mm) desde la Playa de Casablanca hasta el espigón de separación.
- Operaciones de mantenimiento en el sector Norte: dragado de gravas al Norte del espigón de separación, en la playa del Cerezo, y vertido de las mismas en la Playa de Nules, con un vertido adicional de gravas en dichas playas.

Alternativa	$\Delta t$ (años)	Volumen a trasvasar (m <sup>3</sup> )	Volumen de relleno adicional (m <sup>3</sup> )
<b>2.1.a</b>	1	8 315	3 088
<b>2.1.b</b>	2	16 630	6 176
<b>2.1.c</b>	5	41 575	15 440

Tabla 5.16 Volumen de dragado y relleno periódico en el sector Norte de la alternativa 2.1.

- Operaciones de mantenimiento en el sector Sur: dragado de arenas de las Playas de Canet de Berenguer y Almardá y vertido al Sur del espigón de

**DOCUMENTO FINAL**

separación, en la Playa del Cerezo. Con esta medida se disminuye la pérdida de anchura de playa seca en esta zona al Sur del dique de separación ya que se está transvasando más sedimento procedente de las Playas de Canet de Berenguer que el que se está perdiendo.

<b>Alternativa</b>	<b><math>\Delta t</math> (años)</b>	<b>Volumen a trasvasar (m<sup>3</sup>)</b>
<b>2.1.a</b>	1	66 600
<b>2.1.b</b>	2	133 200
<b>2.1.c</b>	5	333 000

Tabla 5.17 Volumen de dragado y relleno periódico en el sector Sur de la alternativa 2.1.

***Alternativa 2.2: Espigón de separación entre la Gola de la Llosa y la Gola de Queralt***

En la alternativa 2.2 el espigón de separación entre los dos sectores se sitúa al Norte de la Gola de La Llosa, al Sur de la Playa de Casablanca, como se muestra en la figura 5.23.

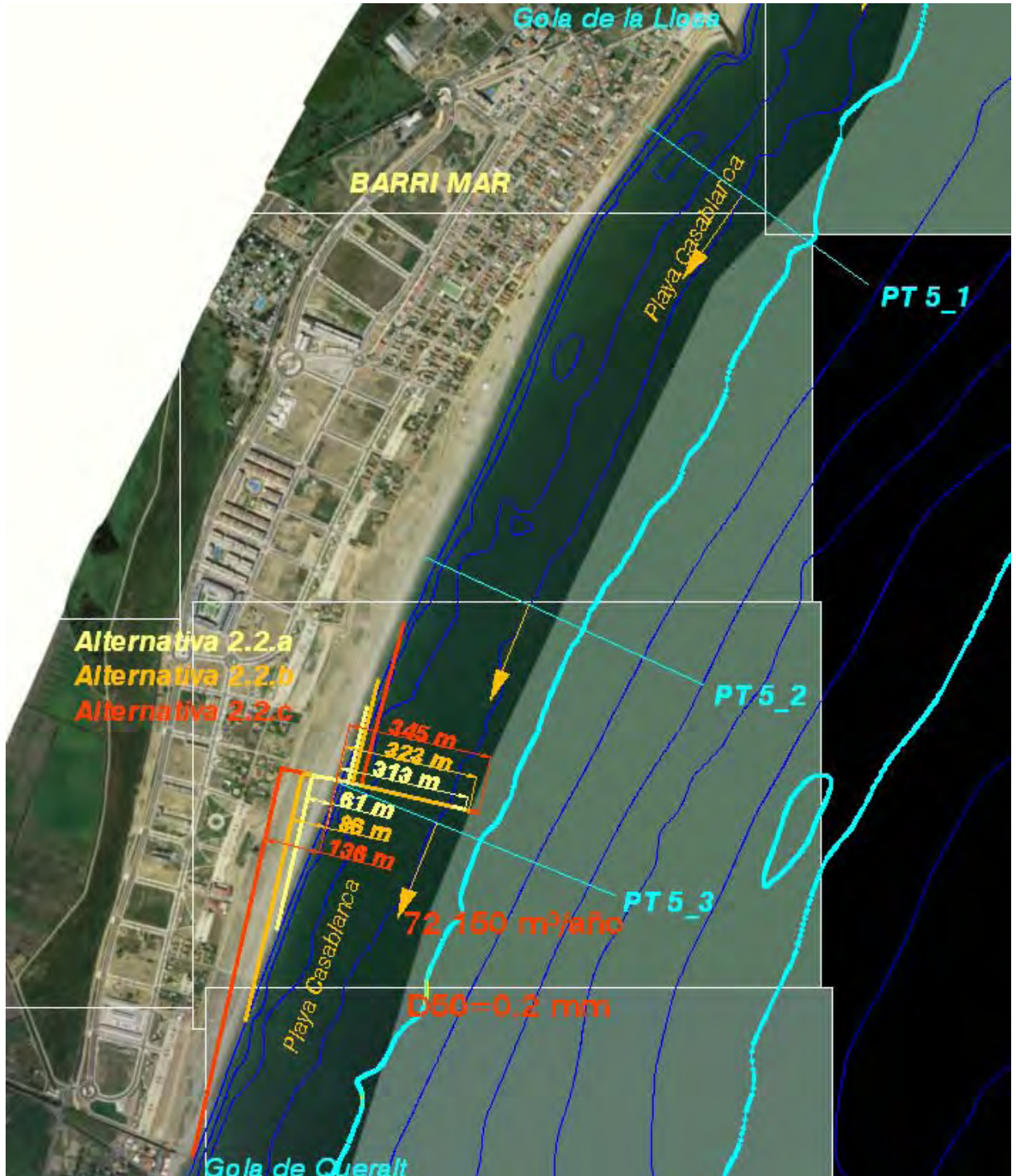


Figura 5.23 Dique de separación y líneas de costa finales de las alternativas 2.2.a, 2.2.b y 2.2.c.

Desde esta posición del espigón hacia el Sur, hasta la Playa de Almardá, es necesario retirar las gravas existentes, para que el sector Sur sea por completo de arena. Se ha estimado un volumen de 452481 m<sup>3</sup> de gravas a retirar.

**DOCUMENTO FINAL**

Como se muestra en la tabla 5.19, la cantidad de arena de  $D_{50} \approx 0.2$  mm requerida para reemplazar estas gravas es de  $783816 \text{ m}^3$ , por lo tanto, los  $786407 \text{ m}^3$  de arena procedente del dragado realizado al Norte del Puerto de Siles son suficientes. De tal modo que el sector Sur inicialmente estará formado por entero por arenas de  $D_{50} \approx 0.2$  mm.

<b>Alternativa 2.2 Relleno <math>D_{50} \approx 0.2</math> mm</b>					
<b>Perfil</b>	<b>L (m)</b>	<b>h* (m)</b>	<b>Dx (m)</b>	<b>Área perfil (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>PT 5_3</b>	615.4	4.12	0	192	118 049
<b>PT 5_4</b>	919.0	4.18	0	97	89 028
<b>PT 5_5</b>	603.6	4.23	0	152	91 963
-	Por retirada de gravas			224 481	
<b>PT 6_1</b>	562	4.17	0	23	12 738
<b>PT 6_2</b>	523.5	4.25	0	15	7 700
<b>PT 6_3</b>	556	4.00	0	21	11 857
-	Por retirada de gravas			228 000	
<b>Totales</b>				<b>783 816 m<sup>3</sup></b>	

Tabla 5.18 Relleno inicial de arena procedente del dragado de la playa de Canet de Berenguer ( $D_{50} \approx 0.2$  mm) para el sector Sur de la alternativa 2.2.

La localización de los perfiles considerados para la cubicación de volúmenes de la tabla 5.19 se muestran desde la figura 5.2 a la figura 5.5.

En base a la tasa de transporte para el sedimento de tipo gravas situado a profundidad menor de 2 m en el perfil de playa PT 4\_4 ( $8315 \text{ m}^3/\text{año}$ ), localizado al Norte del espigón de separación, véase figura 5.22, se ha estimado el avance que experimenta la línea de costa debido a la acumulación de gravas aguas arriba del espigón de separación.

A partir de dicho avance y teniendo en cuenta la profundidad de cierre del perfil activo de la Playa de Casablanca se ha calculado la longitud necesaria del espigón de separación en las diversas variantes de la alternativa 2.2, como se muestra en la tabla 5.19.

<b>Alternativa</b>		<b>2.2.a</b>			<b>2.2.b</b>		<b>2.2.c</b>	
<b>Espigón separación</b>	<b>h* (m)</b>	<b>Longitud inicial (m)</b>	<b>Avance final (m)</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>	<b>Avance final (m)</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>	<b>Avance final (m)</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>
	4.13	287	26	313	36	323	58	345

Tabla 5.19 Longitud del espigón de separación de los sectores. Alternativa 2.2.

La erosión aguas abajo del espigón de separación se ha estimado a partir de la tasa de transporte de las arenas de  $D_{50} \approx 0.2$  mm en el perfil PT 5\_3 ( $72150 \text{ m}^3/\text{año}$ ), véase figura 5.23, resultando en un retroceso aproximado de la línea de costa de 61 m, 86 m y

**DOCUMENTO FINAL**

137 m para las alternativas 2.2.a, 2.2.b y 2.2.c, respectivamente. Nótese lo ya comentado de que este retroceso se ha calculado de una forma aproximada ya que se ha considerado que la línea de costa adopta la orientación del flujo medio de energía, quedando en equilibrio estático, lo cual permite obtener un retranqueo máximo.

En base a lo anterior el mecanismo de realimentación de las playas consistirá para el sector Norte en el dragado periódico de la grava acumulada en la Playa de Casablanca (al Norte del espigón de separación) para su posterior vertido en la Playa de Nules. Al igual que en la alternativa 2.1 el volumen de sedimento (gravas) a dragar será de 8315 m<sup>3</sup>/año, mientras que el volumen necesario a reponer en la Playa de Nules es de 11403 m<sup>3</sup>/año (véase alternativa 1.1), por lo que es necesario el aporte adicional de 3088 m<sup>3</sup>/año de grava.

En el sector Sur, del mismo modo, se llevará a cabo el dragado periódico de las Playas de Canet de Berenguer y Almardá para el posterior depósito de los sedimentos en la Playa del Casablanca (al Sur del espigón de separación). Dado que el volumen de arena a dragar (66600 m<sup>3</sup>/año, véase alternativa 1.2) es inferior a la tasa de transporte existente inmediatamente al Sur del espigón de separación (72150 m<sup>3</sup>/año, véase figura 5.23), podría resultar necesaria la aportación adicional de 5550 m<sup>3</sup>/año de arena.

Esta posibilidad será objeto de estudio en posteriores trabajos de resultado de esta alternativa seleccionada como óptima. Dado que la arena de aportación disponible tiene un D<sub>50</sub> de 0.35 mm, podrían producirse problemas de erosión en la zona de transición entre éste y el material existente, que tendrían que ser analizados.

Se resumen a continuación las actuaciones a realizar en el marco de la alternativa 2.2:

- Construcción de un espigón de separación en la playa del Cerezo con una longitud aproximada de 313m, 323 m y 345 m para las alternativas 2.2.a, 2.2.b y 2.2.c, respectivamente. En este punto merece la pena recalcar que estos espigones se han diseñado con la intención de contener el sedimento tipo gravas pero que no van a impedir que a medida que avance el tiempo se produzca by-pass del sedimento de tipo arenas en aguas más profundas.
- Dragado inicial al Norte del Puerto de Siles de 786407 m<sup>3</sup>, véase alternativa 1.2.
- Retirada de 452481 m<sup>3</sup> de gravas desde el espigón de separación hasta la Playa de Almardá.
- Disposición de un relleno de 783816 m<sup>3</sup> de arenas procedentes del dragado al Norte del Puerto de Siles (D<sub>50</sub>≈0.2 mm) desde la playa de Almardá hasta el espigón de separación.
- Operaciones de mantenimiento en el sector Norte: dragado de gravas al Norte del espigón de separación, en la Playa de Casablanca, y vertido de las mismas en la Playa de Nules, con un vertido adicional de grava en dichas playas.



**DOCUMENTO FINAL**

<b>Alternativa</b>	<b><math>\Delta t</math> (años)</b>	<b>Volumen a trasvasar (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen de relleno adicional (m<sup>3</sup>)</b>
<b>2.1.a</b>	1	8 315	3 088
<b>2.1.b</b>	2	16 630	6 176
<b>2.1.c</b>	5	41 575	15 440

Tabla 5.20 Volumen de dragado y relleno periódico en el sector Norte de la alternativa 2.2.

- Operaciones de mantenimiento en el sector Sur: dragado de arenas en las Playas de Canet de Brenguer y Almardá y vertido al Sur del espigón de separación, en la Playa de Casablanca, con un vertido adicional de arena en dichas playas.

<b>Alternativa</b>	<b><math>\Delta t</math> (años)</b>	<b>Volumen a trasvasar (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen de relleno adicional (m<sup>3</sup>)</b>
<b>2.2.a</b>	1	66 600	5 550
<b>2.2.b</b>	2	133 200	11 100
<b>2.2.c</b>	5	333 000	27 750

Tabla 5.21 Volumen de dragado y relleno periódico en el sector Sur de la alternativa 2.2.

***Alternativa 2.3: Espigón de separación en la Gola del Estany de Quartell***

En la alternativa 2.3 el espigón de separación entre los dos sectores se sitúa en la Gola del Estany de Quartell, como se muestra en la figura 5.24.

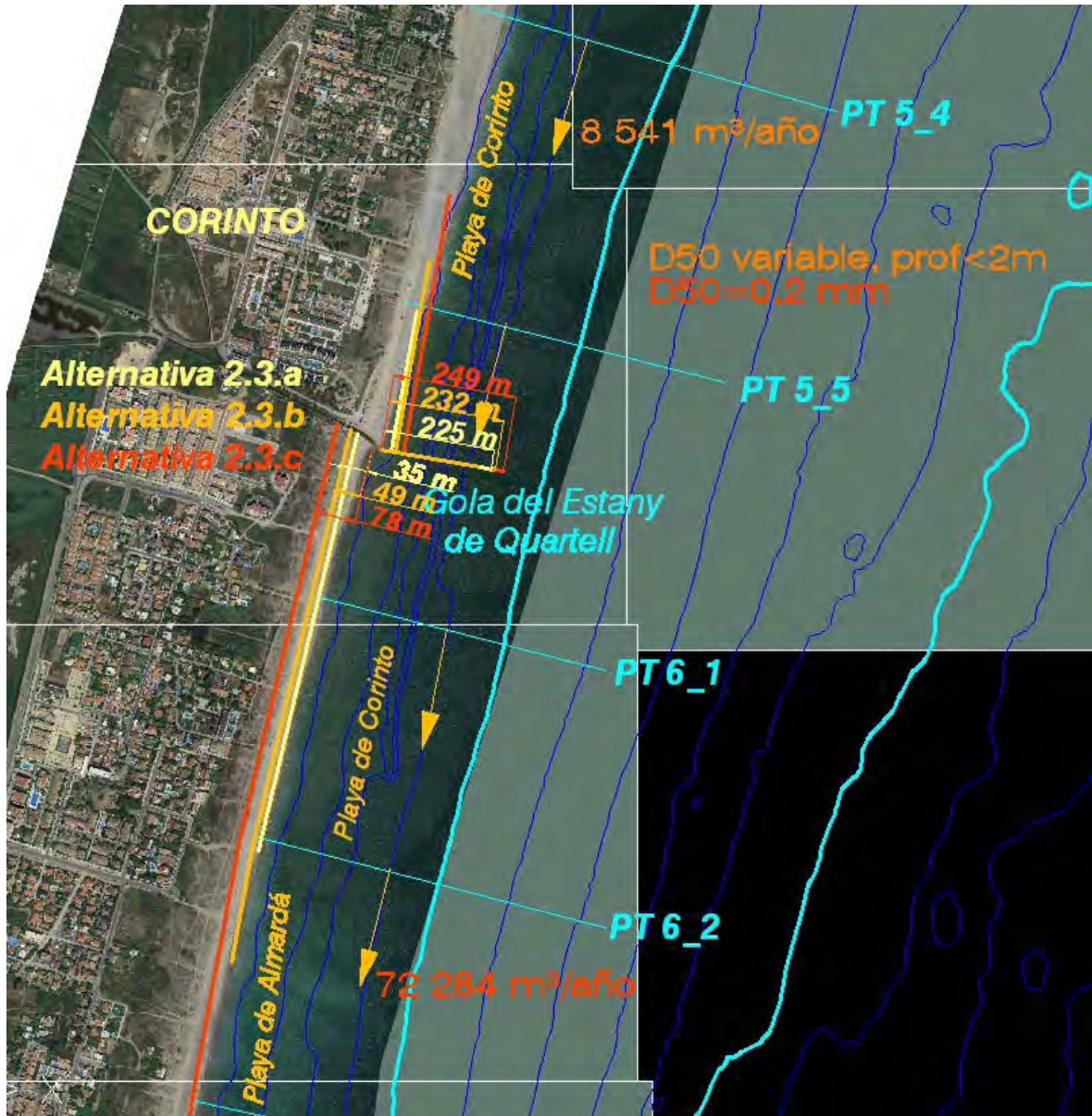


Figura 5.24 Dique de separación y líneas de costa finales de las alternativas 2.3.a, 2.3.b y 2.3.c.

Desde esta posición del espigón hacia el Sur, hasta la Playa de Almadá, es necesario retirar las gravas existentes para que el sector Sur sea por completo de arena. Se ha estimado un volumen de 228000 m<sup>3</sup> de gravas a retirar.

Como se muestra en la tabla 5.23 la cantidad de arena de  $D_{50} \approx 0.2$  mm necesaria para reemplazar esta grava es de 260296 m<sup>3</sup>, por lo tanto, los 786407 m<sup>3</sup> de arena obtenidos del dragado realizado al Norte del Puerto de Siles son suficientes.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>Alternativa 2.3 Relleno D50≈0.2 mm</b>					
<b>Perfil</b>	<b>L (m)</b>	<b>h* (m)</b>	<b>Dx (m)</b>	<b>Área perfil (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>PT 6_1</b>	562	4.17	0	23	12 738
<b>PT 6_2</b>	523.5	4.25	0	15	7 700
<b>PT 6_3</b>	556	4.00	0	21	11 857
-	Por retirada de gravas				228 000 m <sup>3</sup>
<b>Totales</b>					<b>260 296 m<sup>3</sup></b>

Tabla 5.22 Relleno inicial de arena procedente del dragado de la playa de Canet de Berenguer (D50≈0.2 mm) para el sector Sur de la alternativa 2.3.

La localización de los perfiles considerados para la cubicación de volúmenes de la tabla 5.23 se muestran desde la figura 5.2 a la figura 5.5.

En base a la tasa de transporte para el sedimento de tipo gravas situado a profundidad menor de 2 m en el perfil de playa PT 5\_4 (8541 m<sup>3</sup>/año), localizado al Norte del espigón de separación, véase figura 5.24, se ha estimado el avance que experimenta la línea de costa debido a la acumulación de gravas aguas arriba del espigón de separación.

A partir del anterior avance y teniendo en cuenta la profundidad de cierre del perfil activo de la Playa de Corinto se ha calculado la longitud necesaria del espigón de separación para las diversas variantes de la alternativa 2.3, como se muestra en la tabla 5.24.

<b>Alternativa</b>		<b>2.3.a</b>			<b>2.3.b</b>		<b>2.3.c</b>	
<b>Espigón separación</b>	<b>h* (m)</b>	<b>Longitud inicial (m)</b>	<b>Avance final (m)</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>	<b>Avance final (m)</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>	<b>Avance final (m)</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>
	4.23	203	22	225	29	232	46	249

Tabla 5.23 Longitud del espigón de separación de los sectores. Alternativa 2.3.

La erosión aguas abajo del espigón de separación se ha estimado a partir de la tasa de transporte de las arenas de D<sub>50</sub>≈0.2 mm en el perfil PT 6\_2 (72284 m<sup>3</sup>/año), véase figura 5.24, resultando en un retroceso aproximado de la línea de costa de 35 m, 49 m y 78 m para las alternativas 2.3.a, 2.3.b y 2.3.c, respectivamente. Nótese lo ya comentado de que este retroceso se ha calculado de una forma aproximada ya que se ha considerado que la línea de costa adopta la orientación del flujo medio de energía, quedando en equilibrio estático, lo cual permite obtener un retranqueo máximo.

En base a lo anterior el mecanismo de realimentación de las playas consistirá para el sector Norte en el dragado periódico de la Playa de Corinto (al Norte del espigón de separación) para su posterior depósito en la Playa de Nules. El volumen de sedimento (gravas) a dragar será de 8541 m<sup>3</sup>/año, mientras que el volumen necesario a reponer en la Playa de Nules es de 11403 m<sup>3</sup>/año (véase alternativa 1.1), por lo que es necesario el aporte adicional de 2862 m<sup>3</sup>/año de grava que puede ser obtenida procedente de cantera (D<sub>50</sub>=15 mm) o bien puede emplearse la grava procedente del dragado inicial del sector

**DOCUMENTO FINAL**

Sur, lo cual, como se ha expresado anteriormente será objeto de estudio en detalle en posteriores trabajos de ser ésta la alternativa escogida como óptima (véase alternativa 2.1).

En el sector Sur, del mismo modo, se llevará a cabo el dragado periódico de las Playas de Canet de Berenguer y Almardá para el posterior depósito de los sedimentos en la Playa de Corinto (al Sur del espigón de separación). Al igual que en la alternativa 2.2 el volumen de arena a dragar ( $66600 \text{ m}^3/\text{año}$ , véase alternativa 1.2) es inferior a la tasa de transporte existente inmediatamente al Sur del espigón de separación ( $72284 \text{ m}^3/\text{año}$ , véase figura 5.24), por tanto podría resultar necesaria la aportación adicional de  $5684 \text{ m}^3/\text{año}$  de arena.

Del dragado inicial realizado en la Playa de Canet de Berenguer ( $786407 \text{ m}^3$ ), sólo son necesarios  $260296 \text{ m}^3$  para reponer las gravas retiradas desde el espigón de separación hasta la Playa de Almardá, por lo tanto se dispone de un excedente de  $526111 \text{ m}^3$  de arena.

De ser esta la alternativa escogida como óptima, se estudiará en trabajos futuros la utilización de dicho excedente de arena procedente de dragado para suplir el déficit de arena en el mecanismo de alimentación ( $5684 \text{ m}^3/\text{año}$ ). Bien sea a través de la disposición de un buffer de sedimentos al Sur del espigón de separación de los dos sectores u otros procedimientos.

Al igual que en la alternativa anterior (alternativa 2.2) el sector Sur inicialmente estará formado por arenas de  $D_{50} \approx 0.2 \text{ mm}$ , sin embargo la posible aportación periódica de arenas de  $D_{50} = 0.35 \text{ mm}$  puede dar lugar a problemas de erosión en la zona de transición entre los dos materiales.

Se resumen a continuación las actuaciones a realizar en el marco de la alternativa 2.3:

- Construcción de un espigón de separación en la Gola del Estany de Quartell de una longitud aproximada de 225 m, 232 m y 249 m para las alternativas 2.3.a, 2.3.b y 2.3.c, respectivamente. En este punto merece la pena recalcar que estos espigones se han diseñado con la intención de contener el sedimento tipo gravas pero que no van a impedir que a medida que avance el tiempo se produzca by-pass del sedimento de tipo arenas en aguas más profundas.
- Dragado inicial al Norte del Puerto de Siles de  $786407 \text{ m}^3$ , véase alternativa 1.2.
- Retirada de  $228000 \text{ m}^3$  de gravas desde el espigón de separación hasta la Playa de Almardá.
- Disposición de un relleno de  $260296 \text{ m}^3$  de arenas procedentes del dragado al Norte del Puerto de Siles ( $D_{50} \approx 0.2 \text{ mm}$ ) desde la Playa de Almardá hasta el espigón de separación.

**DOCUMENTO FINAL**

- Operaciones de mantenimiento en el sector Norte: dragado de gravas al Norte del espigón de separación, en la Playa de Corinto, y vertido de las mismas en la Playa de Nules, con un vertido adicional de grava en dichas playas.

Alternativa	$\Delta t$ (años)	Volumen a trasvasar ( $m^3$ )	Volumen de relleno adicional ( $m^3$ )
<b>2.3.a</b>	1	8 541	2 862
<b>2.3.b</b>	2	17 082	5 724
<b>2.3.c</b>	5	42 705	14 310

Tabla 5.24 Volumen de dragado y relleno periódico en el sector Norte de la alternativa 2.3.

- Operaciones de mantenimiento en el sector Sur: dragado de arenas en las playas de Canet de Berenguer y Almardá y vertido al Sur del espigón de separación, en la Playa de Corinto, con un vertido adicional de arena en dichas playas.

Alternativa	$\Delta t$ (años)	Volumen a trasvasar ( $m^3$ )	Volumen de relleno adicional ( $m^3$ )
2.3.a	1	66 600	5 684
2.3.b	2	133 200	11 368
2.3.c	5	333 000	28 420

Tabla 5.25 Volumen de dragado y relleno periódico en el sector Sur de la alternativa 2.3.

#### **5.4.4 Alternativa 3.1: 7 tramos. Playas en equilibrio dinámico**

La presente alternativa consiste en separar la zona de actuación en 7 tramos mediante espigones que interrumpan completamente el transporte de sedimentos, lo cual permite independizar entre sí dichos tramos, así como establecer un sistema de realimentación periódica en el interior de cada uno de ellos.

Es importante mencionar que los 7 tramos que se consideran tanto para la Alternativa 3.1 como para la Alternativa 3.2 coinciden sensiblemente con las 7 zonas con las que se ha trabajado a lo largo de este estudio y que son: El Serradal, Nules, Moncofar, Chilches, Almenara, Almardá hasta el Puerto de Siles y Sagunto, a excepción del tramo 1, el cual es ligeramente mayor que la zona 1 pues comprende toda la zona en la que en la actualidad existe escollera de protección.

En el tramo 1, en la actualidad existe una escollera en todo el frente costero por lo que requiere un aporte inicial que proporcione un cierto ancho de playa seca, además del necesario mecanismo de mantenimiento periódico de las playas así creadas. Este aporte inicial puede ser tanto de arenas (alternativa 3.1.1) como de gravas (alternativa 3.1.2)

**DOCUMENTO FINAL**

En los tramos en los que existe el perfil de playa mixto grava-arena (tramos 2, 3, 4 y 5) se han estimado las tasas medias anuales medias espaciales de transporte de las gravas ( $D_{50} > 1$  mm) situadas a una profundidad menor de 2 m, las cuales se muestran en la tabla 5.26.

Tramo	Tasa de transporte de gravas (m <sup>3</sup> /año)	
	Valor medio	Valor máximo
2	5296	11403
3	3278	3808
4	7702	8315
5	7141	8541

Tabla 5.26 Tasas de transporte de gravas ( $D_{50} > 1$  mm) situadas a profundidad menor de 2 m para los distintos tramos.

El sistema de realimentación diseñado para el resto de tramos (6 y 7) es análogo al de la alternativa 2.3, con la salvedad de la construcción de un espigón a la altura del Puerto de Siles.

El diseño de los espigones de separación entre tramos se ha llevado a cabo del mismo modo que se diseñaron los espigones de separación entre sectores en la alternativa 2, de tal modo que interrumpan totalmente el transporte de sedimentos.

Aunque dentro de cada tramo no se han previsto la disposición de elementos que interrumpan totalmente el transporte litoral de sedimentos, existen numerosos espigones de menor longitud que los de separación entre tramos que proporcionan un apoyo parcial a las playas. Estos pequeños espigones, en su mayoría existentes en la actualidad han debido ser recrecidos en algunos casos, mientras que en otros casos se ha estimado que es necesaria la construcción de nuevos espigones similares a los ya existentes.

Debido a que las playas diseñadas en la presente alternativa no están en equilibrio estático, al final del periodo entre realimentaciones al norte de los espigones de separación entre tramos se prevé una cierta acumulación de sedimentos que dará lugar al avance de la línea de costa.

Para evitar que el perfil activo de playa en esta situación pueda sobrepasar el morro de los espigones y a efectos de comparar adecuadamente las diferentes alternativas propuestas, se ha estimado que a la longitud estrictamente necesaria de los mismos para alcanzar la profundidad de cierre de la playa se le debe añadir el avance de la línea de costa inmediatamente al Norte del espigón debido a la acumulación de sedimentos al final del periodo entre realimentaciones. La consideración de distintos periodos entre realimentaciones repercute no sólo en la cantidad de sedimento que ha de ser gestionado sino también en la longitud de los espigones de separación entre tramos.

Se han propuesto 3 alternativas de mantenimiento periódico en función del intervalo de tiempo entre actuaciones de relleno del mencionado buffer, que puede ser anual, cada 2

**DOCUMENTO FINAL**

años o cada 5 años, correspondientes a las alternativas 3.1.a, 3.1.b y 3.1.c, respectivamente.

**Tramo 1 (Alternativa 3.1)**

Junto al Puerto de Burriana se ha planteado la disposición de la misma playa encajada de arena dispuesta en la alternativa 3.2, aprovechando el abrigo del dique de dicho puerto. Dicha playa requiere  $1\,459\,86\text{ m}^3$  de arena de aportación ( $D_{50}=0.35\text{ mm}$ ) y la construcción de un espigón de 401 m de longitud, como se muestra en la figura 5.25.



Figura 5.25 Playa encajada al Sur del Puerto de Burriana en el tramo 1 de la alternativa 3.1.

A continuación de esta playa y hasta el espigón de separación del tramo se extiende una sucesión de playas en equilibrio dinámico que pueden ser de arena (alternativa 3.1.1) o de grava (alternativa 3.1.2), con un ancho de playa inicial para ambos casos de 20 m.

Para la alternativa 3.1.1, en la que las playas del tramo 1 son de arena ( $D_{50}=0.35\text{ mm}$ ), el relleno inicial a disponer se ha calculado como se muestra en la tabla 5.27.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>Alternativa</b>			<b>3.1.1. (+20 m)</b>	
<b>Perfil</b>	<b>L (m)</b>	<b>h* (m)</b>	<b>Área perfil (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>P 1_2</b>	110	3.88	43	4 730
<b>P 1_3</b>	320	3.82	59	18 880
<b>P 1_4</b>	445	3.74	80	35 758
<b>P 1_5</b>	528	3.95	128	67 614
<b>P 1_6</b>	492	3.95	175	86 145
<b>P 2_1</b>	508	4.25	141	71 655
<b>P 2_2</b>	310	4.19	183	56 730
<b>Totales</b>			<b>341 512 m<sup>3</sup></b>	

 Tabla 5.27 Volumen de aportación inicial de arena  $D_{50}=0.35$  mm.  
 Alternativa 3.1.1.

La localización de los perfiles considerados para la cubicación de volúmenes de la tabla 5.27 se muestran en la figura 5.12 a la figura 5.14.

A la vista de las tasas de transporte neto consideradas (véase figura 5.26) se producirá la acumulación de sedimentos junto a la espigón de separación. El sistema de mantenimiento diseñado consiste en el dragado periódico de  $56253 \text{ m}^3/\text{año}$  al Sur del tramo para depositarlos al Norte del mismo, véase figura 5.26. Nótese que debido a los gradientes espaciales del transporte existentes, se producirá una pérdida de la anchura de playa seca. Por consiguiente, en caso de que la presente alternativa fuera la seleccionada como óptima, habría que estudiar la variación de anchura de playa seca a lo largo del tramo hasta el final del período de tiempo considerado, así como la disposición de medidas adicionales en caso de que fuera necesario, lo cual será objeto de estudio en detalle en trabajos posteriores si se eligiera la presente alternativa.

<b>Tramo 1</b>		
<b>Alternativa</b>	<b><math>\Delta t</math> (años)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>3.1.1.a</b>	1	56253
<b>3.1.1.b</b>	2	112506
<b>3.1.1.c</b>	5	281265

Tabla 5.28 Volumen de sedimento a gestionar periódicamente en el tramo 1 de la alternativa 3.1.1.

La longitud necesaria del espigón de separación se ha calculado (véase tabla 5.29) a partir del avance que experimenta la línea de costa en las diferentes variantes de la alternativa 3.1.1.a, 3.1.1.b y 3.1.1.c, función de la acumulación de sedimentos al Norte del espigón durante 1 año, 2 años o 5 años, respectivamente, como se muestra en la figura 5.27. Para ello se ha considerado que la tasa de transporte de las arenas de aportación ( $D_{50}=0.35$  mm) aguas arriba del espigón es  $56253 \text{ m}^3/\text{año}$ .



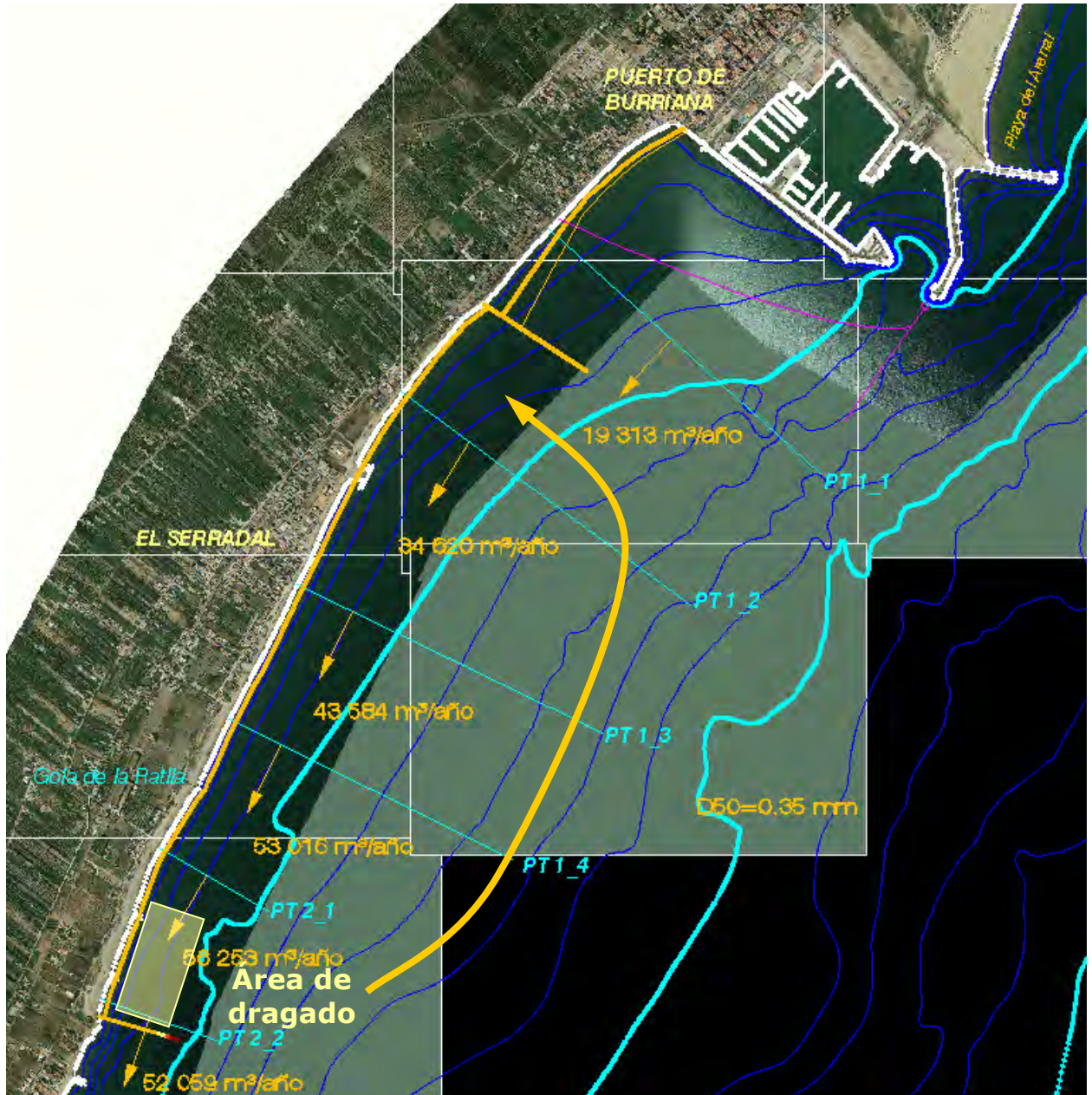


Figura 5.26 Tasas de transporte y esquema de mantenimiento periódico para el tramo 1 de la alternativa 3.1.1.1.

Alternativa		3.1.1.a			3.1.1.b		3.1.1.c	
Espigón separación tramo	h* (m)	Longitud inicial (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)
1-2	4.19	202	31	233	44	246	69	271

Tabla 5.29 Longitud del espigón de separación de los tramos 1 y 2 de la alternativa 3.1.1.1.

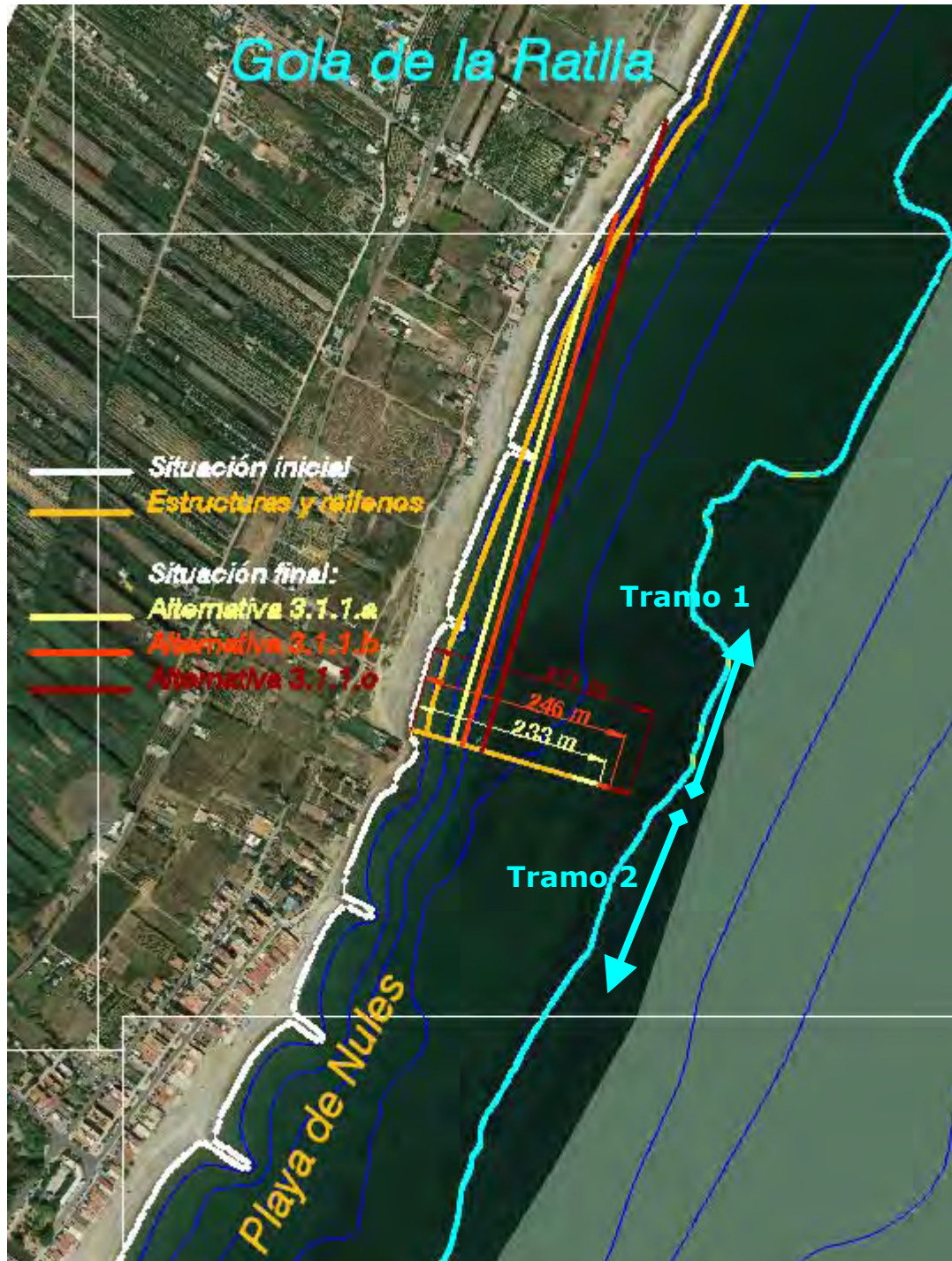


Figura 5.27 Líneas de costa inicial y final en el tramo 1 de la alternativa 3.1.1.

En el caso de la alternativa 3.1.2 en el que las playas son de grava ( $D_{50}=15$  mm), inicialmente, se ha estimado por medios aproximados que es necesaria la disposición de un relleno inicial de unos  $1\,878\,76\text{ m}^3$  de gravas de  $D_{50}=15$  mm, de modo que se dispondrá de un ancho de playa seca inicial de 20 m. Las gravas se disponen, al igual

**DOCUMENTO FINAL**

que en la situación actual en el resto de tramos hasta una profundidad de 2 m en el perfil de playa.

Es importante comentar que en el caso de la alternativa 3.1.2 se ha considerado a la hora de calcular todas las tasas de transporte que el sedimento tiene un tamaño de grano medio de 15 mm, ya que, tal y como ha sido comentado en apartados previos, las gravas a aportar procederán de la Rambla de la Viuda a su paso por Els Ibarsos, siendo el tamaño de grano medio de dichas gravas el indicado previamente. Ahora bien, el sedimento resultante tras la disposición del relleno inicial de gravas será una mezcla del existente y del material granular de dicho relleno. Así pues, como el material existente en la actualidad tiene tamaños de grano muy inferiores al de la grava que se va emplear como material de relleno, para ser estrictos las tasas de transporte se debieran calcular con un tamaño de grano inferior (tal y como se ha hecho para el resto de las alternativas del presente capítulo), con el consiguiente aumento de dichas tasas. Así pues, en el caso de que esta alternativa fuera la seleccionada como óptima habría que afinar más en el establecimiento de las tasas de transporte.

En el interior del tramo 1 se han dispuesto un total de 10 nuevos espigones y se han recrecido 2 espigones ya existentes. Las longitudes de las obras a realizar se muestran en la tabla 5.30.

<b>Alternativa 3.1.2</b>	<b>Tramo 1</b>
<b>Espigón</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>
<b>1</b>	141
<b>2</b>	114
<b>3</b>	70
<b>4</b>	74
<b>5</b>	65
<b>6</b>	77
<b>7</b>	70
<b>8</b>	81
<b>9</b>	89
<b>10</b>	90
<b>11</b>	49 (recrecimiento)
<b>12</b>	48 (recrecimiento)
<b>Totales</b>	<b>968</b>

Tabla 5.30 Longitud de los espigones a construir en el tramo 1 de la alternativa 3.1.2.

Cabe destacar que los 12 espigones dispuestos (véase figura 5.28), cuyos morros se sitúan entre la cota -2 y -3 m reducen el by-pass de material hacia el Sur.

El sedimento depositado en el Sur del tramo se dragará periódicamente para depositarlo al Norte del mismo (unos 1313 m<sup>3</sup>/año), véase figura 5.28.

**DOCUMENTO FINAL**

Tramo 1		
Alternativa	$\Delta t$ (años)	Volumen (m <sup>3</sup> )
<b>3.1.2.a</b>	1	1 313
<b>3.1.2.b</b>	2	2 626
<b>3.1.2.c</b>	5	6 565

Tabla 5.31 Volumen de sedimento a gestionar periódicamente.  
Alternativa 3.1.2.

En base a los avances que se estima que experimentará la costa en las distintas variantes de la presente alternativa, se han calculado las longitudes necesarias para el espigón de separación de los tramos 1 y 2, como se muestra en la tabla 5.32.

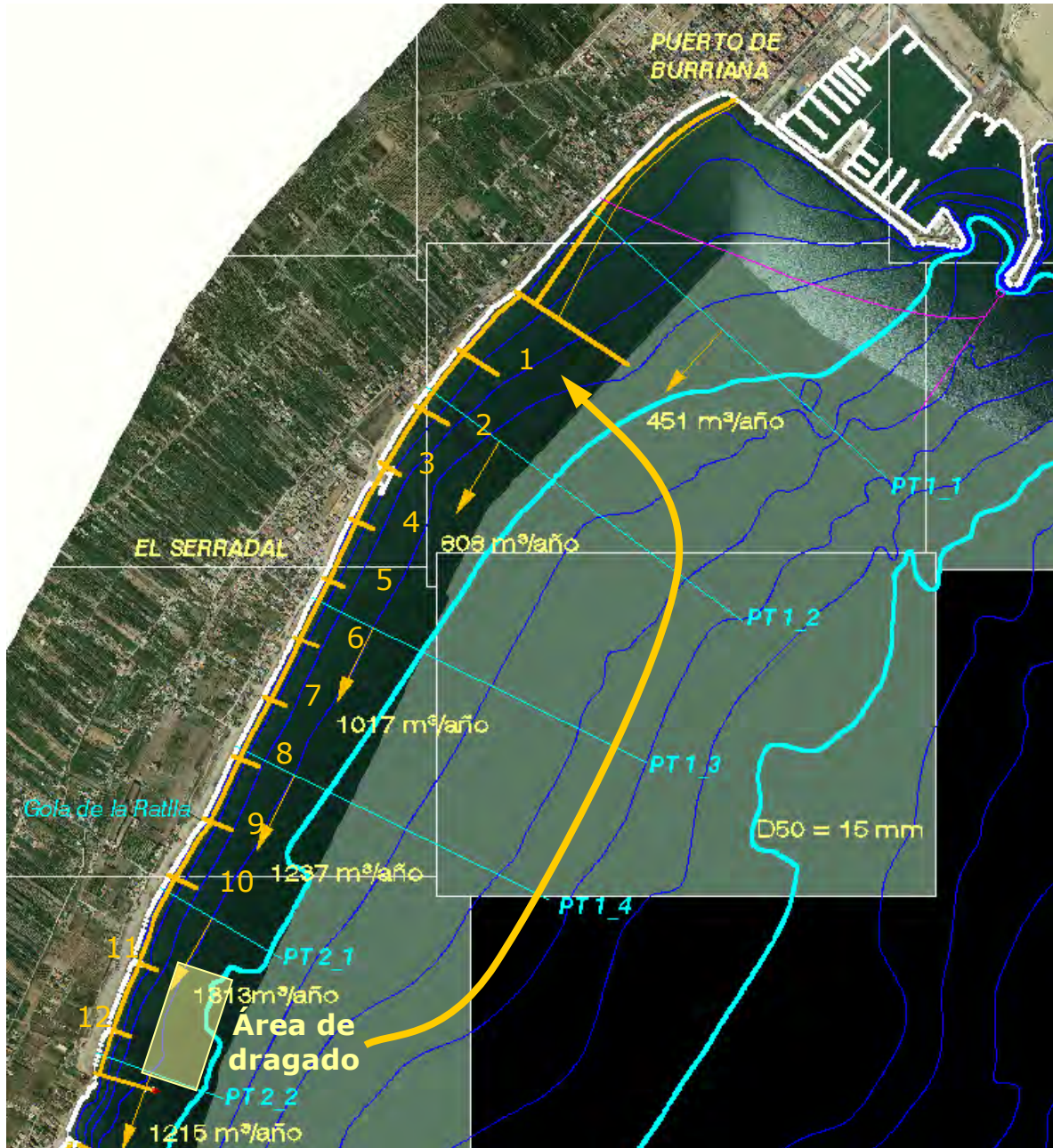


Figura 5.28 Tasas de transporte y esquema de mantenimiento periódico para el tramo 1 de la alternativa 3.1.2.

Alternativa		3.1.2.a			3.1.2.b		3.1.2.c	
Espigón separación tramo	$h^*$ (m)	Longitud inicial (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)
1-2	4.19	202	6	208	8	210	13	215

Tabla 5.32 Longitud del espigón de separación de los tramos 1 y 2 de la alternativa 3.1.2.

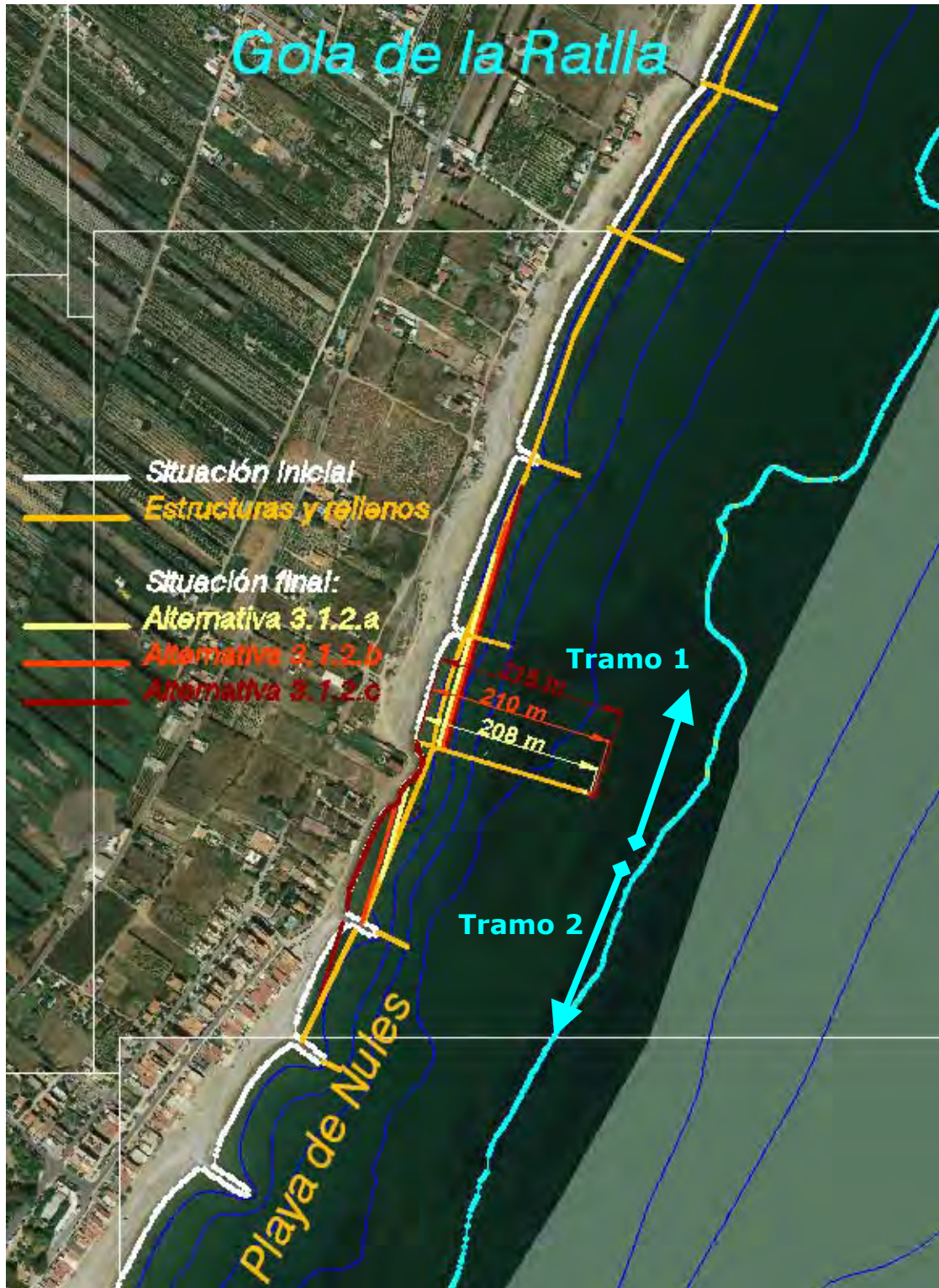


Figura 5.29 Líneas de costa inicial y final en el tramo 1 de la alternativa 3.1.1 y en el tramo 2 de la alternativa 3.1.

**DOCUMENTO FINAL**

**Tramo 2 (Alternativa 3.1)**

En el tramo 2 se ha estimado necesario la realización de un relleno inicial de unos 23110 m<sup>3</sup> de gravas (D<sub>50</sub>=15 mm), localizados al Norte del tramo 2, véase figura 5.29.

El sedimento resultante tras la disposición del relleno inicial de gravas será una mezcla del existente y del material granular de dicho relleno. El material existente en la actualidad tienen tamaños de grano muy inferiores al de la grava que se va emplear como material de relleno, por tanto, de cara al cálculo de las tasas de transporte en el tramo, a fin de establecer el mecanismo de mantenimiento de las playas, se ha considerado que el sedimento resultante es igual al existente. De este modo, del lado de la seguridad, se han obtenido tasas de transporte mayores que las que realmente se producirán tras el relleno inicial.

En el tramo 2 existe una gran variabilidad en las tasas de transporte potencial de gravas (material situado a profundidad menor de 2 m) a lo largo del mismo, desde menos de 3000 m<sup>3</sup>/año (perfil PT 2\_4) hasta más de 11400 m<sup>3</sup>/año (perfil PT 2\_6), como se muestra en la figura 5.30. Nótese que debido a los gradientes espaciales del transporte existentes, se producirá una variación de la anchura de playa seca. Por consiguiente, en caso de que la presente alternativa fuera la seleccionada como óptima, habría que estudiar la variación de anchura de playa seca a lo largo del tramo hasta el final del período de tiempo considerado, así como la disposición de medidas adicionales en caso de que fuera necesario, lo cual será objeto de estudio en detalle en trabajos posteriores si se eligiera la presente alternativa.

Cabe destacar la potencial erosión que sufrirá la parte Sur de la Playa de Nules a la vista del diferencial en las tasas de transporte entre los perfiles PT 2\_5 y PT 2\_6, véase figura 5.30.

En base a lo anterior es necesaria la realización de labores periódicas de mantenimiento en las playas del tramo 2. El sistema de realimentación debe ser tal que tras el periodo de tiempo establecido entre realimentaciones se drague en la Playa de Pedra Rotja (véase figura 5.30) para posteriormente distribuir el material dragado a lo largo de todo el tramo a fin de restituir la forma inicial de la línea de costa. Se estima que será necesario gestionar un volumen de sedimentos de unos 11403 m<sup>3</sup> anuales (PT 2\_6).

<b>Tramo 2</b>		
<b>Alternativa</b>	<b>Δt (años)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>3.1.a</b>	1	11 403
<b>3.1.b</b>	2	22 806
<b>3.1.c</b>	5	57 015

Tabla 5.33 Volumen de sedimento a gestionar periódicamente en el tramo 2 de la alternativa 3.1.

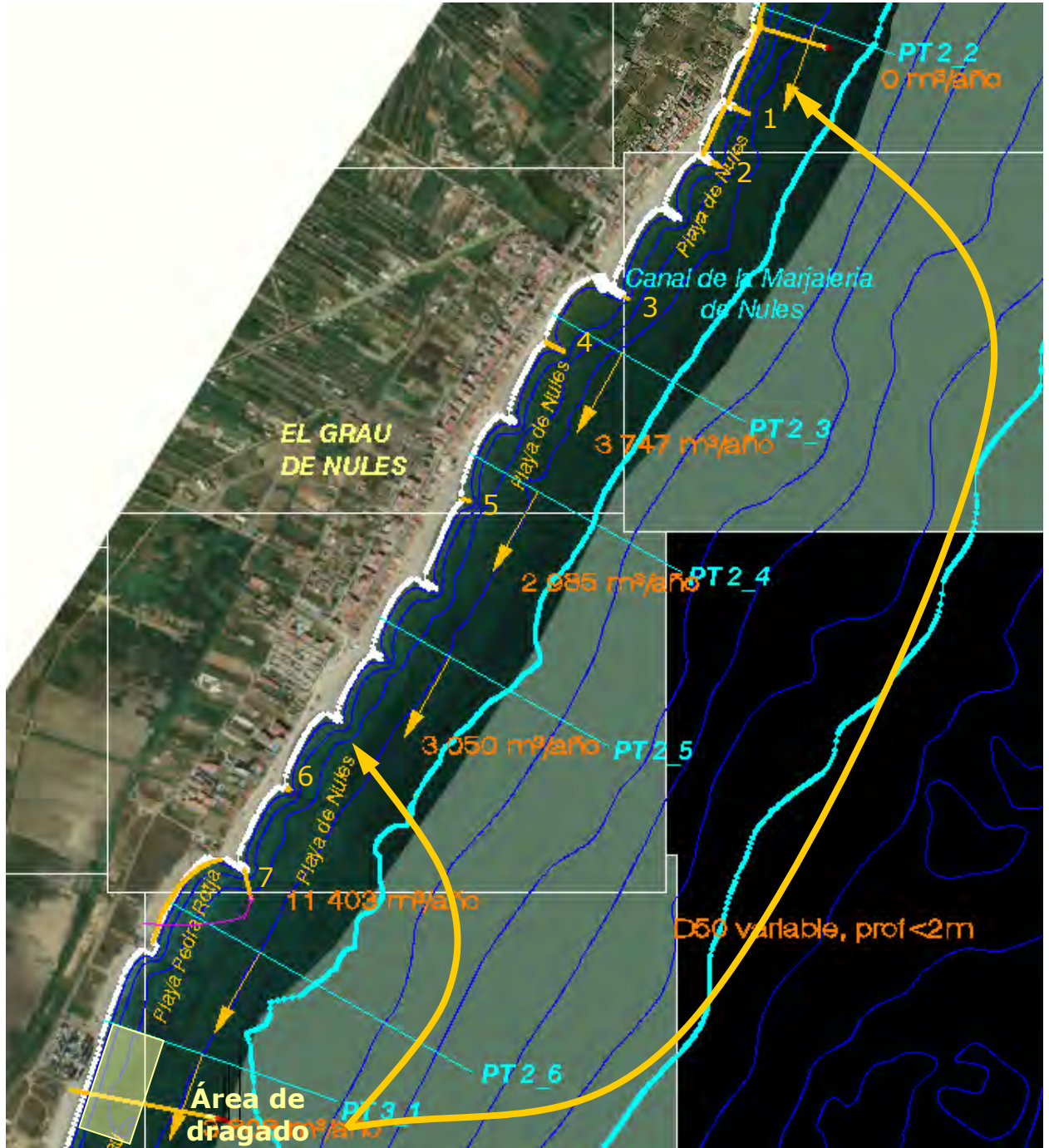


Figura 5.30 Tasas de transporte y esquema de mantenimiento periódico para el tramo 2 de la alternativa 3.1.

Se ha estimado necesario llevar a cabo el recrecimiento de 7 de los espigones existentes en la actualidad. La longitud de dichos recrecimientos se muestra en la tabla 5.34.



**DOCUMENTO FINAL**

<b>Alternativa 3.1</b>	<b>Tramo 2</b>
<b>Espigón</b>	<b>Longitud de recrecimiento (m)</b>
<b>1</b>	38
<b>2</b>	20
<b>3</b>	14
<b>4</b>	52
<b>5</b>	23
<b>6</b>	7
<b>7</b>	82
<b>Totales</b>	236

Tabla 5.34 Longitud de los espigones a construir en el tramo 2 de la alternativa 3.1.

Por último en la tabla 5.35 se muestra la longitud estimada del espigón de separación entre los tramos 2 y 3, que se muestra en detalle en la figura 5.31, calculada de acuerdo al avance estimado de la línea de costa en las distintas variantes de la presente alternativa.

<b>Alternativa</b>			<b>3.1.a</b>		<b>3.1.b</b>		<b>3.1.c</b>	
<b>Espigón separación tramo</b>	<b>h* (m)</b>	<b>Longitud inicial (m)</b>	<b>Avance final (m)</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>	<b>Avance final (m)</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>	<b>Avance final (m)</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>
<b>2-3</b>	4.30	334	26	360	37	371	58	392

Tabla 5.35 Longitud del espigón de separación de los tramos 2 y 3 de la alternativa 3.1.

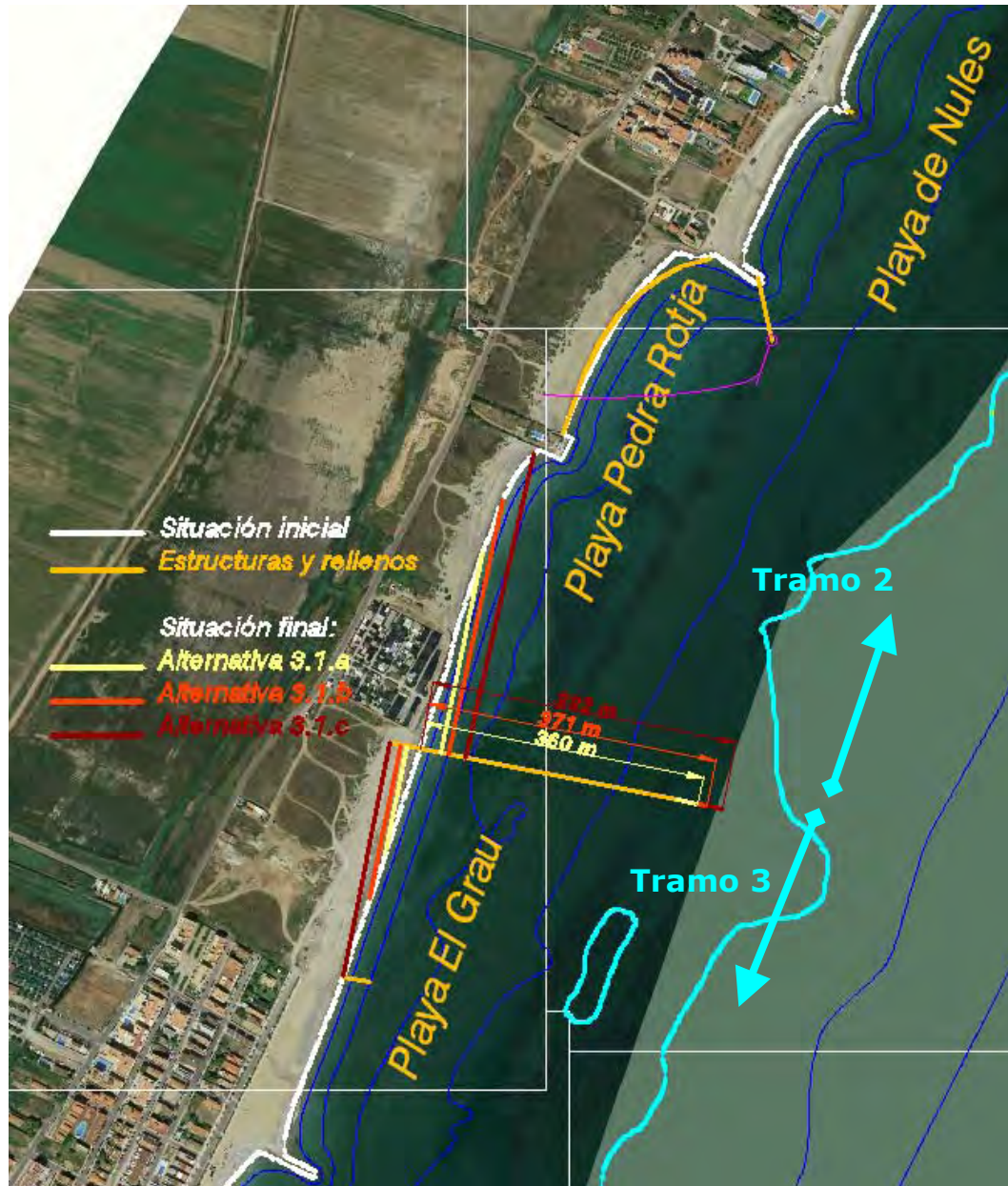


Figura 5.31 Líneas de costa inicial y final en los tramos 2 y 3 de la alternativa 3.1.

### **Tramo 3 (Alternativa 3.1)**

En el tramo 3 no se ha estimado necesaria la disposición de ningún relleno inicial.

Al igual que en el tramo anterior se ha asumido, de modo aproximado y a efectos de realizar el estudio de alternativas, que el transporte a lo largo del tramo es igual al transporte en la situación actual. Las tasas de transporte potencial consideradas se muestran en la figura 5.32.

**DOCUMENTO FINAL**

De todas las tasas de transporte para el sedimento situado a menos de 2 m de profundidad (véase figura 5.32), sólo las correspondientes a los perfiles PT 3\_1 y PT 3\_2 son de sedimento con tamaño de grano mayor que 1 mm tipo gravas, siendo las restantes correspondientes a materiales con  $D_{50}$  menor de 1 mm.

Por ello, dado que interesa valorar el transporte de gravas pues el sedimento a verter es de este tipo, se ha asumido de modo aproximado que la tasa de transporte para las gravas en todo el tramo 3 es igual a la que se produce en el perfil PT 3\_1 de 3808 m<sup>3</sup>/año.

En base a esta tasa de transporte se ha estimado, para las distintas variantes de la presente alternativa (regeneraciones cada año, 2 años o 5 años), la erosión que experimentará el Norte del tramo 3 como se muestra en la figura 5.31.

El mecanismo de realimentación diseñado para el tramo 3 consiste en el dragado de 3808 m<sup>3</sup>/año de gravas en la Playa de La Torre para su recirculación depositándolas en la parte Norte de la Playa del Grau, véase figura 5.32.

Nótese que debido a los gradientes espaciales del transporte existentes, se producirá una variación de la anchura de playa seca. Por consiguiente, en caso de que la presente alternativa fuera la seleccionada como óptima, habría que estudiar la variación de anchura de playa seca a lo largo del tramo hasta el final del período de tiempo considerado, así como la disposición de medidas adicionales en caso de que fuera necesario, lo cual será objeto de estudio en detalle en trabajos posteriores si se eligiera la presente alternativa.

<b>Tramo 3</b>		
<b>Alternativa</b>	<b><math>\Delta t</math> (años)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>3.1.a</b>	1	3 808
<b>3.1.b</b>	2	7 616
<b>3.1.c</b>	5	19 040

Tabla 5.36 Volumen de sedimento a gestionar periódicamente en el tramo 3 de la alternativa 3.1.

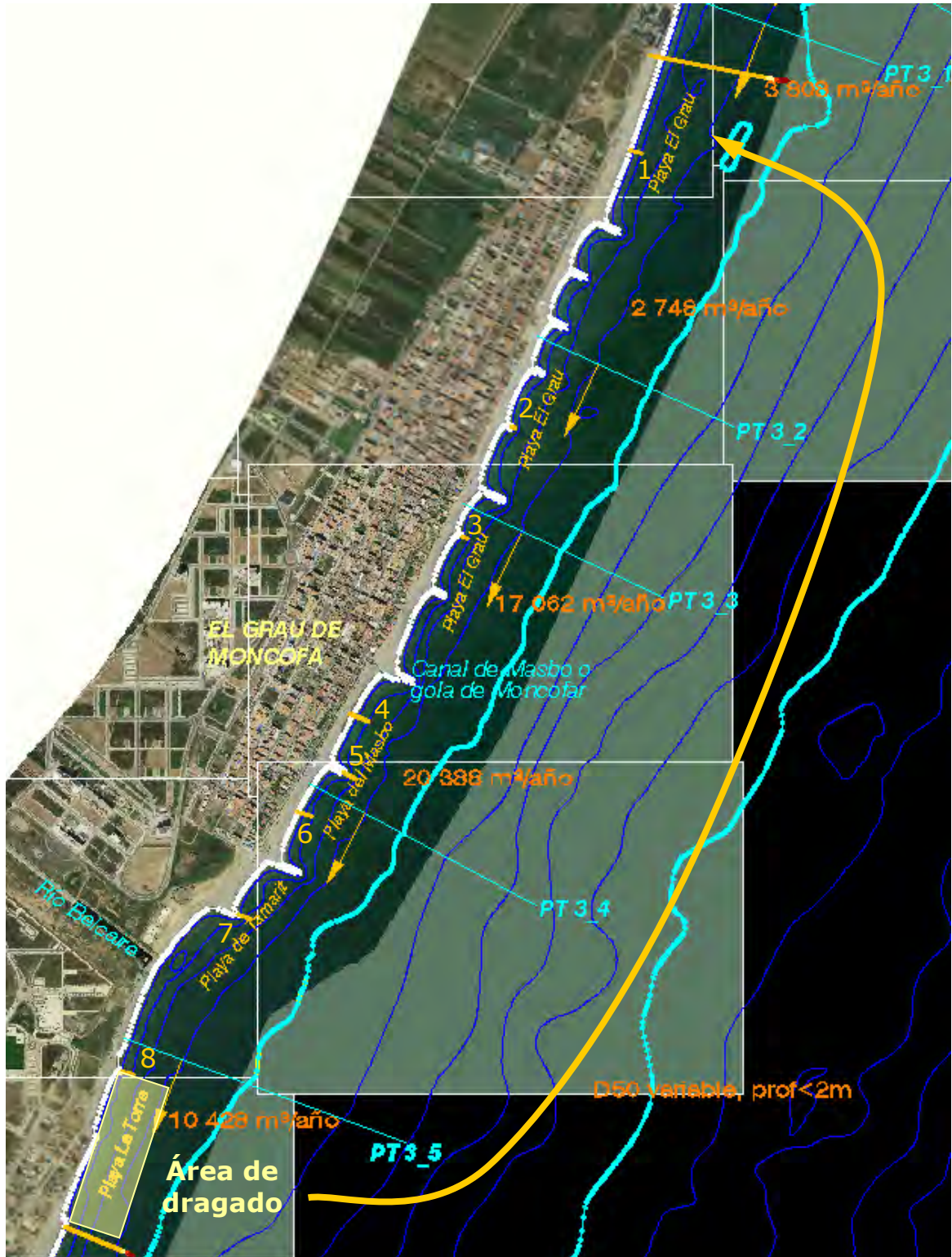


Figura 5.32 Tasas de transporte y esquema de mantenimiento periódico en el tramo 3 de la alternativa 3.1.

**DOCUMENTO FINAL**

En el tramo 3 se han propuesto un total de 4 obras de recrecimiento de los espigones existentes y la creación de 4 espigones nuevos. Las longitudes de las obras a realizar se muestran en la tabla 5.37.

<b>Alternativa 3.1</b>	<b>Tramo 3</b>
<b>Espigón</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>
<b>1</b>	34
<b>2</b>	16 (recrecimiento)
<b>3</b>	17 (recrecimiento)
<b>4</b>	60
<b>5</b>	40 (recrecimiento)
<b>6</b>	50
<b>7</b>	45 (recrecimiento)
<b>8</b>	40
<b>Totales</b>	<b>302</b>

Tabla 5.37 Longitud de los espigones a construir en el tramo 3 de la alternativa 3.1.

La longitud del dique de separación entre los tramos 3 y 4 (véase figura 5.33) se ha calculado según lo que se muestra en la tabla 5.38, de acuerdo a los avances que se estima que experimentará la costa por acumulación de sedimentos al Norte del mismo.

<b>Alternativa</b>			<b>3.1.a</b>		<b>3.1.b</b>		<b>3.1.c</b>	
<b>Espigón separación tramo</b>	<b>h* (m)</b>	<b>Longitud inicial (m)</b>	<b>Avance final (m)</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>	<b>Avance final (m)</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>	<b>Avance final (m)</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>
<b>3-4</b>	4.20	194	16	210	23	217	37	231

Tabla 5.38 Longitud del espigón de separación de los tramos 3 y 4 de la alternativa 3.1.



Figura 5.33 Líneas de costa inicial y final en los tramos 3 y 4 de la alternativa 3.1.

### Tramo 4 (Alternativa 3.1)

Debido a la erosión que experimentará el Norte del tramo 4 por la disposición del espigón de separación se ha estimado por medios aproximados que es necesaria la disposición de un relleno inicial de  $43554 \text{ m}^3$  de gravas ( $D_{50}=15\text{mm}$ ) en la Playa del Estanyol y de  $38552 \text{ m}^3$  de gravas en la Playa del Cerezo, véase figura 5.33.

**DOCUMENTO FINAL**

Al igual que en el tramo anterior se ha asumido de modo aproximado que el transporte a lo largo del mismo es igual al de la situación actual existiendo solo dos tasas (PT 4\_4 y PT 4\_5) de las mostradas en la figura 5.34 que corresponden a un sedimento con  $D_{50}$  mayor de 1 mm y por tanto pueden considerarse gravas. Por ello, de modo simplificado se ha asumido que el transporte de gravas en todo el tramo es de 8315 m<sup>3</sup>/año.

Por lo tanto, el sistema de realimentación establecido consiste en el dragado de 8315 m<sup>3</sup>/año en la Playa de La Llosa para su posterior vertido al Norte del tramo, en la Playa del Estanyol, véase figura 5.34.

Nótese que debido a los gradientes espaciales del transporte existentes, se producirá una variación de la anchura de playa seca. Por consiguiente, en caso de que la presente alternativa fuera la seleccionada como óptima, habría que estudiar la variación de anchura de playa seca a lo largo del tramo hasta el final del período de tiempo considerado, así como la disposición de medidas adicionales en caso de que fuera necesario, lo cual será objeto de estudio en detalle en trabajos posteriores si se eligiera la presente alternativa.

<b>Tramo 4</b>		
<b>Alternativa</b>	<b><math>\Delta t</math> (años)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>3.1.a</b>	1	8 315
<b>3.1.b</b>	2	16 630
<b>3.1.c</b>	5	41 575

Tabla 5.39 Volumen de sedimento a gestionar periódicamente en el tramo 3 de la alternativa 3.1.

En el tramo 4 se han dispuesto un total de 6 nuevos espigones y se ha llevado a cabo el recrecimiento de uno de los espigones ya existentes. Las longitudes de las obras a realizar se muestran en la tabla 5.40.

<b>Alternativa 3.1</b>	<b>Tramo 4</b>
<b>Espigón</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>
<b>1</b>	90
<b>2</b>	100
<b>3</b>	100 (recrecimiento)
<b>4</b>	140
<b>5</b>	92
<b>6</b>	64
<b>7</b>	63
<b>Totales</b>	<b>649</b>

Tabla 5.40 Longitud de los espigones a construir en el tramo 4 de la alternativa 3.1.

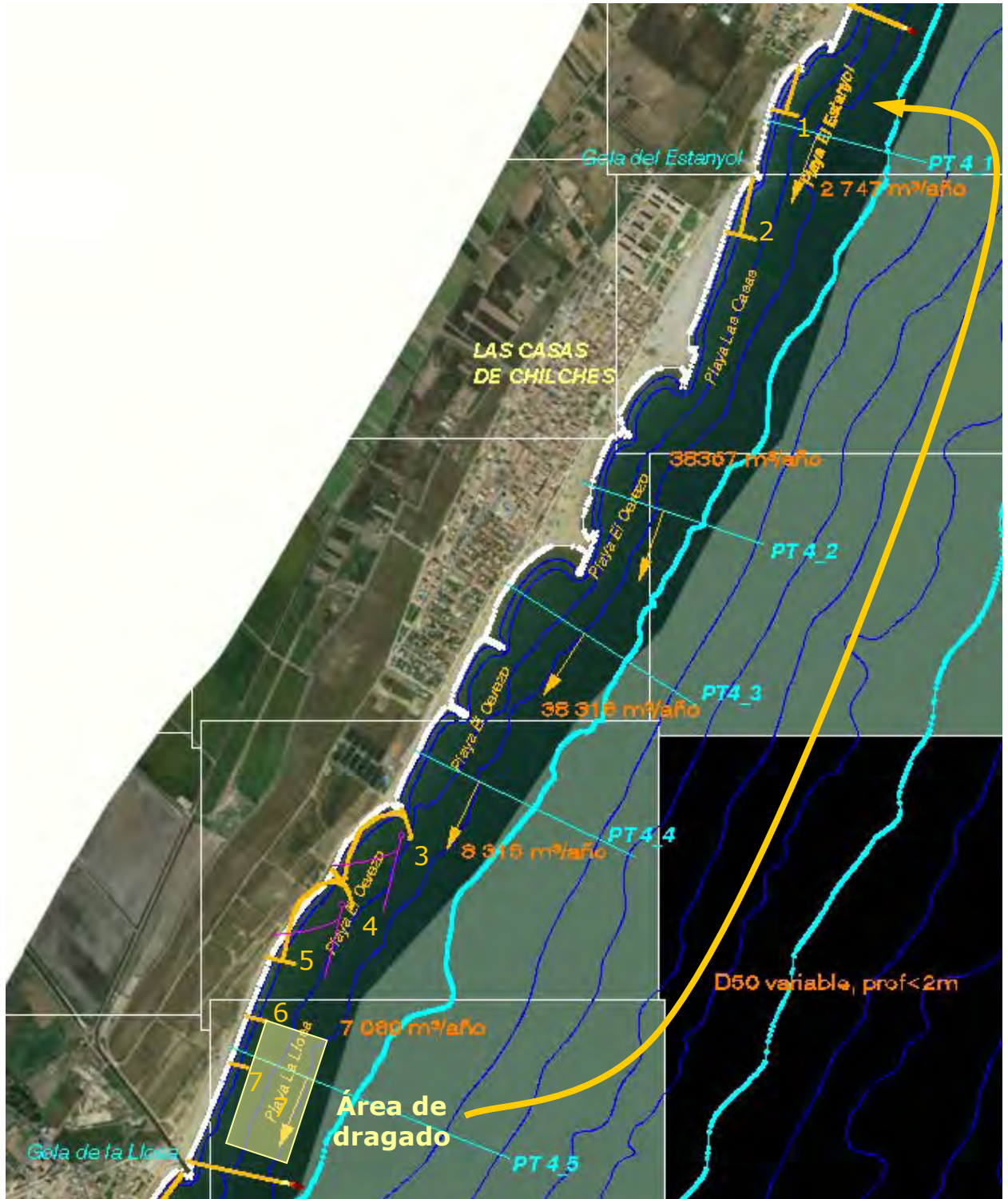


Figura 5.34 Tasas de transporte y esquema de mantenimiento periódico en el tramo 4 de la alternativa 3.1.



**DOCUMENTO FINAL**

Finalmente la longitud del espigón de separación de los tramos 4 y 5 ha sido calculada como se muestra en la tabla 5.41.

Alternativa		3.1.a			3.1.b		3.1.c	
Espigón separación tramo	h* (m)	Longitud inicial (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)
4-5 Sur	4.2	320	29	349	41	361	65	385

Tabla 5.41 Longitud del espigón de separación de los tramos 4 y 5 de la alternativa 3.1.



Figura 5.35 Líneas de costa inicial y final en los tramos 4 y 5 de la alternativa 3.1.

**Tramo 5 (Alternativa 3.1)**

El tramo 5 en la actualidad carece de los espigones existentes en los tramos anteriores, únicamente presenta una escollera de protección al Sur de la Gola de La Llosa, sin

**DOCUMENTO FINAL**

embargo el tipo de sedimento de la playa sigue siendo una mezcla de gravas en la proximidad de la línea de costa y arenas a mayor profundidad.

Por ello, en el tramo 5 se ha propuesto continuar en la línea de los anteriores tramos, construyendo espigones hasta la cota -2 o -3 m aproximadamente cada 200 m. Estos espigones, al igual que en los tramos anteriores, no interrumpen totalmente el transporte de sedimentos por lo que será necesario llevar a cabo labores periódicas de mantenimiento de las playas.

De modo simplificado se ha asumido que el transporte de gravas tras la construcción de todas las obras descritas en la tabla 5.42 es análogo al actual, lo cual constituye una aproximación razonable y que queda del lado de la seguridad. Si bien los espigones propuestos no impiden completamente el transporte de sedimentos por no llegar hasta la profundidad de cierre, sí que generarán un apoyo parcial a las playas, existiendo un bypass de sedimentos pero con una tasa de transporte de las gravas (localizadas a menos de 2 m de profundidad) más reducida que en la actualidad.

Se han dispuesto un total de 18 nuevos espigones cuyas longitudes se muestran en la tabla 5.42.

<b>Alternativa 3.1</b>	<b>Tramo 5</b>
<b>Espigón</b>	<b>Longitud espigón (m)</b>
<b>1</b>	91
<b>2</b>	66
<b>3</b>	64
<b>4</b>	73
<b>5</b>	73
<b>6</b>	61
<b>7</b>	65
<b>8</b>	49
<b>9</b>	61
<b>10</b>	58
<b>11</b>	67
<b>12</b>	60
<b>13</b>	52
<b>14</b>	143
<b>15</b>	127
<b>16</b>	134
<b>17</b>	125
<b>18</b>	121
<b>Totales</b>	<b>1490</b>

Tabla 5.42 Longitud de los espigones a construir en el tramo 5 de la alternativa 3.1.

**DOCUMENTO FINAL**

Adicionalmente se ha estimado necesario un aporte inicial de gravas ( $D_{50}=15$  mm) de aproximadamente  $42840 \text{ m}^3$  de relleno inicial a disponer inmediatamente al Sur del espigón de separación de los tramos 4 y 5 frente a la actual escollera, véase figura 5.35.

Al igual que en los tramos 3 y 4, sólo se dispone de dos perfiles en los que las tasas de transporte del sedimento situado a menos de 2 m de profundidad corresponde a tamaños de grano tipo gravas con  $D_{50}$  mayor de 1mm (PT 5\_4 y PT 5\_5).

Por ello se ha asumido que el transporte de gravas en todo el tramo es de  $8541 \text{ m}^3/\text{año}$  (PT 5\_4). El mecanismo de realimentación es tal que estas gravas se dragarán en la Playa de Corinto para ser posteriormente depositadas en la Playa de Casablanca, véase figura 5.36.

Nótese que debido a los gradientes espaciales del transporte existentes, se producirá una variación de la anchura de playa seca. Por consiguiente, en caso de que la presente alternativa fuera la seleccionada como óptima, habría que estudiar la variación de anchura de playa seca a lo largo del tramo hasta el final del período de tiempo considerado, así como la disposición de medidas adicionales en caso de que fuera necesario, lo cual será objeto de estudio en detalle en trabajos posteriores si se eligiera la presente alternativa.

<b>Tramo 5</b>		
<b>Alternativa</b>	<b><math>\Delta t</math> (años)</b>	<b>Volumen (<math>\text{m}^3</math>)</b>
<b>3.1.a</b>	1	8 541
<b>3.1.b</b>	2	17 082
<b>3.1.c</b>	5	42 705

Tabla 5.43 Volumen de sedimento a gestionar periódicamente en el tramo 5 de la alternativa 3.1.

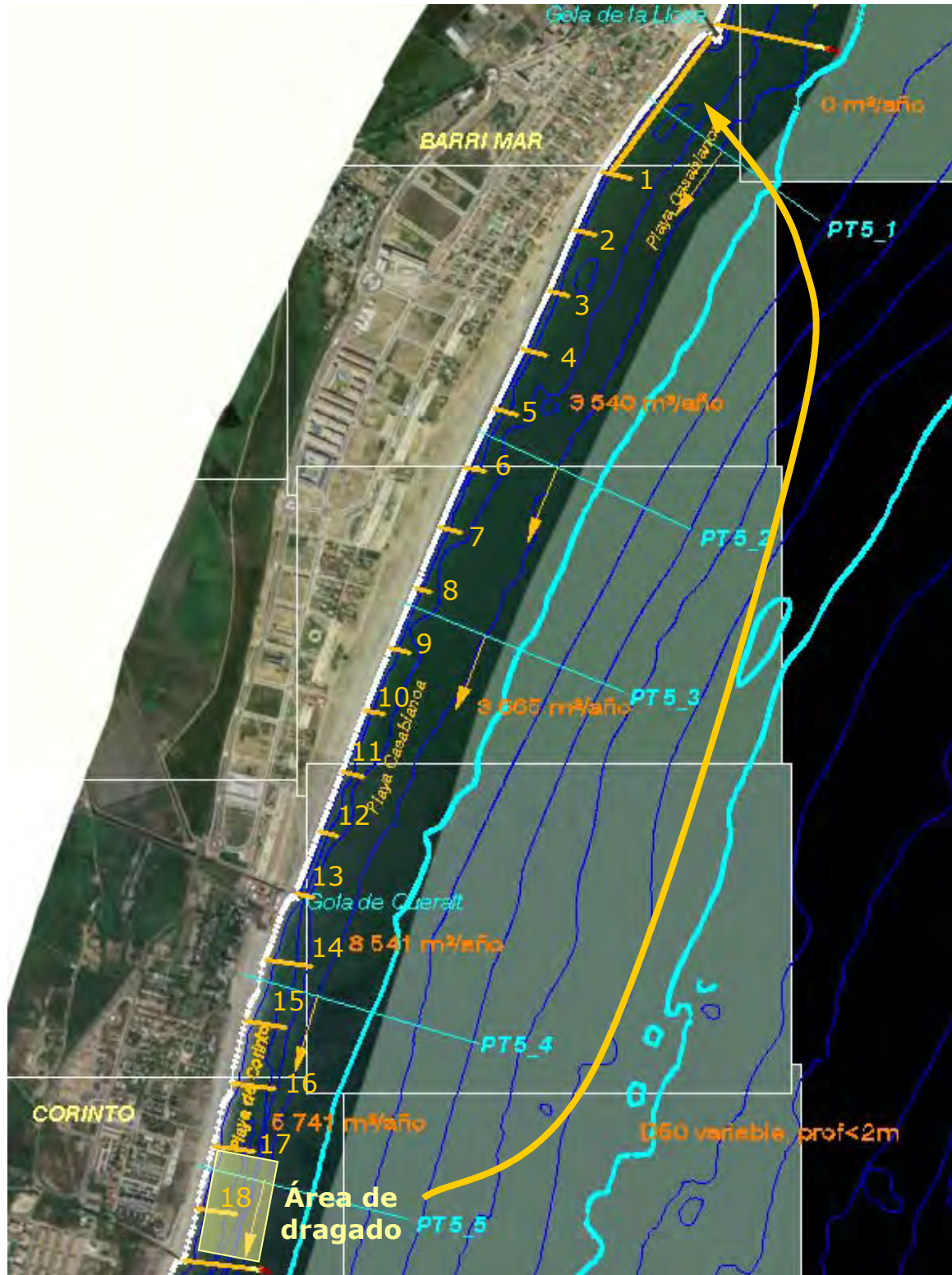


Figura 5.36 Tasas de transporte y esquema de mantenimiento periódico en el tramo 5 de la alternativa 3.1.

DOCUMENTO FINAL

Para concluir, la longitud del espigón de separación entre los tramos 5 y 6 ha sido calculada como se muestra en la tabla 5.44.

Alternativa		3.1.a			3.1.b		3.1.c	
Espigón separación tramo	h* (m)	Longitud inicial (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)
5-6	4.2	209	26	235	37	246	59	268

Tabla 5.44 Longitud del espigón de separación de los tramos 5 y 6 de la alternativa 3.1.



Figura 5.37 Líneas de costa inicial y final en los tramos 5 y 6 de la alternativa 3.1.

**DOCUMENTO FINAL**

**Tramo 6 (Alternativa 3.1)**

Se llevarán a cabo una serie de actuaciones comunes a las realizadas para el segmento Sur de la alternativa 2.3, que se enumeran a continuación:

- Dragado inicial al Norte del Puerto de Siles de 786407 m<sup>3</sup>, véase alternativa 1.2.
- Retirada de 2 28000 m<sup>3</sup> de gravas desde el espigón de separación de los tramos 5 y 6 hasta la Playa de Almardá.
- Disposición de un relleno de 260296 m<sup>3</sup> de arenas procedentes del dragado al Norte del Puerto de Siles (D<sub>50</sub> ≈ 0.2 mm) desde la Playa de Almardá hasta el espigón de separación de los tramos 5 y 6.
- Operaciones de mantenimiento: dragado de arenas las Playas de Canet de Berenguer y Almardá y vertido al Sur del espigón de separación de los tramos 5 y 6, en la playa de Corinto, con un vertido adicional de arena en dicha playa, véase tabla 5.45.

<b>Tramo 6</b>			
<b>Alternativa</b>	<b>Δt (años)</b>	<b>Volumen a trasvasar (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen de relleno adicional (m<sup>3</sup>)</b>
<b>3.1.a</b>	1	66 600	5 684
<b>3.1.b</b>	2	133 200	11 368
<b>3.1.c</b>	5	333 000	28 420

Tabla 5.45 Volumen de sedimento a gestionar periódicamente en el tramo 6 de la alternativa 3.1.

Adicionalmente a las anteriores medidas (descritas en detalle en la alternativa 2.3) se ha propuesto la construcción de un espigón de separación de los tramos 6 y 7, situado a la altura del Puerto de Siles.

Dicho espigón garantiza que no se producirá ningún by-pass de sedimentos desde la Playa de Canet de Berenguer hacia la Playa de Sagunto, por lo que no es necesaria la disposición de ninguna trampa adicional de sedimentos (véase alternativa 2.3).

La longitud del espigón de separación entre los tramos 6 y 7 ha sido calculada como se muestra en la tabla 5.46 a partir de la posición de la profundidad de cierre en la situación actual, correspondiente al mayor avance permitido de la línea de costa de acuerdo al mecanismo de mantenimiento diseñado que se corresponde con la situación actual (véase alternativa 2.3).

Alternativa			3.1	
Espigón separación tramo	h* (m)	Longitud inicial (m)	Avance final (m)	Longitud espigón (m)
5-6	4.2	202	-	202

Tabla 5.46 Longitud del espigón de separación de los tramos 5 y 6 de la alternativa 3.1.



Figura 5.38 Ajuste de la planta actualmente existente y dique de separación de los tramos 6 y 7 de la alternativa 3.1.

### Tramo 7 (Alternativa 3.1)

El tramo 7 constituye una excepción ya que al evitar la llegada de sedimentos procedentes de la Playa de Canet de Berenguer gracias a la construcción del espigón de separación de los tramos 6 y 7, la Playa del Puerto de Sagunto se puede considerar que se encuentra prácticamente en equilibrio estático y, por tanto, no se ha considerado necesaria ninguna actuación para dicho tramo.

### Resumen de actuaciones de la alternativa 3.1

En la tabla 5.47 se resumen las actuaciones a realizar para cada una de las variantes de la alternativa 3.1, en cada uno de los 7 tramos en los que se ha dividido la zona de estudio.

Alternativa		3.1.1	3.1.2	3.1				
Tramo		1		2	3	4	5	6
Longitud espigones (m)		401	1 369	236	302	649	1 490	-
Relleno inicial (m <sup>3</sup> )	D50≈0.2 mm	-	-	-	-	-	-	260 296
	D50=0.35 mm	487 498	145 986	-	-	-	-	-
	D50=15 mm		187 876	23 110	3 803	82 106	42 840	-
Dragado inicial (m <sup>3</sup> )	arena	-	-	-	-	-	-	786 407
	grava	-	-	-	-	-	-	228 000
Operaciones de dragado y vertido periódico	Volumen (m <sup>3</sup> /año)	56 256	1 313	11 403	3 803	8 315	8 541	66 600 (+5 684)
	Tipo de sedimento	arena	grava	grava	Grava	grava	grava	Arena
	D50 (mm)	0.35	15	variable	Variable	variable	variable	0.2

Tabla 5.47 Actuaciones a realizar en la alternativa 3.1

En la tabla 5.48 se muestran las longitudes de los espigones de separación entre tramos para cada una de las variantes de la alternativa 3.1.

Longitud espigón entre tramos (m)	Alternativa	3.1.1	3.1.2	3.1				
	Tramos	1-2		2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
Variante	a ( $\Delta t=1$ año)	233	208	360	210	349	235	202
	b ( $\Delta t=2$ años)	246	210	371	217	361	246	
	c ( $\Delta t=5$ años)	271	215	392	231	385	268	

Tabla 5.48 Longitudes de los espigones de separación entre tramos de la alternativa 3.1.

#### 5.4.5 Alternativa 3.2: 7 tramos. Playas de arenas en equilibrio estático

Al dividir la zona de actuación en 7 tramos, la longitud de los mismos se reduce en un orden de magnitud respecto a la longitud total de la zona de estudio, por lo tanto la estrategia consistente en la estabilización de la línea de costa mediante la construcción de obras costeras cobra sentido, siempre que se considere aisladamente cada uno de estos tramos.

Por ello, se ha diseñado para cada tramo un número variable de playas de arena encajadas entre espigones.



**DOCUMENTO FINAL**

Dado que estos espigones han de llegar al menos hasta la profundidad de cierre de la playa para interrumpir totalmente el transporte litoral de sedimentos, cada una de las playas diseñadas constituye una unidad aislada del resto. Por tanto, en realidad debería considerarse que la zona de actuación se ha dividido en tantos tramos como playas se han dispuesto.

En los tramos al Norte de Corinto se ha llevado a cabo un relleno inicial con arena de aportación ( $D_{50} = 0.35 \text{ mm}$ ) ya que la playa actual es de gravas.

En los tramos situados al Sur de Corinto, en los que la playa actualmente es de arenas ( $D_{50} \approx 0.2 \text{ mm}$ ) y tiene suficiente ancho de playa seca, solo ha sido necesaria la aportación de arena en las zonas invadidas por gravas. En estas zonas se ha propuesto la retirada de las gravas en primer lugar para posteriormente rellenar con arena de aportación ( $D_{50}=0.35 \text{ mm}$ ) a fin de no perder ancho de playa seca.

Para minimizar el número de espigones a construir se ha considerado como ancho mínimo de playa seca únicamente el menor de los establecidos en los criterios de diseño, 20 m, ya que la longitud de las playas estables a diseñar para anchos mínimos mayores resultaría muy pequeña, dado que el ancho máximo de playa seca se ha fijado en 70 m, y por tanto la longitud total de los espigones que serían necesarios para su estabilización resultaría del todo inabordable, véase figura 5.39.



Figura 5.39 Esquema de construcción de playas encajadas para un ancho mínimo de playa seca >20 m

Si por el contrario se permitiera un ancho de playa seca máximo superior a 70 m permitiendo la disposición de un menor número de obras de estabilización, el volumen de arena necesario para dotar de playa a la costa sería inabordable, véase figura 5.40.

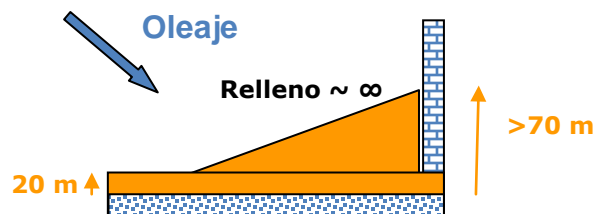


Figura 5.40 Esquema de construcción de playas encajadas para un ancho máximo de playa seca >70 m

La longitud de cada uno de los espigones diseñados es tal que el morro de los mismos llega hasta la profundidad de cierre de la playa regenerada.

**DOCUMENTO FINAL**

Cabe señalar que aunque la profundidad de cierre de las playas no supera los 4.3 m en algunos casos e l morro de los espigones en los que se apoyan las playas se ha prolongado debido a que la intersección de la batimetría actual y el perfil de la playa regenerada se produce a mayor profundidad que la de cierre.

Para la creación de playas estables de arena se ha asumido un perfil de equilibrio de Dean (1977) y una planta de equilibrio paralela al flujo medio de energía, salvo para la playa situada al abrigo del contradique Sur del Puerto de Burriana, las dos playas situadas al abrigo de diques de planta curvilínea en el tramo 4 y la Playa de Sagunto, para las que se ha considerado la parábola de Hsu y Evans (1989) empleando para su ajuste la metodología de González (1995).

Por otro lado, es necesario destacar que, debido al alcance de presente documento, las longitudes de los espigones son las estrictamente necesarias.

**Tramo 1 (Alternativa 3.2)**

En el tramo 1 se han diseñado 7 playas encajadas con longitudes variables entre 220 m y 870 m, para lo cual ha sido necesario el aporte de casi 1 millón de m<sup>3</sup> de arena de aportación con D<sub>50</sub> = 0.35 mm.

Ha sido necesaria la construcción de 7 espigones de longitudes variables entre 240 m y 400 m cuyos morros llegan hasta la cota -4.8 m.

En la figura 5.41 se muestra sobre la batimetría actual la línea de costa proyectada así como la alineación y longitud de los espigones a construir (líneas naranjas gruesas). Además se muestra la intersección de la playa regenerada con la batimetría actual (líneas naranjas finas) así como el punto de difracción, la dirección del frente medio y la línea de  $\alpha_{\min}$  de la playa (líneas rosas finas) situada al sur del Puerto de Burriana cuya planta corresponde a una parábola de Hsu y Evans (1989).

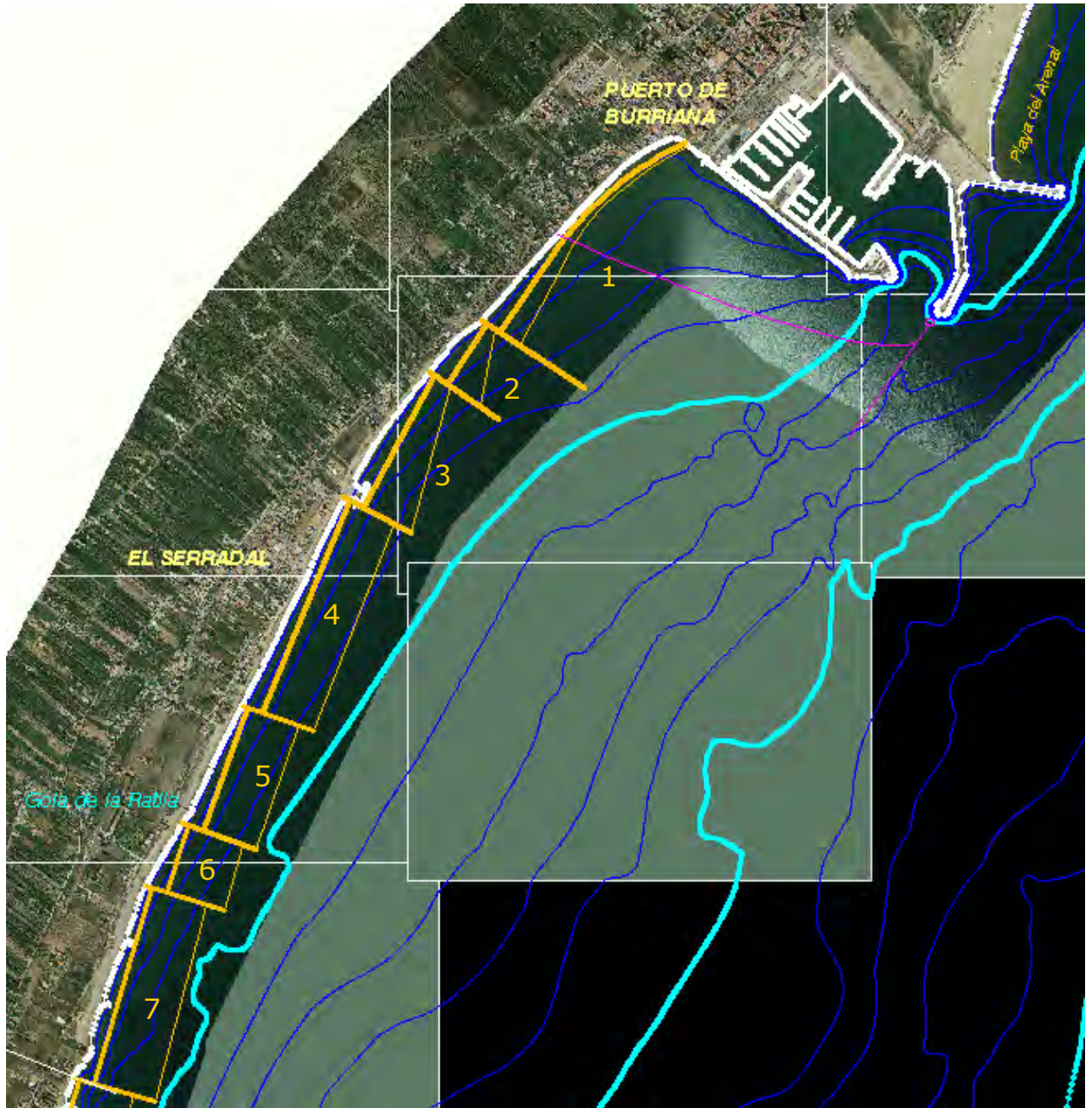


Figura 5.41 Planta de equilibrio en el tramo 1 de la alternativa 3.2.

**DOCUMENTO FINAL**

Alternativa		3.2 (+20 m)				
Tramo	Playa	L (m)	h* (m)	Área perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Longitud espigón (m)
<b>1</b>	<b>1</b>	870	3.9	79 257	145 986	400
	<b>2</b>	235	3.9	58 312	43 416	273
	<b>3</b>	485	4.0	80 435	124 616	243
	<b>4</b>	746	4.0	134 470	225 292	249
	<b>5</b>	425	4.0	161 492	138 741	253
	<b>6</b>	225	4.3	173 479	73 418	268
	<b>7</b>	665	4.3	159 562	239 566	272
<b>Totales</b>		<b>3 651 m</b>		<b>991 036 m<sup>3</sup></b>		<b>1 958 m</b>

Tabla 5.49 Volumen de aportación de arena y longitud de espigones a construir en el tramo 1 de la alternativa 3.2.

**Tramo 2 (Alternativa 3.2)**

En el tramo 2 se han diseñado 12 playas encajadas con longitudes variables entre 130 m y 450 m, que han requerido unos 930000 m<sup>3</sup> de arena de préstamo de D<sub>50</sub> = 0.35 mm.

Ha sido necesaria la construcción de 14 espigones de longitudes variables entre 180 m y 345 m cuyos morros llegan hasta la cota -4.8 m.

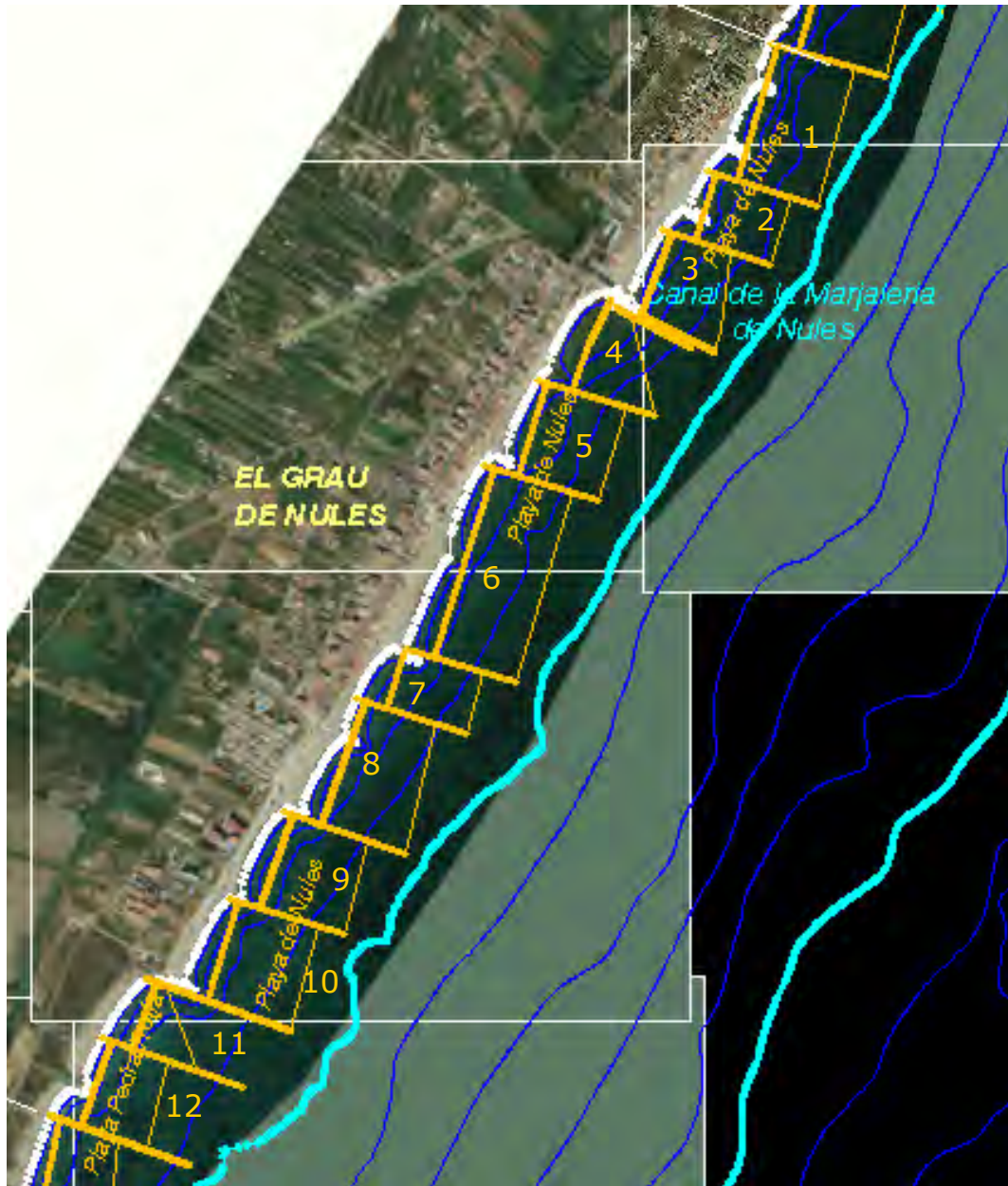


Figura 5.42 Planta de equilibrio en el tramo 2 de la alternativa 3.2.

Alternativa		3.2 (+20 m)				
Tramo	Playa	L (m)	h* (m)	Área perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Longitud espigón (m)
2	1	319	4.0	216 533	119 466	260
	2	161	4.0	196 481	54 499	260
	3	197	4.0	138 285	41 666	183
	4	224	4.2	149 546	77 840	189 277
	5	221	4.2	153 518	74 146	275
	6	452	4.2	165 484	146 674	261
	7	137	4.2	57 449	34 661	261
	8	301	4.3	141 554	104 598	293
	9	222	4.3	116 461	64 047	273
	10	237	4.3	128 722	100 725	345
	11	159	4.3	81 465	43 407	338
	12	204	4.3	182 482	67 728	331
<b>Totales</b>		<b>2 834 m</b>			<b>929 455 m<sup>3</sup></b>	<b>3 546 m</b>

Tabla 5.50 Volumen de aportación de arena y longitud de espigones a construir en el tramo 2 de la alternativa 3.2.

### Tramo 3 (Alternativa 3.2)

En el tramo 3 se han diseñado 14 playas encajadas con longitudes variables entre 150 m y 580 m, que han requerido unos 1.3 millones de m<sup>3</sup> de arena de préstamo de D<sub>50</sub> = 0.35 mm.

**DOCUMENTO FINAL**

Ha sido necesaria la construcción de 17 espigones de longitudes variables entre 160 m y 360 m cuyos morros llegan hasta la cota -5.1 m.

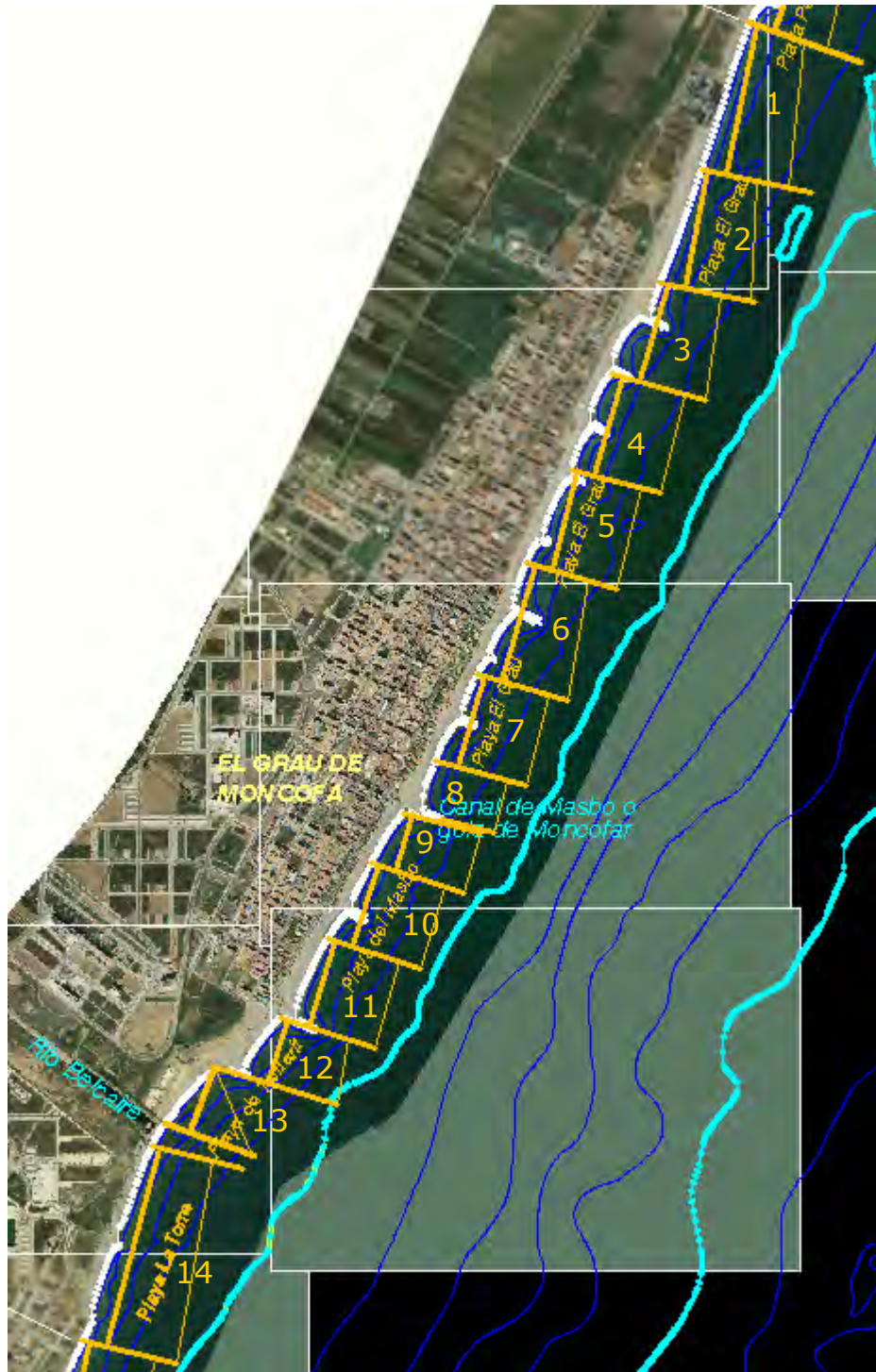


Figura 5.43 Planta de equilibrio en el tramo 3 de la alternativa 3.2.

**DOCUMENTO FINAL**

Alternativa		3.2 (+20 m)				
Tramo	Playa	L (m)	h* (m)	Área perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Longitud espigón (m)
<b>3</b>	<b>1</b>	430	4.3	205 462	143 405	319
	<b>2</b>	340	4.3	169 485	111 180	275
	<b>3</b>	318	4.3	180 503	108 597	278
	<b>4</b>	289	4.2	188 455	92 914	261
	<b>5</b>	288	4.2	141 506	93 168	268
	<b>6</b>	344	4.2	196 545	127 452	267
	<b>7</b>	264	4.2	214 529	98 076	263
	<b>8</b>	148	4.2	201 204	29 970	157
	<b>9</b>	167	4.3	127 507	52 939	226 274
	<b>10</b>	240	4.3	173 538	85 320	277
	<b>11</b>	253	4.3	194 359	69 955	283
	<b>12</b>	188	4.3	93 767	80 840	366
	<b>13</b>	201	4.2	25 379	40 602	269
	<b>14</b>	584	4.2	156 583	215 788	266 269
<b>Totales</b>		<b>4 054 m</b>			<b>1 350 205 m<sup>3</sup></b>	<b>4 318 m</b>

Tabla 5.51 Volumen de aportación de arena y longitud de espigones a construir en el tramo 3 de la alternativa 3.2.

**Tramo 4 (Alternativa 3.2)**

En el tramo 4 se han diseñado 12 playas encajadas con longitudes variables entre 150 m y 720 m, que han requerido unos 1.2 millones de m<sup>3</sup> de arena de préstamo de D<sub>50</sub> = 0.35 mm. Ha sido necesaria la construcción de 13 espigones de longitudes variables entre 220 m y 380 m cuyos morros llegan hasta la cota -4.9 m.



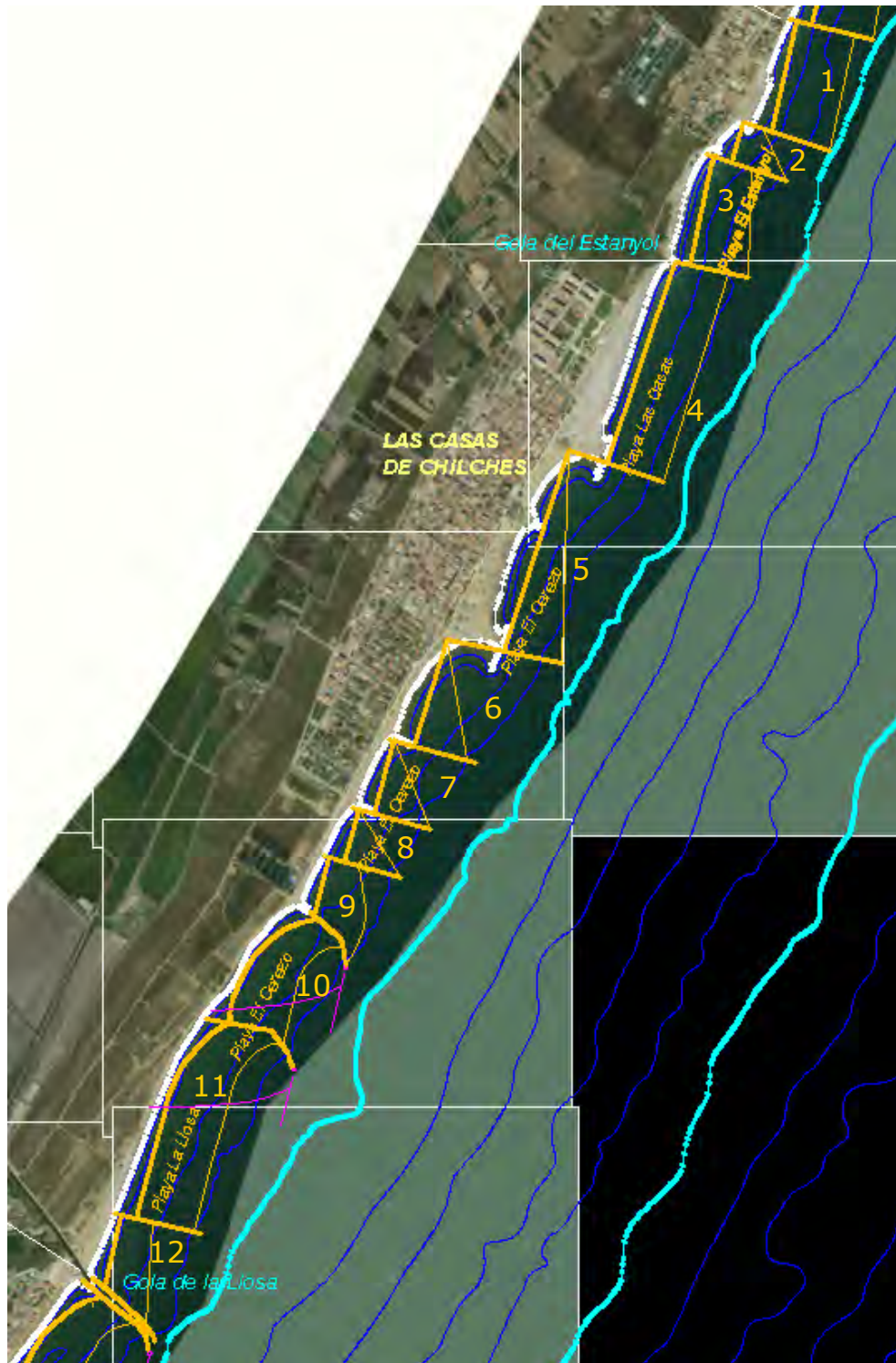


Figura 5.44 Planta de equilibrio en el tramo 4 de la alternativa 3.2.

**DOCUMENTO FINAL**

Alternativa		3.2 (+20 m)				
Tramo	Playa	L (m)	h* (m)	Área perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Longitud espigón (m)
4	1	363	4.2	238 559	144 656	289
	2	132	4.2	29 483	33 792	272
	3	335	4.2	170 386	93 130	234
	4	684	4.2	72 371	151 506	319
	5	674	4.2	18 558	194 112	377
	6	359	4.2	24 293	56 902	287
	7	245	4.2	59 257	38 710	260
	8	175	4.2	41 405	39 025	258
	9	192	4.2	118 311	41 184	219
	10 $\alpha_{\min}$	429	4.2	255 311	121 407	-
	10 recta	47	4.2	311 437	17 578	351
	11 $\alpha_{\min}$	352	4.2	369 164	93 808	-
11 recta	367	4.2	164 407	104 779	285	
12	243	4.2	150 314	56 376	289	
<b>Totales</b>		<b>4 597 m</b>		<b>1 186 964 m<sup>3</sup></b>		<b>3 440 m</b>

Tabla 5.52 Volumen de aportación de arena y longitud de espigones a construir en el tramo 4 de la alternativa 3.2.

**Tramo 5 (Alternativa 3.2)**

En el tramo 5 se han diseñado 12 playas encajadas con longitudes variables entre 150 m y 720 m, que han requerido unos 1.2 millones de m<sup>3</sup> de arena de préstamo de D<sub>50</sub> = 0.35 mm. Ha sido necesaria la construcción de 14 espigones de longitudes variables entre 230 m y 310 m cuyos morros llegan hasta la cota -4.6 m.



Figura 5.45 Planta de equilibrio en el tramo 5 de la alternativa 3.2.

**DOCUMENTO FINAL**

Alternativa		3.2 (+20 m)				
Tramo	Playa	L (m)	h* (m)	Área perfil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Longitud espigón (m)
5	1 $\alpha_{min}$	388	4.1	286 282	110 192	313
	1 recta	70	4.1	282 393	23 625	311
	2	276	4.1	137 403	74 520	300
	3	301	4.1	153 384	80 819	302
	4	324	4.1	138 463	97 362	277
	5	268	4.1	176 471	86 698	283
	6	336	4.1	190 477	112 056	284
	7	291	4.1	228 487	104 033	253
	8	368	4.1	194 506	128 800	257
	9	285	4.1	195 579	110 295	264
	10	170	4.2	246 398	54 740	227 262
	11	297	4.2	96 422	76 923	264
12	690	4.2	116 433	189 405	297	
<b>Totales</b>		<b>4 064 m</b>			<b>1 249 467 m<sup>3</sup></b>	<b>3 894 m</b>

Tabla 5.53 Volumen de aportación de arena y longitud de espigones a construir en el tramo 5 de la alternativa 3.2.

**Tramo 6 (Alternativa 3.2)**

El tramo 6, constituido en la actualidad por playas de arena, no requiere relleno de arena de préstamo.

Sí se contempla, sin embargo, la retirada de 228000 m<sup>3</sup> de gravas situadas en las playas de Almadá y Corinto y la sustitución de éstas por 258792 m<sup>3</sup> de arena de aportación ( $D_{50}=0.35$  mm), véase tabla 5.54.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>Alternativa 3.2 Relleno D50=0.35 mm</b>					
<b>Perfil</b>	<b>L (m)</b>	<b>h* (m)</b>	<b>Dx (m)</b>	<b>Área perfil (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>P 6_1</b>	562	4.17	0	20	11 272
<b>P 6_2</b>	523.5	4.25	0	15	7 664
<b>P 6_3</b>	556	4.00	0	21	11 857
-	Por retirada de gravas				228 000 m <sup>3</sup>
<b>Totales</b>					<b>258 792 m<sup>3</sup></b>

Tabla 5.54 Volumen de aportación de arena en el tramo 6 de la alternativa 3.2.

Por ello, el sedimento de las 3 primeras playas encajadas del tramo 6 consistirá en una mezcla del sedimento arenoso existente en la actualidad ( $D_{50} \approx 0.2$  mm) y las arenas de aportación ( $D_{50} = 0.35$  mm).

En total se han diseñado 7 playas encajadas entre 8 espigones de longitudes variables entre 190 m y 340 m, que llegan estrictamente hasta la profundidad de cierre de las playas.

DOCUMENTO FINAL

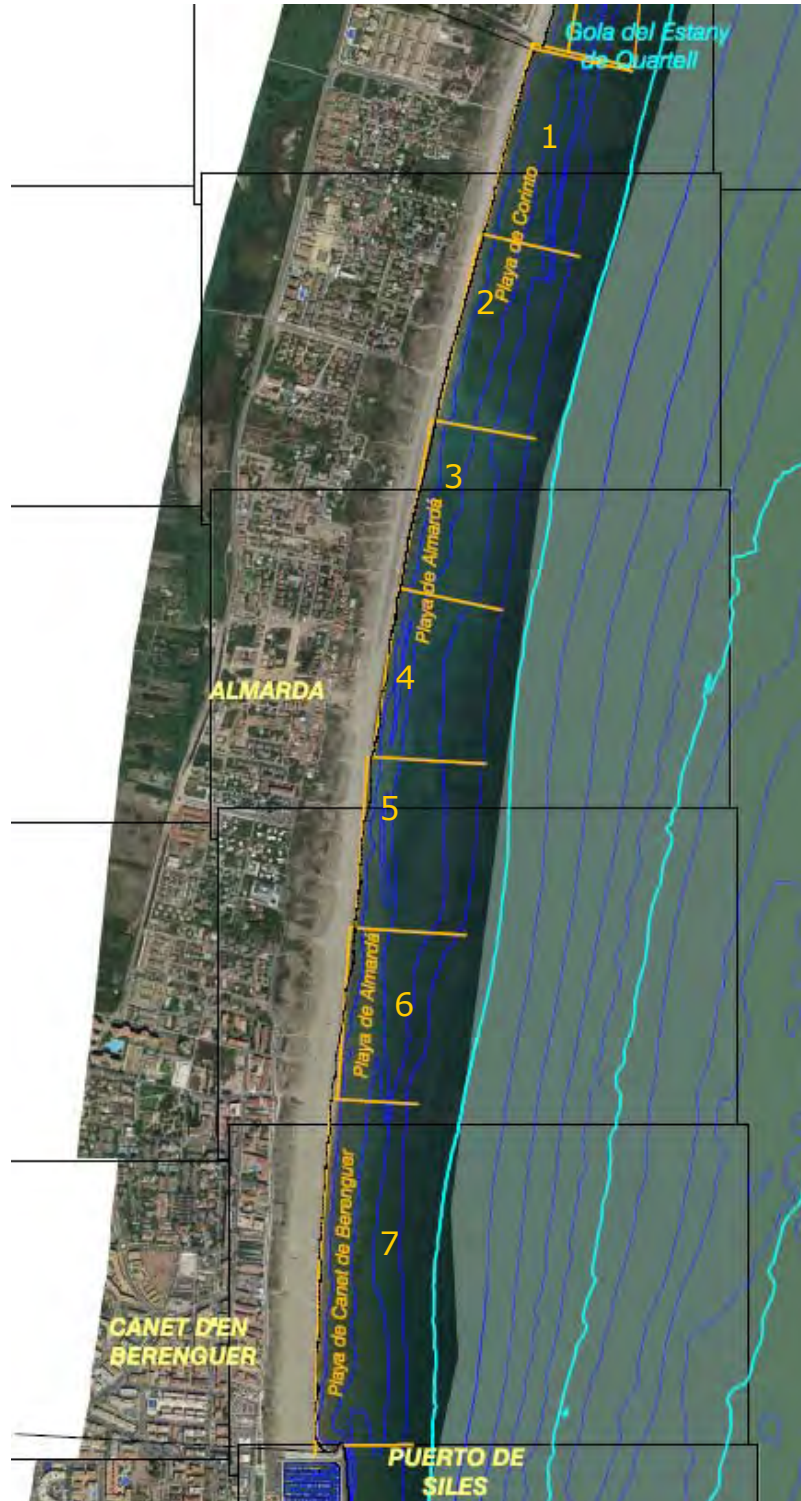


Figura 5.46 Planta de equilibrio en el tramo 6 de la alternativa 3.2.

**DOCUMENTO FINAL**

Alternativa		3.2 (+20 m)		
Tramo	Playa	L (m)	h* (m)	Longitud espigón (m)
<b>6</b>	<b>1</b>	388	4.1	298 293
	<b>2</b>	70	4.1	303
	<b>3</b>	276	4.1	305
	<b>4</b>	301	4.1	341
	<b>5</b>	324	4.1	335
	<b>6</b>	268	4.2	252
	<b>7</b>	336	4.2	202
<b>Totales</b>		<b>1 963</b>		<b>2 329</b>

Tabla 5.55 Volumen de aportación de arena y longitud de espigones a construir en el tramo 6 de la alternativa 3.2.

**Tramo 7 (Alternativa 3.2)**

No se ha llevado a cabo ninguna actuación en el tramo 7 ya que la Playa de Sagunto se encuentra encajada y prácticamente en equilibrio estático en la actualidad. Por otro lado, la intensa variabilidad morfológica propia de los deltas provoca que no se haya llevado a cabo ninguna actuación de estabilización de la Playa del Delta del Río Palancia.

**Resumen de actuaciones de la alternativa 3.2**

En la tabla 5.56 se resumen las actuaciones a realizar para la alternativa 3.2, en cada uno de los 7 tramos en los que se ha dividido la zona de estudio.

Alternativa	3.2					
	1	2	3	4	5	6
<b>Longitud espigones (m)</b>	1 958	3 546	4 318	3 440	3 894	2 329
<b>Relleno inicial (m<sup>3</sup>) (D50=0.35 mm)</b>	991 036	929 455	1 350 205	1 186 964	1 249 467	258 792
<b>Retirada de gravas (m<sup>3</sup>)</b>						228 000

Tabla 5.56 Actuaciones a realizar en la alternativa 3.2.

**DOCUMENTO FINAL**

Resultando un total de 1 9485 m<sup>3</sup> lineales de espigones, 5 965919 m<sup>3</sup> de arena de aportación en concepto de relleno inicial y 2 28000 m<sup>3</sup> de gravas a retirar, para el conjunto de la zona de estudio.

## **5.5. Comparación de alternativas**

Se describen a continuación los criterios considerados para la comparación de las distintas alternativas propuestas así como las metodologías establecidas para la valoración de cada una de las alternativas en función de dichos criterios. Todo ello a fin de llevar a cabo una comparación lo más completa y objetiva posible de las alternativas propuestas en el presente documento.

### **5.5.1. Descripción de criterios para la comparación de alternativas**

Aunque la gran subjetividad propia de ciertos criterios dificulta una valoración cuantitativa de cada alternativa se ha establecido una misma escala numérica para todos los criterios, de forma que cada alternativa será puntuada de 0 a 5 siendo 0 la menos deseable y 5 la mejor de las alternativas propuestas. Para lo cual se ha de correlacionar cada criterio con una variable medible. Los valores medidos de dicha variable se normalizan de acuerdo a la escala anteriormente establecida para obtener la puntuación de cada alternativa.

Por otro lado se ha asignado distinto peso a cada uno de los criterios descritos, de acuerdo a una valoración cualitativa de la importancia relativa de cada uno de los mencionados criterios.

Se han establecido 3 tipos de criterios:

- Económicos
- Funcionales
- Estéticos y ambientales

Dado el gran número de variantes consideradas para cada alternativa se ha optado por incluir en la comparación de alternativas únicamente una variante por alternativa, correspondiente a la regeneración periódica cada 2 años en el caso de existir varios posibles periodos y al ancho de playa de 20 m en el caso de que existan varias posibilidades de ancho de playa seca.

A continuación se describen los factores tenidos en cuenta en la comparación de alternativas, realizada con el objetivo de determinar aquella alternativa que mejor responda tanto a criterios económicos, como funcionales, estéticos y ambientales.



### **5.5.2. Criterios económicos**

En el marco del criterio económico, en primer lugar ha de tenerse en consideración el coste estimado de cada alternativa.

Para el cálculo de dicho coste es necesario valorar el volumen de cada una de las actuaciones a realizar para cada alternativa propuesta, como se muestra en la tabla 5.57.

DOCUMENTO PRELIMINAR

Alternativa	Material granular	Ancho playa (m)	Obras (m.l.)	Actuaciones iniciales			Mantenimiento periódico						
				Rellenos (m <sup>3</sup> )	Dragados (m <sup>3</sup> )	Retirada gravas (m <sup>3</sup> )	Rellenos (m <sup>3</sup> )	Dragados (m <sup>3</sup> )	/años				
1.1	a	grava	= ∅				11 403		1				
		arena					19 501			33 108			
	b	grava					22 806				2		
		arena					39 002					66 216	
	c	grava					57 015						5
		arena					97 505						
1.2	a+d	arena	20	2 815 362	786 407	228 000		66 600	1				
			40	5 038 805									
			60	7 385 634									
	a+e		20	2 815 362						133 200	2		
			40	5 038 805									
			60	7 385 634									
	a+f		20	2 815 362								333 000	5
			40	5 038 805									
			60	7 385 634									
2.1	a	grava	= ∅	269	786 407	761 703	3 088	8 315	1				
		arena					475 291	66 600					
	b	grava		283					6 176	16 630	2		
		arena							475 291	133 200			
	c	grava		310					15 440	41 575	5		
		arena							475 291	333 000			
2.2	a	grava	= ∅	313	786407	452481	3 088	8 315	1				
		arena					5 550	66 600					
	b	grava		323					6 176	16 630	2		
		arena							11 100	133 200			
	c	grava		345					15 440	41 575	5		
		arena							27 750	333 000			
2.3	a	grava	= ∅	225	786 407	228 000	2 862	8 541	1				
		arena					5 684	66 600					
	b	grava		232					5 724	17 082	2		
		arena							11 368	133 200			
	c	grava		249					14 310	42 705	5		
		arena							28 420	333 000			
3.1.1	a	grava	tramo 1: 20 Resto: = ∅	4 667	786 407	228 000		32 062	1				
		arena					487 498	5 684		122 856			
	b	grava		4 721						64 124	2		
		arena							487 498	11 368		245 712	
	c	grava		4 827						160 310	5		
		arena							487 498	28 420		614 280	
3.1.2	a	grava	tramo 1: 20 Resto: = ∅	5 610	786 407	228 000		33 375	1				
		arena					145 986	5 684		66 600			
	b	grava		5 653						66 750	2		
		arena							145 986	11 368		133 200	
	c	grava		5 739						166 875	5		
		arena							145 986	28 420		333 000	
3.2	arena	20-70	19 485	5 965 919		228 000							

Tabla 5.57 Comparación de alternativas (actuaciones a realizar).

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

En base a los precios unitarios mostrados en la tabla 5.58 y a las mediciones mostradas en la tabla 5.57, se ha realizado una estimación del presupuesto de cada una de las alternativas propuestas, asumiendo una vida útil de las obras de 25 años. En este punto es importante mencionar que el presupuesto se ha expresado en euros (€) del año 0 de la alternativa (año 2011) teniendo en cuenta la inversión diferencial en el tiempo, con una tasa de descuento del 3.5%.

<b>m.l. espigón</b>	1750 €
<b>m3 de arena de aportación procedente del yacimiento estratégico frente a la costa valenciana</b>	10 €
<b>m3 de grava de aportación procedente de cantera</b>	13.21 €
<b>m3 de dragado/vertido de arena para mantenimiento periódico</b>	10 €
<b>m3 de dragado/vertido de grava para mantenimiento periódico</b>	10 €

Tabla 5.58 Precios unitarios de las unidades de obra.

El presupuesto estimado para todas las variantes de las alternativas propuestas se muestra en la tabla 5.59.

Alternativa		Material granular	Ancho de playa	Coste obra civil inicial (€)	Coste total (€)
1.1	a	grava	= ∅	0	10 867 077
		arena			
	b	grava		0	10 680 174
		arena			
	c	grava		0	8 967 767
		arena			
1.2	a+d	arena	20	38 297 690	48 992 563
	b+d		40	60 532 120	71 226 993
	c+d		60	84 000 410	94 695 283
	a+e		20	38 297 690	48 808 622
	b+e		40	60 532 120	71 043 052
	c+e		60	84 000 410	94 511 342
	a+f		20	38 297 690	47 123 350
	b+f		40	60 532 120	69 357 780
	c+f		60	84 000 410	92 826 070
	2.1		a	grava	= ∅
arena					
b		grava	20 729 260	33 196 274	
		arena			
c		grava	20 776 510	31 244 624	
		arena			
2.2	a	grava	= ∅	12 936 630	26 513 056
		arena			
	b	grava		12 954 130	26 297 055
		arena			
	c	grava		12 992 630	24 196 216
		arena			
2.3	a	grava	= ∅	10 537 820	24 124 115
		arena			
	b	grava		10 550 070	23 902 694
		arena			
	c	grava		10 579 820	21 791 550
		arena			
3.1.1	a	grava	tramo 1: 20 m Resto: = ∅	25 192 357	50 982 417
		arena			
	b	grava		25 286 857	50 633 353
		arena			
	c	grava		25 472 357	46 754 921
		arena			
3.1.2	a	grava	tramo 1: 20 m Resto: = ∅	25 909 329	42 876 440
		arena			
	b	grava		25 984 579	42 659 872
		arena			
	c	grava		26 135 079	40 136 738
		arena			
3.2		arena	20-70 m	96 037 940	96 037 940

Tabla 5.59 Comparación económica de alternativas (estimación de presupuesto).

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

### **Costes**

En cuanto a los costes del proyecto, se ha considerado el coste total de la obra durante toda la vida útil de la misma (25 años), de acuerdo al presupuesto estimado.

La cuantificación del coste total de acuerdo a la escala establecida (de 0 a 5) se ha llevado a cabo normalizando el presupuesto de cada alternativa en base a la mencionada escala.

La alternativa 1.1, siendo la de menor coste recibe una puntuación de 5 mientras que la alternativa 3.2, que conlleva una obra civil inicial más costosa, recibe una puntuación de 0.

### **Beneficios**

Por otro lado, la construcción de toda obra civil da lugar a la generación de puestos de trabajo durante la duración de los trabajos iniciales y también como consecuencia de las necesarias actuaciones de mantenimiento durante toda la vida útil de la obra.

Para ello se ha estimado el coste de la mano de obra necesaria, como el 40% del precio unitario de obras marítimas lineales (espigones, diques y escolleras) y el 19% de precio unitario de los rellenos, independientemente del material y su procedencia.

La generación de empleo se ha medido mediante dos criterios separados para distinguir la generación de empleo en el año 0 de la alternativa, correspondiente a la mano de obra necesaria para llevar a cabo la obra civil inicial, y la generación de empleo a lo largo de toda la vida útil de la obra, en concepto de explotación y mantenimiento de la obra.

De este modo se ha asignado un peso relativo mayor a la generación de empleo debida a la obra civil inicial, ya que, dada la coyuntura económica actual, se debe valorar muy positivamente la generación de empleo inmediato asociada a cada una de las alternativas propuestas.

Por último, teniendo en cuenta el uso lúdico de las playas, se puede considerar a las mismas como infraestructuras dinamizadoras de la industria turística, por lo que actuaciones como la que nos ocupa, que buscan la ampliación y mejora del frente marítimo, conllevan la generación indirecta de empleo relacionado principalmente con el sector servicios.

A este respecto, cabe señalar que las playas de arena tienen un mayor atractivo para los usuarios y por tanto su potencial generación de empleo indirecto es superior a las de gravas. Sin embargo esta preferencia de las playas arenosas sobre las de gravas será

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

tenida en cuenta en un criterio ad hoc como parte del grupo de los criterios funcionales por lo que se ha obviado a efectos de los criterios económicos.

Por lo tanto, obviando la superioridad de las playas de arena sobre las de gravas, la generación indirecta de riqueza, aunque tenida en cuenta en un principio para la valoración de alternativas, no tiene relevancia para la comparación de las mismas ya que se ha estimado que todas las alternativas propuestas tienen la misma capacidad de generación de empleo indirecto.

### **5.5.3. Criterios funcionales**

Los llamados criterios funcionales pretenden medir la efectividad de cada una de las alternativas propuestas. Se dividen en tres grupos, atendiendo a las siguientes características:

- Geometría
- Durabilidad
- Usos

#### **5.5.3.1. Criterios geométricos**

Las variables evaluadas de cara a valorar las características geométricas de las alternativas propuestas son las siguientes:

##### ***Superficie total de playa seca disponible***

Para cuantificar el presente criterio y a efectos de la comparación de alternativas, se ha medido la superficie generada de modo adicional a la existente en la situación actual en lugar de la superficie de playa seca total.

Es por ello, que las alternativas 2.1, 2.2 y 2.3 presentan una superficie de playa seca negativa, debido al retranqueo de la línea de costa en el tramo 6 respecto de la situación actual, por lo que son las peores alternativas a este respecto y reciben una puntuación de 0.

Es decir, que la normalización de 0 a 5 realizada para asignar las puntuaciones correspondientes se hace en base a la mínima superficie medida, que como se ha mencionado anteriormente, resulta ser negativa. Por ello, la alternativa 1.1 que da continuidad a la situación actual y presenta una superficie de playa seca regenerada nula respecto de la situación actual, en realidad no recibe una puntuación nula sino mayor que 0.

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

En el otro extremo la alternativa 3.2 recibe 5 puntos, dado que es la que mayor superficie de playa seca genera.

***Longitud total de orilla de playa con ancho mayor de 30 m***

Para cada alternativa se ha medido la longitud de la porción de la línea de costa desde la que existe acceso directo al mar (esto es, excluyendo las escolleras y espigones existentes) y que presenta un ancho de playa seca mayor de 30 m. Con este criterio se pretende valorar la longitud efectiva de playa generada en cada alternativa.

Las alternativas 1.1, 2.1, 2.2 y 2.3, con la menor longitud de orilla de playa, reciben 0 puntos mientras que la alternativa 3.2, con la mayor, recibe 5 puntos.

***Porcentaje de playa seca constituido por arena fina***

Para valorar el porcentaje de playa constituida por arena fina se ha medido la longitud de la línea de costa ocupada por gravas y esta longitud se compara con la longitud total de la línea de costa en el tramo de estudio.

De este modo las alternativas 1.2 y 3.2, con playas de arena en el 100% de la costa, reciben la puntuación máxima (5 puntos).

En el otro extremo, la alternativa 1.1, que solo dispone de playas de arena en la playa de Sagunto y en la playa de Canet de Berenguer, recibe la mínima puntuación (0 puntos).

Las sucesivas variantes de la alternativa 2 (2.1, 2.2 y 2.3) cada una con el espigón de separación más al Sur que la anterior, presentan longitud de playa de arena decreciente, ya que las playas de gravas quedan restringidas al sector al norte del mencionado espigón.

La alternativa 3.1.1 presenta dos tramos de playas de arena. El primero de ellos desde el Puerto de Burriana hasta Nules y el segundo desde el Sur de la gola de la Llosa hasta el Puerto de Sagunto.

Por último, la alternativa 3.1.2 presenta también dos tramos de playas de arena. El primero es una pequeña playa situada al Sur del Puerto de Sagunto y el segundo coincide con el descrito para la alternativa 3.1.1.

### **5.5.3.2. Criterios de durabilidad**

Todas las características geométricas valoradas en los criterios anteriormente descritos se corresponden con la configuración inicial de la playa inmediatamente después a la realización de la obra civil inicial propuesta.

Esta configuración inicial se puede ver alterada con el tiempo, bien sea por la propia naturaleza de la alternativa propuesta (playas en equilibrio dinámico) o por los efectos del cambio climático sobre la costa.

Para tener en cuenta estos factores se han incluido los siguientes criterios en relación a la durabilidad de las soluciones propuestas.

#### ***Vulnerabilidad frente al cambio climático***

En base a lo expresado en el capítulo 6 “Efectos del cambio climático en la costa” del proyecto de Asistencia técnica para el estudio integral de alternativas de actuación en el tramo de costa entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto”, los principales efectos del cambio climático sobre el tramo de costa de estudio son los relativos al ascenso del nivel medio del mar. Este ascenso del nivel medio del mar da lugar a un retroceso de la línea de costa que ha sido calculado en el mencionado capítulo 6.

En base a lo dicho en el mencionado capítulo 6 se le ha asignado una puntuación de 5 a la alternativa 1.2 ya que, en el caso de la variante aquí analizada a efectos comparativos (alternativa 1.2.b.e), no se prevé en ningún caso la reducción del ancho de playa seca por debajo del mínimo de diseño establecido.

Del mismo modo la alternativa 3.2 recibe 5 puntos, dado que el cambio climático no produce pérdidas significativas en el ancho de playa seca.

El resto de alternativas reciben 4 puntos ya que algunos tramos de las playas de Nules, La Torre y El Estanyol pueden ver reducido su ancho de playa seca ligeramente por debajo del mínimo establecido.

#### ***Mezcla del material de la playa***

Con anterioridad se ha mencionado la problemática actualmente existente que consiste en la progresiva invasión de las playas arenosas del Sur de la zona de actuación por parte de las gravas procedentes del Norte, como resultado del transporte litoral de sedimentos.



**DOCUMENTO PRELIMINAR**

El presente criterio pretende valorar el grado de éxito de cada una de las alternativas propuestas a la hora de frenar este fenómeno de mezcla de distintos materiales.

La alternativa 1.1, que da continuidad de la situación actual, no pone ningún freno a la progresiva ocupación de las playas por gravas por lo que recibe una puntuación nula.

La alternativa 1.2, requiere la utilización de un relleno masivo de arena de  $D_{50}=0.35$  mm en el Norte de la zona de actuación. Dado que la alternativa descrita no propone ninguna medida para evitar que las playas de arenas existentes al Sur de la zona de actuación, con un tamaño de grano considerablemente más fino ( $D_{50}\approx 0.2$ mm) se vean invadidas por el nuevo sedimento aportado al Norte, recibe una puntuación de 4 puntos.

El resto de alternativas contemplan la separación mediante espigones de las playas con distinto tipo de material por lo que reciben la máxima puntuación (5 puntos).

### **5.5.3.3. Afección a los usos**

Debido a las actuaciones previstas, bien sea de cara a la realización de la obra civil inicial necesaria o el mantenimiento a lo largo de la vida útil de la obra, los usos de la playa pueden verse afectados.

Los siguientes tres criterios pretenden valorar esta afección de cara a cada uno de los tres principales usos de la playa, los cuales son la protección de la costa, el uso lúdico de la propia playa y la función como hábitat natural de la misma.

Así mismo, se ha valorado la posibilidad de alterar los usos del suelo (fuera de la playa) con un cuarto criterio.

#### ***Afección a la función de protección de la costa de la playa***

En ningún momento se prevé una disminución en la función de protección de la costa respecto de la situación actual, ya que no se prevé la retirada de las escolleras actualmente existentes en las zonas más expuestas al oleaje, sino, en todo caso, la disposición de rellenos al frente de dichas escolleras.

Por lo tanto se ha optado por asignar la máxima puntuación a todas las alternativas propuestas, tanto en fase constructiva como en fase de explotación y mantenimiento.

Esto quiere decir que el criterio de afección a la función de protección de la costa no tiene relevancia a la hora de comparar unas alternativas con otras.

### ***Afección al uso lúdico de la playa***

La principal afección al uso lúdico de la playa se produce como consecuencia de los trabajos de construcción de espigones y escolleras en la línea de costa, y a que la ejecución por medios terrestres de estas obras requiere de superficies para el acopio de materiales en las proximidades de las obras y del acceso de maquinaria pesada a las mismas, resultando en actividades molestas para las personas y que influyen negativamente en la utilización de la playa como área pública de esparcimiento.

Además, la necesidad de llevar a cabo estos trabajos durante periodos de buen tiempo provoca su solape con las épocas de mayor ocupación de la playa por parte de bañistas y otros usuarios.

Por el contrario, los trabajos de dragado y relleno, generalmente se llevan a cabo por medios marítimos por lo que no requieren la ocupación de suelo, y de llevarse a cabo por medio terrestre (como la retirada de gravas o el relleno de la playa con gravas procedentes de cantera) se pueden realizar fuera del periodo de uso habitual de la playa, por lo que no afectan en la misma medida al uso lúdico de la playa que la construcción de espigones y escolleras.

Por este motivo se ha despreciado su efecto optándose por correlacionar la afección al uso lúdico de la playa durante la fase constructiva con la longitud total de espigones previstos a construir.

Por otro lado, como durante la fase de explotación los únicos trabajos a realizar consisten en movimientos de tierras, se ha estimado que la afección de estos al uso lúdico de la playa es nula.

Así la alternativa 3.2, para la que es necesaria la construcción de unos 19 500 metros lineales de espigones recibe 0 puntos, mientras que las alternativas 1.1 y 1.2, que no requieren de la construcción de ninguna escollera ni espigón, recibe 5 puntos.

### ***Afección a la función de hábitat natural de la playa***

Ninguna de las alternativas propuestas supone afección alguna a la función de la playa como hábitat natural de flora y fauna por lo que este criterio no tiene valor a efectos de comparación de las distintas alternativas.

### ***Afección a los usos del suelo***

Con el presente criterio se pretende cuantificar la afección a los usos, principalmente al uso residencial, del suelo que trasdosa la playa.

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

De las actuaciones previstas, aquellas que pueden provocar una mayor interferencia con el uso residencial del suelo que trasdosa la playa son las derivadas del tránsito de maquinaria para el movimiento de tierras por medios terrestres, que además de la producción de polvo y ruido pueden dificultar o restringir la movilidad de personas y vehículos en áreas cuyo uso predominante es el residencial.

Por ello, se ha estimado que la afección a los usos del suelo es proporcional al volumen de material transportado por medios terrestres, que incluye los materiales para la construcción de espigones así como la extracción de gravas y el relleno con gravas procedentes de cantera.

De forma aproximada se ha estimado el volumen de materiales para la construcción de espigones asumiendo una sección uniforme para todos los espigones de 10 m de ancho en coronación, 2 m de altura y talud 1:3, por lo que el área de la sección del dique resulta de 32 m<sup>2</sup>.

Cabe señalar que aunque solo se tendrán en cuenta aquellos trabajos que se encuentren en el entorno de los núcleos urbanos costeros existentes, el alto grado de ocupación humana de la costa de estudio, provoca que todos los trabajos previstos de estas características tengan lugar cerca de poblaciones o vías de comunicación muy próximas a poblaciones.

Así se estima que en fase constructiva la solución que más movimiento de tierras por medios terrestre requiere es la alternativa 3.2, recibiendo una puntuación nula, mientras que la alternativa 1.1, que inicialmente no requiere ningún movimiento de tierras, recibe 5 puntos.

Por el contrario, en fase de explotación y mantenimiento la alternativa 3.2 no requiere de ningún movimiento de tierras por medios terrestres, al igual que la alternativa 1.2, por lo que reciben la máxima puntuación (5 puntos). En el otro extremo, la alternativa 3.1.2 que es la que demanda un mayor volumen de regeneraciones periódicas a base de gravas procedentes de cantera recibe una puntuación nula.

#### **5.5.4. Criterios estéticos y ambientales**

##### ***Impacto paisajístico***

La cuantificación objetiva del impacto paisajístico no es posible ya que la apreciación del paisaje está sujeta a criterios subjetivos propios del espectador.

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

Para valorar el impacto paisajístico, es necesario establecer una valoración cualitativa basada en criterios como el grado de antropización de las playas, la interrupción de la línea del horizonte y la integración de las obras marítimas propuestas en el entorno.

Aunque no todos los procesos de antropización del paisaje tienen porqué dar lugar a un deterioro visual del mismo, se ha optado por valorar el impacto negativo sobre el paisaje en función del grado de antropización de la costa.

El trasdós de la playa se encuentra altamente antropizados ya que transcurre en gran medida por terreno urbano por lo que existen numerosas edificaciones, vías de comunicación y paseos marítimos.

Dado que las actuaciones previstas se limitan a la playa, todas las alternativas propuestas presentan un mismo grado de antropización en las áreas que trasdosan a la misma.

En lo que se refiere a la playa, sí existen diferencias entre una y otra alternativa en el grado de antropización, que se ha cuantificado en base al número y longitud de las obras, esto es espigones y escolleras, situados sobre la línea de costa.

El grado de antropización de cada alternativa se correlaciona por tanto con la longitud total de obras, tanto de nueva construcción como previamente existentes que se aprecian a lo largo de la línea de costa.

La alternativa más antropizada es la alternativa 3.2 que presenta una longitud total de casi 19 500 metros lineales de espigones, por ello recibe una puntuación de 0.

En el otro extremo, la alternativa 1.2, que es la que menos obras presenta, con una longitud total de espigones visibles de menos de 1 300 metros lineales, recibe 5 puntos.

### ***Carbon footprint***

De acuerdo a la siguiente figura obtenida a partir de datos de Weber y Matthews (2007) las emisiones de CO<sub>2</sub> que genera la construcción en Europa (Alemania) son del orden de 1 libra de CO<sub>2</sub> por cada dólar americano de coste de construcción.

DOCUMENTO PRELIMINAR

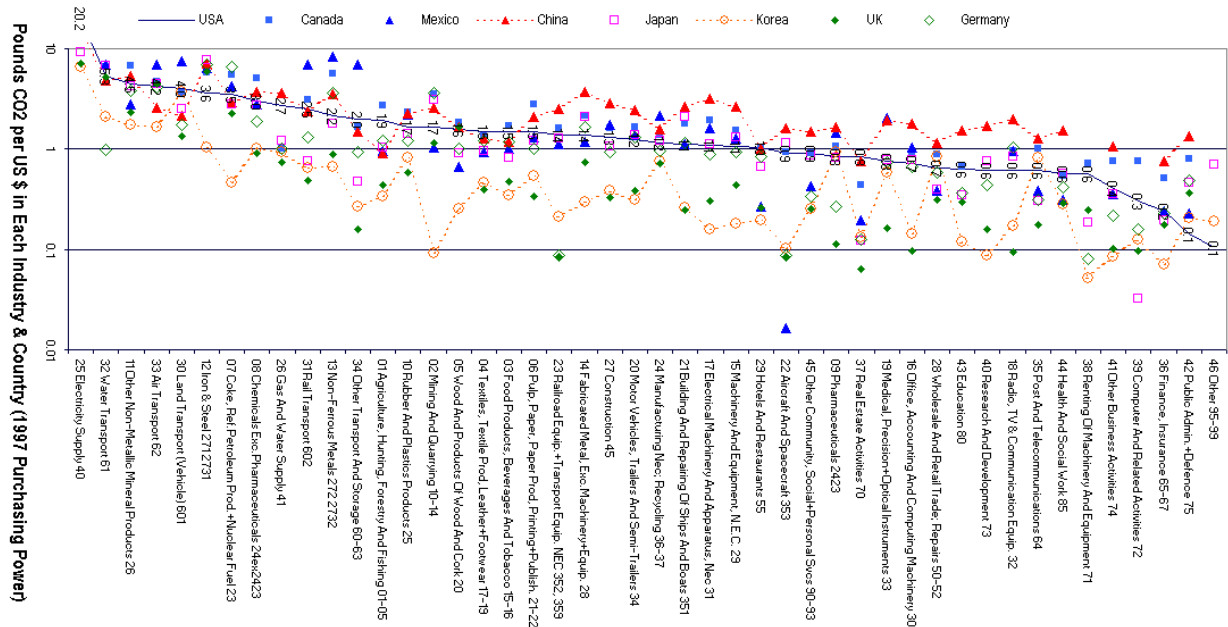


Figura 5.47 Estimación de emisiones de CO2. Fuente: CO2List.org, a partir de datos de Weber y Matthews (2007), "Embodied Environmental Emissions in US International Trade: 1997-2004." Environmental Science & Technology.

En base a los anteriores datos se ha estimado que la emisión de CO2 de cada alternativa es proporcional al presupuesto estimado de la misma.

El verdadero parámetro a considerar en la valoración del presente criterio es la emisión total de CO2 durante toda la vida útil de la obra, sin embargo, a modo ilustrativo se han separado las emisiones provocadas en fase constructiva y fase de explotación y mantenimiento. La puntuación asociada a este criterio es, por tanto, la suma de las dos puntuaciones en fase constructiva y de explotación.

Así la alternativa que conlleva una menor emisión de CO2 es la alternativa 1.1 y recibe 5 puntos (5 en la fase de construcción y 0 en la fase de mantenimiento, ya que todas sus emisiones se producen durante la fase de explotación).

Por el contrario la alternativa 3.2 es la que mayor cantidad de emisiones de CO2 produce y recibe una puntuación nula. Cabe destacar que todas sus emisiones se producen en la fase de construcción, ya que no requiere ninguna operación de mantenimiento.

**Afección a áreas de protección del patrimonio natural**

Además de las áreas de protección designadas existen poblaciones subacuáticas a proteger, las cuales corresponden principalmente con fanerógamas marinas, es decir, praderas de Posidonia Oceánica y Cymodocea Nodosa.

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

Dado que en el frente marítimo en el que se localiza la presente actuación estas comunidades se sitúan en todo caso por debajo de la línea batimétrica -5 m, no hay riesgo de afección a las mismas con los rellenos, dragados y espigones diseñados en ninguna de las alternativas propuestas.

En el entorno de la zona de actuación se encuentran numerosas áreas sujetas a diversos regímenes de figuras de protección como LIC (lugar de interés comunitario), ZEPA (zona de especial protección para las aves), humedales y microrreservas.

En concreto existen dos tramos de costa protegidos, el primero perteneciente a un LIC que recorre la costa desde Nules hasta Almenara, y el segundo perteneciente a una microrreserva en la playa de Casablanca.

Para evaluar comparativamente la afección de las distintas alternativas en fase constructiva a las áreas de protección del patrimonio natural se ha estimado la longitud de costa que se encuentra comprendida en alguna de las citadas áreas de protección y sobre la que se lleva a cabo alguna actuación de construcción de estructuras o ejecución de dragados y rellenos.

Así, las alternativas 1.2 y 3.2, que propone un relleno masivo que recorre toda la costa, incluyendo estas áreas de protección, reciben la mínima puntuación. Del mismo modo que las alternativas 3.1.1 y 3.1.2, que suponen la construcción de numerosos espigones y pequeños rellenos a lo largo de toda la costa protegida.

Por el contrario las alternativas 1.1 y 2.3 no conllevan la realización de ninguna actuación en fase constructiva en las áreas protegidas por lo que reciben la máxima puntuación (5 puntos).

La afección a las áreas de protección natural en fase de explotación y mantenimiento se evalúa en función del volumen de rellenos y dragados periódicos que se realizan en las áreas protegidas.

Así, la alternativa 3.2, que no requiere ninguna actividad de mantenimiento recibe la máxima puntuación (5 puntos), al igual que las alternativas 1.2 y 2.3, en las que todas las actuaciones de mantenimiento previstas se llevan a cabo fuera de las áreas protegidas.

Por el contrario la alternativa 2.2, prevé la gestión del mayor volumen de dragado y relleno dentro de las áreas protegidas por lo que recibe una puntuación nula.

***Afección a áreas de protección del patrimonio cultural***

Al Sur de la desembocadura del río Belcaire existen dos zonas designadas como áreas de protección del patrimonio cultural.

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

La primera de estas áreas corresponde al espacio en el que se localizó el yacimiento romano de L'Alqueria de Moncofar, definida como Área de vigilancia arqueológica. La última prospección superficial realizada no dio resultados arqueológicos positivos, pero no puede descartarse la continuación del citado yacimiento en el subsuelo puesto que todo este espacio ha sido fuertemente intervenido por la mano del hombre a través de los trabajos agrícolas y de intervenciones urbanísticas. El yacimiento de L'Alqueria corresponde a una posible villa romana cuya cronología se extiende entre los siglos III y IV, y en la que se han localizado estructuras pertenecientes a tres balsas, pavimentos de opus spicatum, tegulae e imbrices, terra sigillata africana, etc.

El segundo área de protección del patrimonio cultural corresponde a los restos en muy mal estado de conservación de la Torre Forçada, que se encuentran integrados en uno de las escolleras de protección costera en la playa de la Torre, al Sur de la desembocadura del río Belcaire. Se trata de una torre levantada en el s. XVII, de planta cuadrada de 7 x 7 metros, con soporte a modo de tronco de pirámide cuadrangular de amplia base y talud en derrame, realizada con aparejo de grandes bloques desbastados. Recibió el nombre de Isabel de Carrillo de D. Luís Carrillo de Toledo, marqués de Caracena, virrey y capitán general del Reino de Valencia, quien se lo puso en recuerdo de su primera esposa. Se cree que existen restos de la torre sumergidos en la propia línea de costa.



Figura 5.48 Localización de las áreas de protección del patrimonio cultural. Alternativa 3.1.

De todas las alternativas propuestas los únicos trabajos que pueden dar lugar a un deterioro de los posibles restos arqueológicos aún enterrados son los derivados de los



DOCUMENTO PRELIMINAR

dragados de mantenimiento para la alternativa 3.1 al norte del espigón de separación de los tramos 3 y 4.

Por este motivo se ha asignado a todas las alternativas la máxima puntuación excepto a las alternativas 3.1.1 y 3.1.2 a las que se ha asignado 3 puntos en la fase de explotación y mantenimiento.

### **5.5.5. Reparto de pesos por criterios**

A cada uno de los criterios descritos se le ha asignado distinto peso, de acuerdo a una valoración cualitativa de la importancia relativa de los mismos.

En primer lugar, por grupos de criterios se ha asignado el mayor peso a los criterios funcionales con un 80% del peso total, mientras que a los criterios económicos y estético-ambientales se les ha asignado un peso del 10% a cada grupo. Esto se debe a que una solución muy barata y con muy poco impacto ambiental no es deseable si no resuelve eficazmente la problemática existente, ya que el objetivo fundamental es dar solución a dicha problemática.

Dentro del grupo de los criterios económicos el coste total de la obra tiene un peso del 70% y el criterio de coste inicial un 10%. Los beneficios en forma de generación de empleo tienen un 20% en fase constructiva y 10% durante la explotación y mantenimiento de la obra respectivamente.

A la generación indirecta de empleo se le ha asignado un peso nulo debido a que se estima que todas las alternativas propuestas tienen la misma capacidad a este respecto por lo que este criterio no es útil en la evaluación comparativa de las mismas.

De los criterios funcionales los que hacen referencia a la geometría de la solución propuesta son los que se ha considerado que son más importantes y suponen un 52.5% del peso del grupo repartido a partes iguales entre la superficie total de playa seca, la longitud total de orilla con ancho de playa seca superior a 30 m y el porcentaje de playa de arena fina.

En cuanto a los criterios de durabilidad, debidos a la afección del cambio climático o a la mezcla de material de la playa, suponen cada uno de ellos el 12.5% del peso de los criterios funcionales.

En cuanto a los criterios funcionales que hacen referencia a los usos de la playa, hay un subconjunto con peso nulo ya que se ha considerado que no aportan información a la comparación de alternativas. Estos criterios son: la afección a la función de protección de la costa y de hábitat de la playa y la afección al uso lúdico de la playa en fase de explotación y mantenimiento. Del resto de criterios, el de uso lúdico de la playa en fase constructiva recibe un peso del 15%, mientras que los que hacen referencia al uso del

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

suelo que trasdosa la playa reciben un peso de 3.75% tanto en fase constructiva como en fase de explotación.

Del grupo de criterios estéticos y medioambientales el impacto paisajístico y las emisiones de CO2 equivalentes reciben un peso del 30%, mientras que la afección a las áreas de protección del patrimonio natural y cultural reciben un peso del 20%. Aquellos criterios que presentan distintos valores en fase constructiva que en fase de explotación reparten su peso al 50% entre las dos fases.

### 5.5.6. Matriz de evaluación comparativa de alternativas

A continuación se muestran las puntuaciones según todos los criterios considerados para cada una de las alternativas valoradas, los pesos asignados a cada alternativa y las puntuaciones agregadas para cada grupo de criterios y el total.

		1.1.b	1.2.a.e	2.1.b	2.2.b	2.3.b	3.1.1.b	3.1.2.b	3.2	Peso	
<b>Criterios económicos</b>	Coste total de la obra	5.00	2.77	3.68	4.09	4.23	2.66	3.13	0.00	0.7	
	Generación directa de empleo	0.00	1.44	0.80	0.51	0.41	1.29	1.38	5.00	0.2	
	Generación indirecta de empleo	2.11	2.07	2.46	2.63	2.63	5.00	3.29	0.00	0.1	
<b>Criterios funcionales</b>	Superficie total de playa seca disponible	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
	Longitud total de orilla con ancho > 30 m	0.61	1.98	0.00	0.00	0.00	0.66	0.66	5.00	1.40	
	% de superficie de playa seca de arena fina	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.70	0.70	5.00	1.40	
	Vulnerabilidad frente al cambio climático	0.00	5.00	1.80	1.14	0.59	1.38	0.79	5.00	1.40	
	Mezcla de material de la playa	4.00	5.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	1.00	
	Afección a la protección de la costa por parte de la playa	0.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	1.00	
	Afección al uso lúdico de la playa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
	Afección a la función de habitat de la playa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
	Afección a los usos del suelo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
	Afección a la función de habitat de la playa	5.00	3.66	0.47	2.28	3.62	1.88	0.60	0.00	0.30	
<b>Criterios estéticos y ambientales</b>	Impacto paisajístico	3.29	5.00	3.29	3.29	3.29	0.20	0.00	5.00	0.30	
	Emisiones de CO2 equivalentes (carbon footprint)	3.14	5.00	3.06	3.05	3.08	2.93	2.68	0.00	0.3	
	Afección a áreas de protección del patrimonio natural	5.00	0.60	1.38	2.07	2.36	1.33	1.22	0.00	0.15	
	Afección a áreas de protección del patrimonio cultural	0.00	2.17	2.30	2.01	1.87	1.33	1.90	0.00	0.15	
	Afección a áreas de protección del patrimonio cultural	5.00	0.00	4.90	4.89	5.00	0.00	0.00	0.00	0.1	
	Afección a áreas de protección del patrimonio cultural	4.29	5.00	0.34	0.00	5.00	3.01	2.93	5.00	0.1	
	Afección a áreas de protección del patrimonio cultural	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	Afección a áreas de protección del patrimonio cultural	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	3.00	3.00	5.00	0.2	
	<b>PUNTUACIÓN TOTAL SIN PESOS</b>		<b>47.44</b>	<b>54.64</b>	<b>43.42</b>	<b>44.88</b>	<b>51.02</b>	<b>38.15</b>	<b>34.82</b>	<b>45.00</b>	
	Criterios económicos		3.71	2.43	2.98	3.22	3.30	2.62	2.79	1.00	
Criterios funcionales		13.34	28.70	18.56	18.17	17.83	18.01	16.45	32.50		
Criterios estéticos y ambientales		3.62	3.41	3.00	3.02	3.56	2.18	2.16	1.50		
<b>PUNTUACIÓN TOTAL</b>		<b>20.68</b>	<b>34.55</b>	<b>24.53</b>	<b>24.41</b>	<b>24.69</b>	<b>22.80</b>	<b>21.40</b>	<b>35.00</b>		

Tabla 5.60 Matriz de evaluación comparativa de alternativas.

Se hace notar que el sumatorio de peso de los criterios funcionales es igual a 8 mientras que el sumatorio de los criterios económicos y estético-ambientales es igual a 1.

A la vista de la comparación realizada se observa que si bien la alternativa 1.1.b resulta la mejor desde un punto de vista económico y ambiental, dicha alternativa supone dar continuidad a la situación actual existente, por lo que no proporciona una solución de playas de arenas al total del tramo de costa considerado y resulta ser la alternativa más pobremente valorada.

DOCUMENTO PRELIMINAR

Por el contrario la alternativa 3.2, que según criterios económicos es la peor, presenta una gran eficiencia a la hora de resolver la problemática existente por lo que obtiene la mejor valoración. Sin embargo, cabe señalar que tanto la alternativa 1.2 como la alternativa 3.2 requieren un gran aporte de arena no existiendo, en la actualidad, bancos de arena con evaluación ambiental positiva disponibles. Consecuentemente, deben ser descartados, al menos hasta que los bancos de arena existentes puedan ser explotados.

Por lo tanto, de todas las alternativas propuestas aquellas que tienen una mejor valoración total, en base tanto a criterios económicos, como funcionales, estéticos y ambientales y que, además, no tienen grandes requerimientos de material de aportación son las alternativas 2.1.b, 2.2.b y 2.3.b.

Cabe señalar que las 3 variantes analizadas de la alternativa 2, que difieren entre sí en la localización del dique de separación entre los sectores de gravas y arenas, presentan puntuaciones muy similares por lo que en lo que a los criterios técnicos aquí analizados se refiere ninguna de ellas es claramente preferible a las otras. Por ello, la elección de una sobre otra podría llevarse a cabo en base a otros criterios (políticos, sociales, estratégicos,...).

## 5.6. Resumen final de resultados

A la vista de todo lo anterior se resumen los resultados obtenidos para las distintas alternativas.

En términos generales cabe destacar que de las alternativas que contemplan distintas variantes en función del periodo de tiempo que transcurre entre regeneraciones sucesivas, cuanto mayor es el periodo entre regeneraciones, menor es el presupuesto estimado para la variante debido al menor número de regeneraciones necesarias durante la vida útil de la obra. De este modo las variantes que proponen regeneraciones cada 5 años son entre un 2% y un 9% más baratas que las que proponen regeneraciones anuales.

De las alternativas que proporcionan playas de arena en toda la zona de actuación, la alternativa 1.2 propone la construcción de playas con un ancho de playa inicial uniforme de 20 m (entre 47.1 y 49 millones de €, en función de la periodicidad de las regeneraciones), 40 m (entre 69.3 y 71.2 millones de €) o 60 m (entre 92.8 y 94.7 millones de €) para las variantes 1.2.a, 1.2.b y 1.2.c respectivamente, mientras que la alternativa 3.2 propone playas con un ancho variable de entre 20 y 70 m (96 millones de €).

Huelga decir que, en todas las variantes de la alternativa 1.2, al tratarse de playas en equilibrio dinámico, existe una cierta variabilidad temporal del ancho de playa seca, que provoca que este ancho sea completamente uniforme solo inmediatamente después de cada una de las regeneraciones periódicas propuestas. En cambio, en la alternativa 3.2,

**DOCUMENTO PRELIMINAR**

al tratarse de playas estáticamente estables, el ancho de playa se mantiene constante a lo largo del tiempo.

Sin embargo, para conseguir playas estáticamente estables es necesaria la construcción de 70 espigones de 280 m de longitud media y 350 m de espaciamiento medio entre ellos, lo cual confiere un aspecto altamente antropizado a la línea de costa. Por el contrario en todas las variantes de la alternativa 1.2 la ausencia de obras rígidas en la costa ofrece una apariencia natural a las playas.

Cabe señalar que tanto la alternativa 1.2 como la alternativa 3.2 requieren un gran aporte de arena no existiendo, en la actualidad, bancos de arena con evaluación ambiental positiva disponibles. Consecuentemente, deben ser descartados, al menos hasta que los bancos de arena existentes puedan ser explotados.

De las alternativas que dan lugar a playas de perfil mixto grava-arena al Norte y playas solo de arena al Sur, es destacable que la alternativa 3.1 (separación en 7 tramos) tiene un coste de entre 40.1 y 50.9 millones de € según variante, muy superior al de la alternativa 2 (separación en 2 sectores), cuyos precios oscilan entre los 21.8 y 33.4 millones de € según variante.

Esto es debido a que al separar en un mayor número de tramos la zona de actuación se multiplica tanto el coste de los espigones a construir como el coste de los mecanismos de realimentación a mantener.

La alternativa 2 ofrece 3 posibles ubicaciones para el espigón de separación entre sectores, proporcionando mayor o menor longitud de playas de arena. El coste de estas variantes es tanto mayor cuanto mayor es la longitud de las playas de arena que se generan. Así la alternativa 2.1 (con 9 km de playas de arena) tiene un presupuesto de entre 31.2 y 33.4 millones de €, mientras que el de la alternativa 2.2 (con 6.2 km de playas de arena) es de entre 24.2 y 26.5 millones de € y el de la alternativa 2.3 (con tan solo 4.1 km de playas de arena) es de entre 21.8 y 24.1 millones de €.

Por último, es necesario destacar que la alternativa 1.1 supone dar continuidad a la situación actual existente, por lo que no proporciona una solución de playas de arenas al total del tramo de costa considerado y resulta ser la alternativa más pobremente valorada.



## **Anejo 1 Capítulo 6 del Documento Preliminar**

### **EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA**



## 6. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA

En este capítulo se pretende analizar los impactos en la costa producidos por efecto del cambio climático para cada una de las Alternativas de actuación propuestas en el capítulo 5 del presente documento.

### 6.1. Introducción

Para realizar el estudio de la prognosis de cambio en la dinámica costera a lo largo del siglo XXI y en concreto para el año horizonte establecido (2050), en primer lugar se deben determinar las tendencias de largo plazo de los agentes forzadores del litoral; esto es, los cambios en el nivel medio del mar, en la dinámica marina y en la dinámica sedimentaria.

A este respecto, los dos tipos de análisis de extrapolación que se pueden realizar consisten en:

- Determinar las tendencias históricas a lo largo del siglo XX, para poder realizar una extrapolación a un año horizonte de los cambios en base a dichas tendencias. De este modo la extrapolación al año horizonte asume que la tendencia de variación de las variables geofísicas es constante.

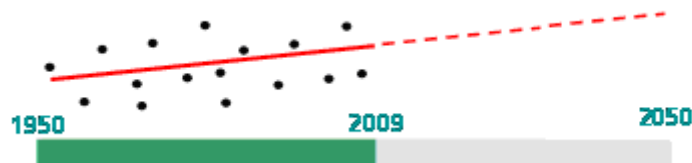


Figura 6.1 Análisis histórico de tendencias.

- Realizar prognosis de cambio para distintos escenarios de emisiones antropogénicas, cuantificando el cambio climático que previsiblemente se experimentará para cada escenario a partir de la diferencia en el clima de cada uno de los posibles escenarios futuros y el del escenario actual. Con estos escenarios se representa el cambio climático, tanto el debido a la incidencia de los humanos como el debido a la variabilidad natural del clima.

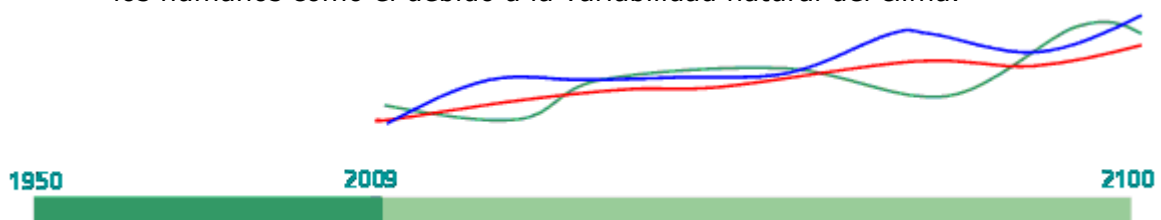


Figura 6.2 Proyección al siglo XXI para distintos escenarios.

**DOCUMENTO FINAL**

Para el primer tipo de análisis (tendencias históricas a lo largo del siglo XX), está claro que cuanto mayor sea la serie histórica disponible, mayor será la fiabilidad (significación estadística), de la predicción de la tendencia.

Lamentablemente, las series utilizadas en el análisis de la dinámica litoral y el transporte de sedimentos del presente estudio, véase capítulo 4 "Dinámica litoral", no son lo suficientemente extensas en el tiempo (1989-2008) como para poder predecir con alguna garantía de éxito lo que sucederá en el año horizonte 2050, ya que la detección de cambios en los forzamientos (vientos, olas, mareas, corrientes, etc.) que conforman los sistemas costeros o corridos en el pasado requiere la utilización de registros de variables oceanográficas de gran duración (al menos 40-50 años). Por este motivo, se han conseguido series de una duración mayor (del año 1948 al año 2008) con el objetivo de la determinación de las tendencias de largo plazo en los forzamientos de las variables geofísicas o oceanográficas de interés, e indirectamente, por tanto, para establecer la variación debida al cambio climático de dichas variables al año horizonte considerado (2050). A hora bien, a l m argen d e l as i nevitables i ncertidumbres q ue c onlleva t o da prognosis de futuro en el ámbito del cambio climático, las conclusiones extraídas a partir de esta información han de considerarse con la suficiente cautela.

En el marco del segundo tipo de análisis, de cara al establecimiento de la tendencia de ascenso del nivel medio del mar, en el presente documento se han tenido en consideración las prognosis de cambio para distintos escenarios de cambio climático contemplados en el tercer informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (véase figura 6.3, IPCC, 2000). Lógicamente, la extrapolación realizada está sujeta a una serie de hipótesis que hace que los resultados se deban tratar con cautela. Un estudio más detallado requeriría la realización de análisis complementarios encaminados a la proyección a l s iglo X XI p ara d istintos e escenarios, t eniendo e n c uenta l a s d istintas emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del siglo XXI, lo cual sin embargo escapa del alcance del presente documento.

En definitiva, la metodología empleada se puede considerar como un sistema híbrido, consistente en la extrapolación de las tendencias de largo plazo de las dinámicas marinas, es decir oleaje y marea meteorológica (GIOC, 2004), al año 2050 y la proyección de ascenso de nivel medio del mar global a razón de 0.003 m/año para el escenario A1B del IPCC (2000) al mismo año horizonte 2050.

Para finalizar se evalúan los indicadores de impacto, es decir, se integra la información obtenida para la variabilidad de los forzamientos con el fin de obtener indicadores representativos de procesos que van a tener incidencia sobre el sistema natural o socioeconómico. En este estudio se han considerado los siguientes indicadores de cambio climático:

- Cota de Inundación de las playas.
- Profundidad de cierre del perfil activo de la playa.
- Tasa de transporte potencial de sedimentos.

**DOCUMENTO FINAL**

- Retroceso de la línea de costa por ascenso del nivel medio del mar.
- Retroceso de la línea de costa por variaciones en el flujo medio de energía del oleaje.

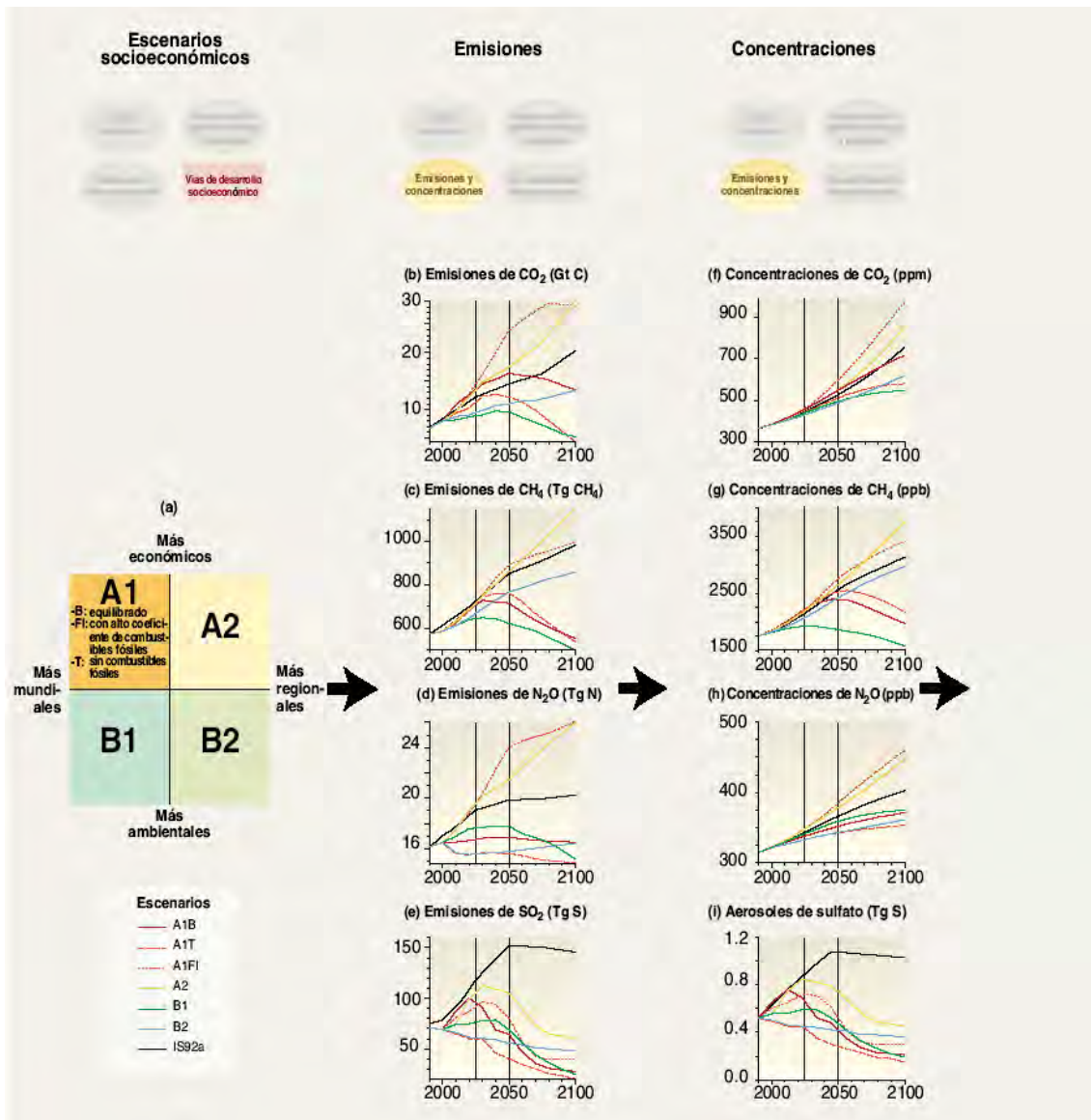


Figura 6.3 Evolución de las emisiones y concentraciones para los distintos escenarios (IPCC, 2000).

Todos ellos dirigidos a determinar la evolución debida a los fenómenos derivados del cambio climático del transporte de sedimentos y de la línea de costa, para cada una de las alternativas propuestas en el capítulo anterior del presente documento (Capítulo 5 "Alternativas de actuación") desde la actualidad (año 2009) hasta el año horizonte (2050). Para finalmente proponer medidas correctoras de los efectos negativos que el cambio climático pueda producir en la costa en el caso en que se estimen necesarias.



**DOCUMENTO FINAL**

A pesar de que la redacción del presente documento se lleva a cabo en el año 2011, a efectos del estudio de cambio climático, ha sido necesario considerar como año presente el 2009. Esto se debe a que la información disponible (topo-batimetría, granulometría de sedimentos, oleaje,...) para dicha redacción data del 2009, como fecha más reciente.

## **6.2. Evolución histórica de la dinámica costera del siglo XX**

Al objeto de establecer tendencias de largo plazo, se ha analizado la dinámica costera a lo largo del siglo XX, analizándose una serie de variables. El objetivo de este análisis de tendencias de largo plazo es su extrapolación para la prognosis al año horizonte (2050) de las variables de clima marítimo de interés para evaluar los efectos del cambio climático sobre la costa.

En este apartado se indican los datos de partida, las variables analizadas, así como las metodologías empleadas en la determinación de tendencias, para finalmente presentar los resultados obtenidos.

### **6.2.1. Fuente de datos**

Como ha sido comentado en apartados previos, la necesidad de disponer de series de más larga duración, ha sido el motivo de la utilización de las fuentes de datos, para el establecimiento del oleaje, así como la marea meteorológica, que a continuación se enumeran.

#### ***6.2.1.1. Oleaje (reanálisis GOW 1.1, Global Ocean Waves)***

IH Cantabria ha generado numéricamente una base de datos horaria de oleaje de 61 años de duración (1948-2008) que cubre homogéneamente las costas de todo el territorio Español, con una resolución espacial de  $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ . Dicho reanálisis, denominado GOW 1.1 (Global Ocean Waves) se ha ejecutado con el modelo WaveWach III (Tolman 2002, 2003) utilizando como forzamiento los vientos del downscaling dinámico SeaWind NCEP.

Los vientos del downscaling dinámico denominado SeaWind NCEP han sido ejecutados con el modelo WRF-ARW 3.1.1 (Weather Research and Forecasting, WRF, y Advanced Research dynamical solver, ARW) forzados con los campos de viento y presión del NCEP/NCAR (1948-2009), obteniéndose una base de datos horaria de viento de aproximadamente 30 Km de resolución espacial.

Se ha calibrado la base de datos GOW 1.1 con información instrumental (todos los datos de las 6 misiones de satélites que van desde 1992 hasta 2008). Para ello se ha utilizado

**DOCUMENTO FINAL**

una técnica de calibración no lineal basado en la agregación direccional de cuantiles (Minguez et al., 2011).

Dentro de esta base de datos el único punto con el que se ha contado para la realización de este trabajo ha sido el que aparece localizado en la figura 6.4, siendo sus coordenadas 39.625 N °, 0° E y encontrándose a una profundidad aproximada de 80 m.

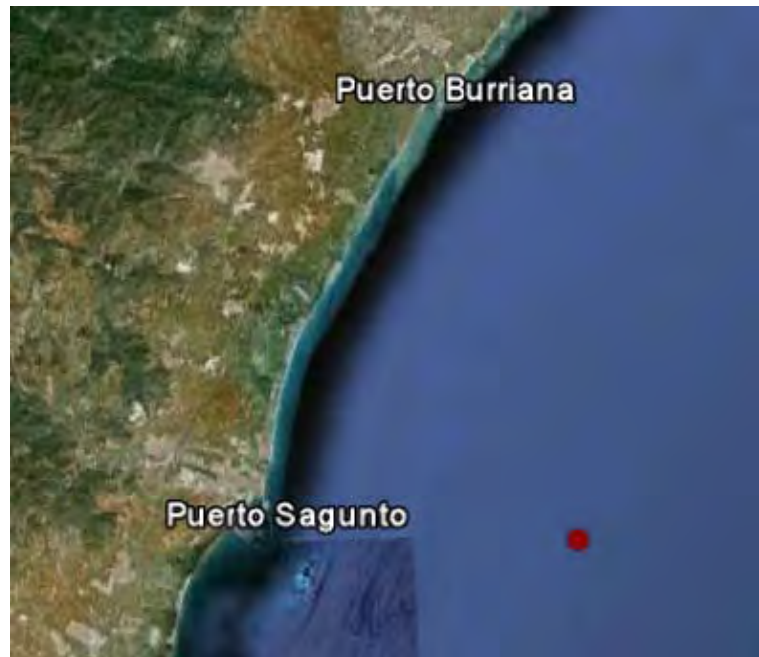


Figura 6.4 Localización del nodo considerado del GOW 1.1 (SW-NCEP).

### 6.2.1.2. Marea meteorológica (reanálisis GOS 1.1, Global Ocean Surges)

La marea meteorológica (*storm surge*) es la sobreelevación del nivel del mar debida a la tensión tangencial que ejerce el viento sobre una masa de agua y a los gradientes de presión atmosférica. Esta sobreelevación es uno de los sumandos para calcular el nivel del mar y su importancia relativa, respecto a la marea astronómica y otros factores, depende de la zona geográfica analizada.

La base de datos GOS 1.1 (*Global Ocean Surges*) desarrollada por IH Cantabria, comprende el reanálisis de marea meteorológica de 60 años (1948-2009) de alta resolución realizado en el Sur de Europa. El reanálisis proporciona datos de marea meteorológica calculados con una resolución espacial de 1/8° (~ 13 km) y una resolución temporal horaria. El área de estudio engloba el Sur de Europa, desde 20°W a 37°W en longitud y desde 25°N a 46°N en latitud, incluyendo el Mar Mediterráneo y la Costa Atlántica Española.

**DOCUMENTO FINAL**

Dicho reanálisis ha sido realizado con el modelo tridimensional de circulación ROMS (Regional Ocean Modeling System) desarrollado por el Ocean Modeling Group de Rutgers (Shchepetkin y McWilliams, 2005). Debido a que el modelo incluye algoritmos físicos y numéricos altamente eficientes y precisos, en la actualidad está siendo ampliamente utilizado por la comunidad científica.

El modelo ROMS resuelve de forma numérica las ecuaciones conocidas como ecuaciones primitivas, en las que asume que la presión sigue una ley hidrostática. Las ecuaciones primitivas engloban la ecuación de conservación de cantidad de movimiento, la de conservación de la masa, la de transporte de distintas sustancias como la temperatura y la salinidad, y la ecuación de estado para el cómputo de la densidad del agua. En este estudio, dado el carácter barotrópico del fenómeno a resolver, se ha utilizado la versión 2D del modelo.

El modelo ha sido forzado con datos de viento y presión atmosférica de alta resolución (~30 km) procedentes del *downscaling* dinámico realizado en el marco del proyecto SEAWIND (Fita et al., 2009). Dicho reanálisis utiliza el modelo WRF-ARM forzado con datos del reanálisis NCEP (1948-2009).

Dentro de esta base de datos, se ha utilizado para la realización de este trabajo el punto que aparece localizado en la figura 6.5, siendo sus coordenadas 39.525 N°, 0.25° W.



Figura 6.5 Localización del nodo considerado del GOS 1.1 (SW-NCEP).

### **6.2.2. Variables analizadas**

Las variables analizadas (tanto del régimen medio como del régimen extremal) en el estudio de tendencias de largo plazo se presentan a continuación. Son variables muy utilizadas en ingeniería de costas, que aportan información sobre los efectos que puede causar un cambio de estas magnitudes en las playas y en el análisis funcional del diseño de estructuras marítimas.

#### ***Variables de régimen medio***

- Altura de ola significativa media,  $H_{s \text{ media}}$ .
- Dirección del flujo medio de energía,  $\theta_{FME}$ .
- Altura de ola significativa excedida 12 horas al año,  $H_{s12}$ .

#### ***Variables de régimen extremal***

- Altura de ola significativa,  $H_{s \text{ Tr}}$ .
- Marea meteorológica,  $MM_{\text{Tr}}$ .

### **6.2.3. Metodologías**

A partir de las series se determinó las tendencias que las variables de interés han ido experimentando en el pasado, con el fin de intentar identificar los posibles efectos que el cambio climático causó sobre las mismas.

Las metodologías para el análisis de tendencias son diferentes en función de si se analiza una variable de régimen medio o bien una variable de régimen extremal.

#### ***Variables de régimen medio***

La estadística del oleaje, que se realiza con parámetros de estados de mar  $H_s$ ,  $T_z$ ... y que facilita la información estadística de un determinado parámetro de estado de mar en un período de tiempo determinado (mes, estación, año), se denomina *régimen medio* de dicho parámetro. Así, por ejemplo, el régimen medio de altura de ola significativa anual de un lugar determinado permite calcular la probabilidad de que una determinada altura de ola no sea superada en el año en ese lugar.

Por lo tanto, el régimen medio anual de un parámetro de estado de mar es la distribución media de dicho parámetro en el año o distribución de  $H_s$  a lo largo de los años.

Usualmente el análisis de tendencias para una variable,  $Vble$ , es del tipo  $Vble(t) = a + b_{LT}t$ , donde el objetivo es encontrar si el parámetro  $b_{LT}$  es significativo, con

**DOCUMENTO FINAL**

tendencia positiva (+) o negativa (-). Así pues, el análisis de tendencias en el tiempo para variables de régimen medio se ha realizado para cada variable estableciendo el valor anual de la misma y ajustando una recta. La tendencia es la pendiente de dicha recta, siendo las unidades de dicha tendencia, unidades de la variable analizada por año. Además de la determinación de esta tendencia es importante establecer si es o no significativa estadísticamente

***Variables de régimen extremal***

Como la estructura de la recopilación de la información está establecida en estados de mar, la información estadística extremal del oleaje, que se denomina régimen extremal del parámetro del oleaje correspondiente, se encuentra disponible en parámetros de estados de mar. De esta manera, el régimen extremal de altura de ola significa que representa la probabilidad de que el valor máximo de dicho parámetro en un período de tiempo no supere un valor determinado. El modelo propuesto para ajustar es la distribución generalizada de extremos (GEV), que engloba las tres posibles familias de funciones de distribución para extremos: Weibull, Gumbel y Fréchet. La distribución GEV tiene la expresión:

$$H(z; \mu(t), \psi(t), \xi(t)) = \exp \left\{ - \left[ 1 + \xi(t) \left( \frac{z - \mu(t)}{\psi(t)} \right)^{-1/\xi(t)} \right] \right\},$$

donde  $\mu(t)$  es el parámetro de localización,  $\psi(t) > 0$  es el parámetro de escala y  $\xi(t)$  es el parámetro de forma que determina la naturaleza de la cola de la distribución. Si  $\xi(t) \rightarrow 0$ , la distribución GEV tiende a una Gumbel:

Para la selección de eventos extremos se ha utilizado el método POT (así se mitiga el problema de falta de datos derivado de la elección de un único evento al año que es lo que se hace con el Método de Máximos Anuales). La idea básica de este método es elegir un umbral alto,  $u$ , y estudiar las propiedades estadísticas de todas las excedencias sobre  $u$ ; en particular el número de excedencias sobre  $u$  para un período de tiempo dado, la distribución de las excedencias en un año y la cantidad por la que es excedida el umbral.

Se asume que el número de excedencias sobre el nivel  $u$  en cualquier año dado sigue una distribución de Poisson con media anual  $\lambda = \nu \cdot T$ , donde  $\nu$  es la tasa de eventos ( $\text{año}^{-1}$ ) y  $T = 1$  año:

$$P_0(\nu) = \exp(-\nu) \frac{\nu^x}{x!}$$

**DOCUMENTO FINAL**

Y las excedencias sobre el umbral  $y > 0$  se modelan utilizando la función Generalizada de Pareto (GPD *Generalized Pareto Distribution*) dada por:

$$G(y; \sigma, \xi) = \begin{cases} 1 - (1 + \xi y / \sigma)^{-1/\xi} & \xi \neq 0 \\ 1 - \exp(-y / \sigma) & \xi = 0 \end{cases}$$

donde  $\sigma > 0$  es el parámetro de escala y  $\xi$  es el parámetro de forma de la distribución GEV. La combinación del modelo de Poisson para frecuencias y el modelo GPD para intensidades se puede expresar en una forma compatible con la distribución GEV para los máximos anuales de la siguiente forma (*Smith 2001*):

$$\Pr\left\{\max_{1 \leq i \leq N} Y_i \leq x\right\} = \Pr\{N = 0\} + \sum_{n=1}^{\infty} \Pr\{N = n, Y_1 \leq x, \dots, Y_n \leq x\} = e^{-\lambda} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!} \left\{1 - \left(1 + \xi \frac{x - u}{\sigma}\right)^{-1/\xi}\right\}^n$$

De esta expresión surge la siguiente relación entre variables de los modelos POT y GEV:

$$\sigma = \psi + \xi(u - \mu)$$

$$v = \left(1 + \xi \frac{(u - \mu)}{\psi}\right)^{-1/\xi}$$

Para que los datos elegidos al aplicar el umbral cumplan las características necesarias para distribuirse según Pareto, habrá que elegir un valor del umbral lo suficientemente alto para asegurar que los eventos elegidos presentan una tendencia decreciente, tal y como establece Pareto sobre la cola de la distribución. En este estudio se ha elegido como umbral el valor de altura de ola del 98 % ( $H_s 98\%$ ).

Por otra parte, la elección de los datos también tiene que contemplar el ajuste de Poisson, para ello se establece una independencia mínima entre temporales, de forma que solo se cogerán los datos que superen el umbral y que estén dentro de temporales separados un número de  $n$  días. Para este caso, se ha tomado como independencia entre temporales  $n=3$  días.

En la descripción hecha hasta ahora del modelo GPD-Poisson los parámetros se consideran constantes, es decir, se trata de una función estacionaria; el análisis de las duraciones extremas y de las excedencias permite ver una variación fuerte de sus valores a lo largo del año. Se puede considerar un modelo dependiente del tiempo que intentará modelar la estacionalidad, interanualidad y tendencia de largo plazo.

La forma de modelar esto es permitiendo que los parámetros del modelo sean dependientes del tiempo, por lo que  $v(t) > 0$ ,  $\sigma(t) > 0$  y  $-\infty < \xi(t) < \infty$  deberán variar a

**DOCUMENTO FINAL**

lo largo del año. De la misma forma, la distribución GEV hereda esta dependencia del tiempo de sus parámetros  $-\infty < \mu(t) < \infty$ ,  $\psi(t) > 0$  y  $-\infty < \xi(t) < \infty$ .

En este trabajo sólo se ha modelado la posible existencia de una tendencia de largo plazo. Para el caso presente del método POT la tendencia de largo plazo se ha modelado mediante una función exponencial del tipo:

$$\exp(\beta_{LT}t)$$

Esta función se introduce en el parámetro de localización multiplicando éste parámetro por  $\exp(\beta_{LT}t)$ . Los términos exponenciales tienen la propiedad de, para variaciones muy pequeñas de la tendencia ( $\beta_{LT} \rightarrow 0$ ), la exponencial  $\exp(\beta_{LT}t)$  es aproximadamente equivalente a  $1 + \beta_{LT}t$ , por lo que  $100\beta_{LT}$  puede ser considerado como un porcentaje de la variabilidad, cuando  $t$  está dado en años.

#### **6.2.4. Resultados**

En este apartado se presentan los resultados obtenidos para las tendencias de largo plazo de las variables indicadas en el apartado 6.2.2. Asimismo, también se indica en el caso de las variables de régimen medio si la tendencia es o no es significativa al 95 %, y en el caso de las variables de régimen extremal el grado de significancia de la tendencia.

#### ***Tendencias de altura de ola significativa media, $H_{s\ media}$ .***

En la figura 6.6 se muestra la tendencia de la altura de ola significativa media anual en indefinidas. Tal y como puede apreciarse en dicha figura, la tendencia de esta variable es de  $-0.0316$  c m/año (negativo significa disminución). Sin embargo, en la figura 6.6 también se presentan los valores de las bandas de confianza superior e inferior al 95 %, a partir de los que puede establecerse que la tendencia de la altura de ola significativa media anual no es significativa al 95 %. Por consiguiente, no se va a considerar en el presente trabajo variaciones de dicha variable para el año horizonte 2050.

**DOCUMENTO FINAL**

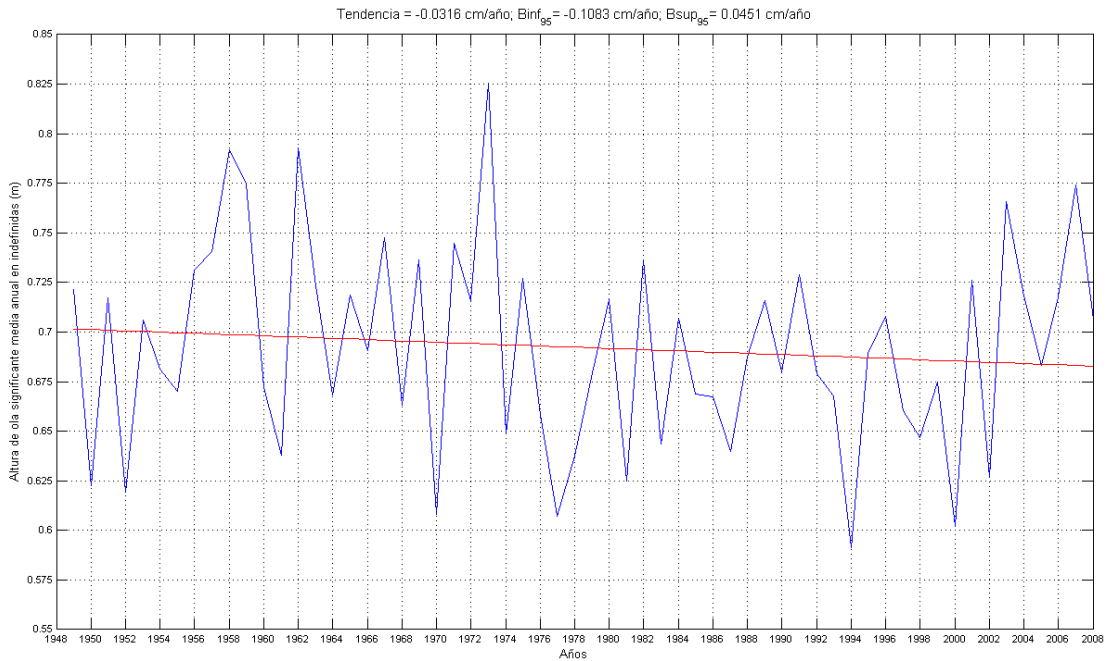


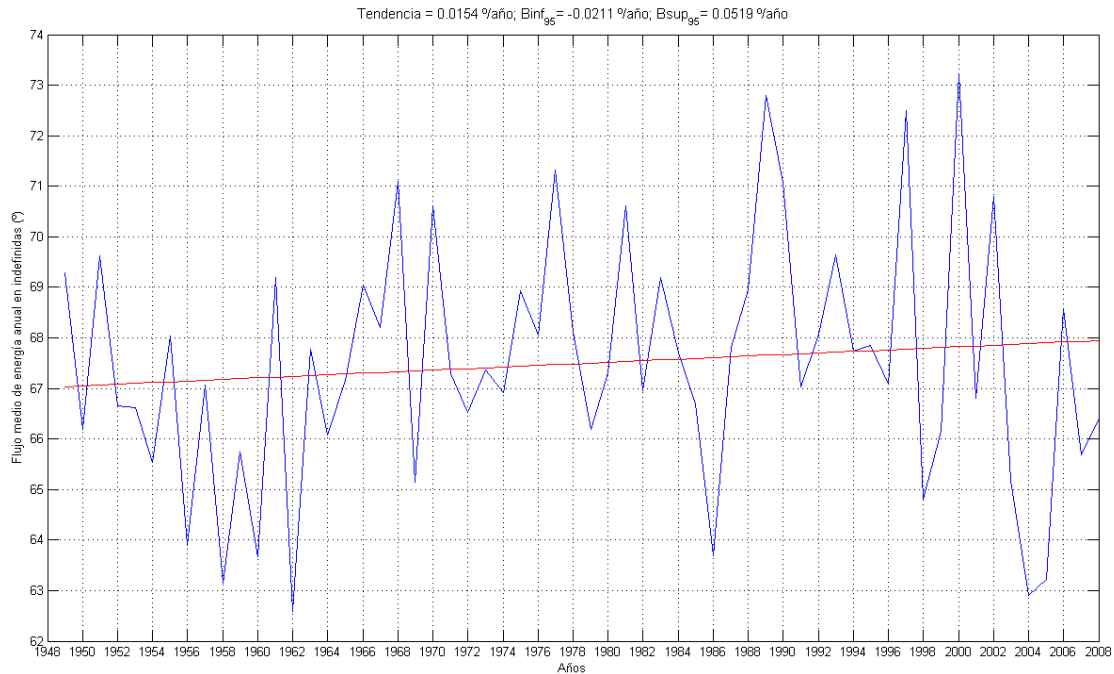
Figura 6.6 Tendencia de altura de ola significativa media anual en indefinidas.

**Tendencias de la dirección del flujo medio de energía,  $\theta_{FME}$ .**

En la figura 6.7 se muestra la tendencia de la dirección del flujo medio anual de energía en indefinidas. Tal y como puede apreciarse en dicha figura, la tendencia de esta variable es de 0.0154 °/año (positivo significa con sentido horario). Sin embargo, en la figura 6.7 también se presentan los valores de las bandas de confianza superior e inferior al 95 %, a partir de los que puede establecerse que la tendencia de la dirección del flujo medio anual de energía no es significativa al 95 %. Por consiguiente, no se va a considerar en el presente trabajo variaciones de dicha variable para el año horizonte 2050.



**DOCUMENTO FINAL**



Figura

6.7 Tendencia del flujo medio de energía anual en indefinidas.

***Tendencias de altura de ola significativa excedida 12 horas al año,  $H_{s12}$ .***

En la figura 6.8 se muestra la tendencia de la altura de ola significativa excedida 12 horas al año en indefinidas. Tal y como puede apreciarse en dicha figura, la tendencia de esta variable es de  $-0.4528$  cm/año (negativo significa disminución). Sin embargo, en la figura 6.8 también se presentan los valores de las bandas de confianza superior e inferior al 95 %, a partir de los que puede establecerse que la tendencia de la altura de ola significativa excedida 12 horas al año no es significativa al 95 %. Por consiguiente, no se va a considerar en el presente trabajo variaciones de dicha variable para el año horizonte 2050.

**DOCUMENTO FINAL**

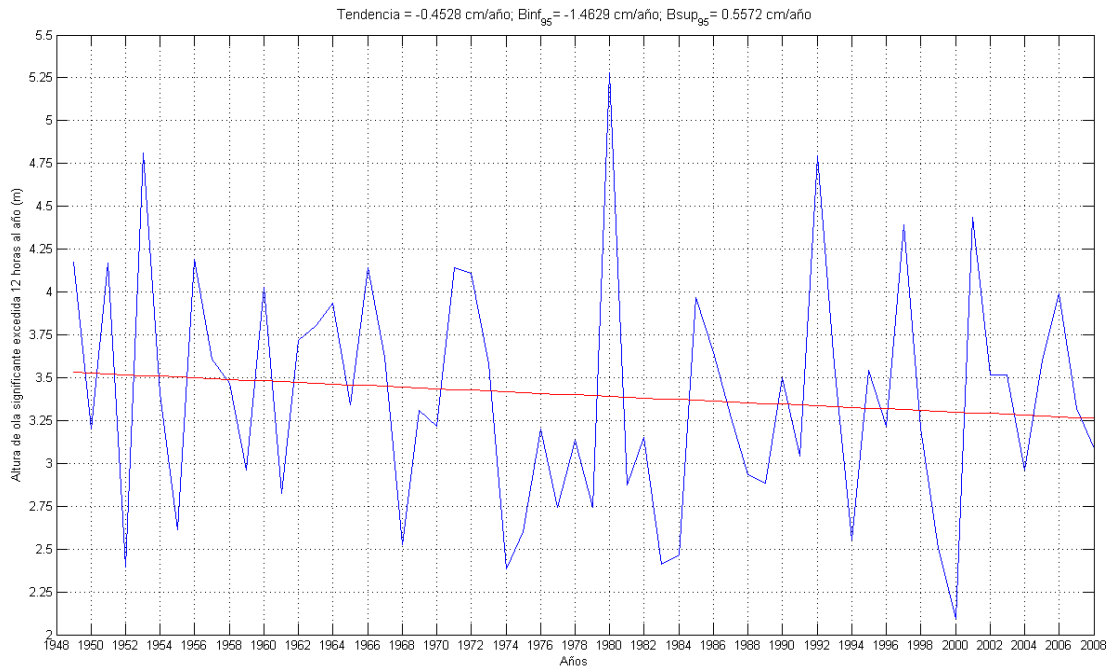


Figura 6.8 Tendencia de la altura de ola significativa excedida 12 horas al año en indefinidas.

**Tendencias de altura de ola significativa extremal,  $H_{s Tr}$ .**

En la figura 6.9 se muestra la tendencia de la altura de ola significativa extremal en indefinidas. En esta figura además de los eventos extremos establecidos con el método POT, también se muestra el cuantil de período de retorno de 50 años. Tal y como puede apreciarse en dicha figura, la tendencia de esta variable es de 0.088 cm/año (positivo significa aumento). Sin embargo, en la figura 6.9 también se presenta el grado de significancia estadística de esta tendencia que es del 41.57 %. Al ser la significancia estadística inferior al 95 %, puede establecerse que la tendencia de la altura de ola significativa extremal no es significativa al 95 %. Por consiguiente, no se va a considerar en el presente trabajo variaciones de dicha variable para el año horizonte 2050.

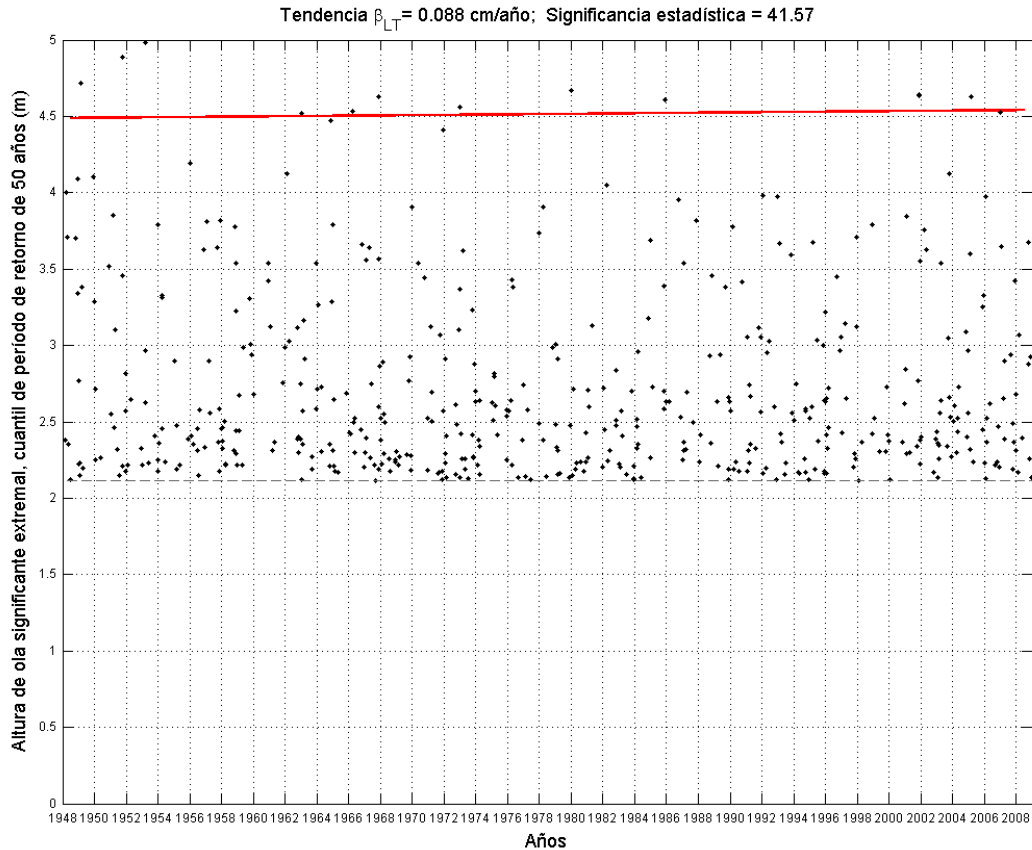


Figura 6.9 Tendencia de la altura de ola significativa extremal en indefinidas, cuantil de período de retorno de 50 años.

### ***Tendencias de marea meteorológica extremal, $MM_{Tr}$ .***

En la figura 6.10 se muestra la tendencia de la marea meteorológica extremal. En esta figura además de los eventos extremos establecidos con el método POT, también se muestra el cuantil de período de retorno de 50 años. Tal y como puede apreciarse en dicha figura, la tendencia de esta variable es de  $-0.06034$  cm/año (negativo significa disminución). En la figura 6.10 también se presenta el grado de significancia estadística de esta tendencia que es del 98.95 %. Al ser la significancia estadística superior al 95 %, puede establecerse que la tendencia de la marea meteorológica extremal es significativa. Por consiguiente, en el presente trabajo se va a considerar variaciones de dicha variable para el año horizonte 2050.

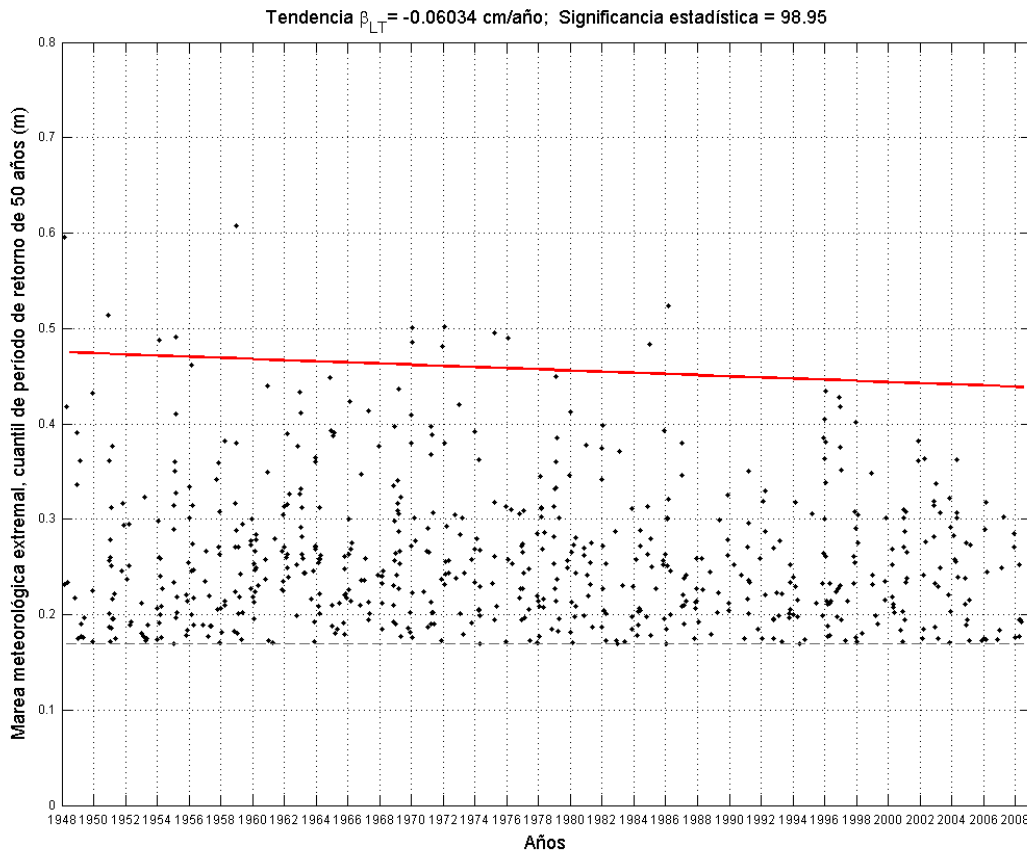


Figura 6.10 Tendencia de la marea meteorológica, cuantil de período de retorno de 50 años.

### 6.3. Impactos en la costa

A partir del análisis de tendencias de largo plazo de las variables oceanográficas de interés se han estimado las variaciones debidas al cambio climático que experimentan los siguientes indicadores:

- Cota de Inundación de la playa.
- Profundidad de cierre del perfil activo de la playa.
- Tasa de transporte potencial de sedimentos.
- Retroceso de la línea de costa por ascenso del nivel medio del mar.
- Retroceso de la línea de costa por variaciones en el flujo medio de energía del oleaje.

Todo ello, de cara a la estimación de la afección del cambio climático al año horizonte (2050) en el tramo de costa de estudio para cada una de las alternativas propuestas en el capítulo anterior del presente documento.

### 6.3.1 Cota de inundación, $CI_{Tr}$

El fenómeno de inundación en una playa puede ser representado de acuerdo al siguiente esquema.

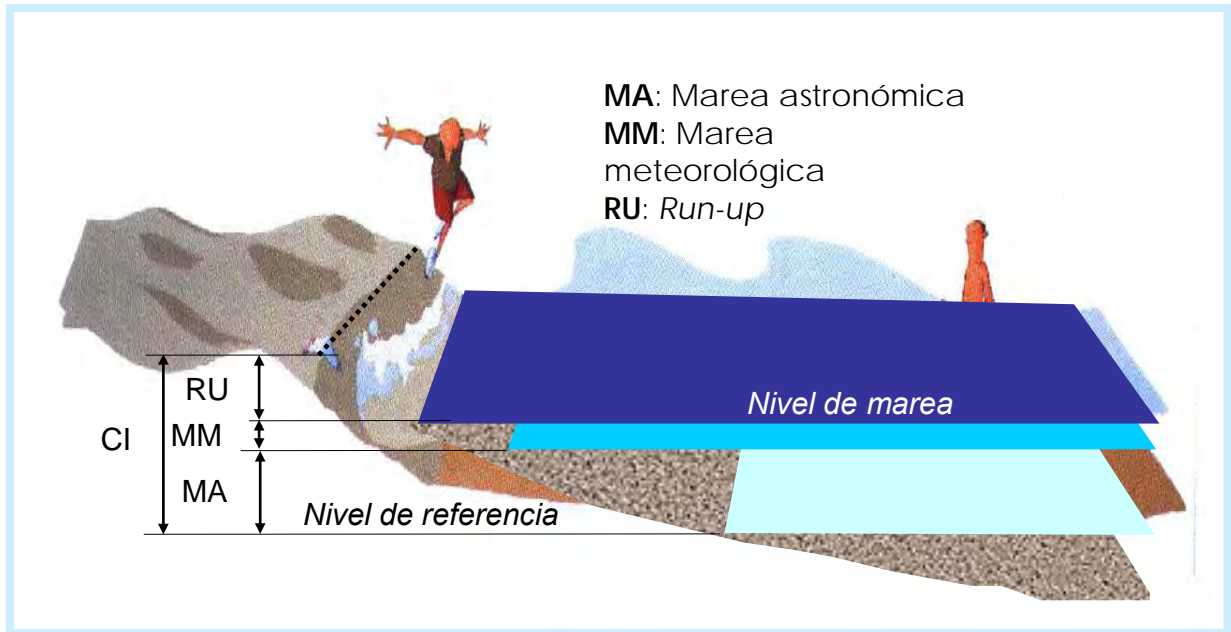


Figura 6.11 Factores que determinan la cota de inundación en una playa.

Por lo tanto, se considera que en un instante de tiempo determinado la cota de inundación en una playa es el resultado de la suma lineal de los parámetros mostrados en la figura 6.11, es decir:

$$CI = NMM + MA + MM + Ru$$

Donde:

- CI= Cota de inundación (m).
- NMM= Nivel medio del mar de referencia (m).
- MA= Marea astronómica (m).
- MM= Marea meteorológica (m).
- Ru= Run-up (m).

Para el cálculo de tendencias se va a considerar, tal y como se expresa en la siguiente ecuación, que la tendencia de la cota de inundación es la suma de la tendencia del nivel medio y la tendencia de la cota de inundación respecto a una referencia fija en el tiempo. Como la determinación de la tendencia del nivel medio se ha establecido en otros apartados, este apartado se dedica a la determinación de la tendencia de la cota de

**DOCUMENTO FINAL**

inundación respecto a una referencia fija en el tiempo, que será denotada a partir de ahora como CI\*.

$$\text{Tendencia CI} = \text{Tendencia NMM} + \text{Tendencia CI}^*$$

### ***Marea astronómica (MA)***

La marea astronómica es la variable determinista que interviene en la cota de inundación, esto es, en todo momento su valor puede ser predicho. La MA se define como el conjunto de movimientos de ascenso y descenso del nivel del mar con períodos próximos a las 12 ó 24 horas que se producen por los efectos gravitacionales del sistema tierra-luna-sol. El resto de planetas también intervienen, pero en menor medida. La amplitud de la MA en el litoral español depende del lugar, siendo de 4 m en el litoral cantábrico, 2.5 m en la costa atlántica y de pocos centímetros para el caso del Mar Mediterráneo, que es el caso del presente trabajo.

Generalmente, el estudio de la MA se hace mediante un análisis de componentes armónicas, es decir, la onda de marea se divide en una suma de varias ondas de distintas frecuencias, en teoría, cada una de ellas forzada por un planeta ficticio. A partir de un registro de varios años, es posible extraer las componentes armónicas del mismo y, a partir de éstas, hacer una predicción de la marea para un instante determinado.

Al tratarse la onda de marea de una onda larga, la oscilación del nivel medio toma especial relevancia cuando se amplifica por efecto de los contornos: fondo, línea de costa, bahías, estuarios, etc. Es en estos lugares donde están localizados los mareógrafos que registran el oleaje, por lo que la onda llegará alterada, siendo representativa de la zona próxima, pero no de otros lugares más lejanos.

Para la determinación de la serie de MA en el tramo de Burriana-Sagunto, se ha realizado un análisis armónico con el programa T-Tide (Paulowicz et al (2002)), a partir del registro del mareógrafo de Valencia, como se indicó en el Capítulo 3 de este estudio. Una vez obtenidas, las componentes armónicas en la zona, se ha realizado la simulación desde 1948 a 2008, incluyendo la corrección nodal, necesaria para períodos tan largos.

### ***Marea meteorológica (MM)***

La marea meteorológica (MM) es otra de las variables, en este caso aleatoria, que afecta a la cota de inundación. Este fenómeno consiste en la sobrelevación del nivel del mar debido a las variaciones de presión o viento, en este caso, provocados por fenómenos meteorológicos en el Mar Mediterráneo. Las mayores elevaciones por MM están asociadas a episodios de temporales, es decir, episodios de bajas presiones y vientos actuando hacia la costa, estando ligada a la ocurrencia de olas extremas.

**DOCUMENTO FINAL**

La serie de marea meteorológica se ha obtenido, tal y como ha sido comentado previamente, con el reanálisis GOS 1.1 (SW-NCEP).

**Run-up (Ru)**

El *run-up* del oleaje (Ru) es la cota que alcanza el oleaje al incidir sobre una estructura respecto el nivel del mar en reposo. Este fenómeno se produce después de que la ola rompa sobre la playa, produciéndose el movimiento ascendente de la masa de agua sobre el talud de la obra marítima, en este caso una playa, gracias a la energía del oleaje que no ha sido disipada en el proceso de rotura.

Debido a su importancia, un gran número de investigadores se han concentrado en medir *run-up* del oleaje y analizar los datos como funciones de las condiciones del oleaje y de la morfología de la playa.

En comparación con los estudios hechos para estructuras, en el caso de playas el esfuerzo dedicado ha sido mucho menor. Por eso, la existencia de formulaciones o métodos de estimación están limitadas principalmente a aproximaciones semi-empíricas basadas en resultados obtenidos en ensayos de laboratorio. Por esta razón, su resultado aplicado a condiciones reales debe tomarse con cautela, aunque puedan ser utilizadas para estimar el orden de magnitud de dicho proceso. A algunos resultados de estos estudios son ecuaciones que permiten obtener el valor del *run-up* a partir de la altura de ola incidente o del número de Iribarren.

Una formulación reciente que permite obtener una aproximación del valor del *run-up* en playas es la propuesta por Nielsen y Hanslow (1991) y es fruto de una amplia serie de campañas de campo realizadas en seis playas de la costa sudeste de Australia de distintas características morfodinámicas. Los resultados revelan la independencia del *run-up* de la pendiente de la playa en el caso de playas tendidas ( $\tan \beta < 1/10$ ), mientras que en playas más reflejantes, se confirma la dependencia del ángulo del talud  $\gamma$ , por tanto, del número de Iribarren. Las expresiones son las siguientes:

$$z = 0.47 (H_s L_\infty)^{0.5} \tan \beta \quad \text{si } \tan \beta > 0.1$$

$$z = 0.04 (H_s L_\infty)^{0.5} \quad \text{si } \tan \beta < 0.1$$

$$R_{u50\%} = 0.83z$$

$$R_{u2\%} = 1.98z$$

$$R_{u1\%} = 2.15z$$

**DOCUMENTO FINAL**

donde  $H_s$  es la altura de ola significativa a pie de playa, antes de la rotura,  $L_\infty$  es la longitud de onda en profundidades indefinidas,  $R_u$  indica el valor del *run-up* y el subíndice el porcentaje del tiempo en el que es superado.

En este estudio se ha utilizado la formulación presentada de Nielsen y Hanslow (1991) para el caso de playas tendidas y en concreto se ha calculado el *run-up* del 2 % correspondiente al que es superado el 2% del tiempo.

Es importante señalar que el Run-up del 2 % utilizado supone, de manera aproximada, una cota alrededor del 70% de la altura de ola significativa. Si sólo se tuviera en cuenta el ascenso del nivel medio del mar por la rotura del oleaje (set-up), este valor sería del orden del 20% de  $H_s$  y si se tuvieran, además, en cuenta las oscilaciones de onda larga inducidas por grupos de olas (surf-beat), el valor de sobrelevación estaría en el entorno del 30 al 50% de  $H_s$ .

En la figura 6.12 se muestra la tendencia de la cota de inundación extremal respecto al nivel medio del mar fijo en el tiempo. En esta figura además de los eventos extremos establecidos con el método POT, también se muestra el cuantil de período de retorno de 50 años. Tal y como puede apreciarse en dicha figura, la tendencia de esta variable es de -0.0196 cm/año (negativo significa disminución). Sin embargo, en la figura 6.12 también se presenta el grado de significancia estadística de esta tendencia que es del 16 %. Al ser la significancia estadística muy pequeña, puede establecerse que la tendencia de la cota de inundación extremal respecto al nivel medio del mar fijo en el tiempo no es significativa. Por consiguiente, no se va a considerar en el presente trabajo variaciones de dicha variable para el año horizonte 2050.

Por lo tanto, la tendencia de la cota de inundación se va a asimilar a la proyección de ascenso de nivel medio del mar global para el escenario A1B del IPCC (2000) que resulta ser de un ascenso de 0.003 m/año. Lo cual implica que desde la actualidad (año 2009) hasta el año horizonte (2050) cabe esperar un aumento en la cota de inundación de 12.3 cm.



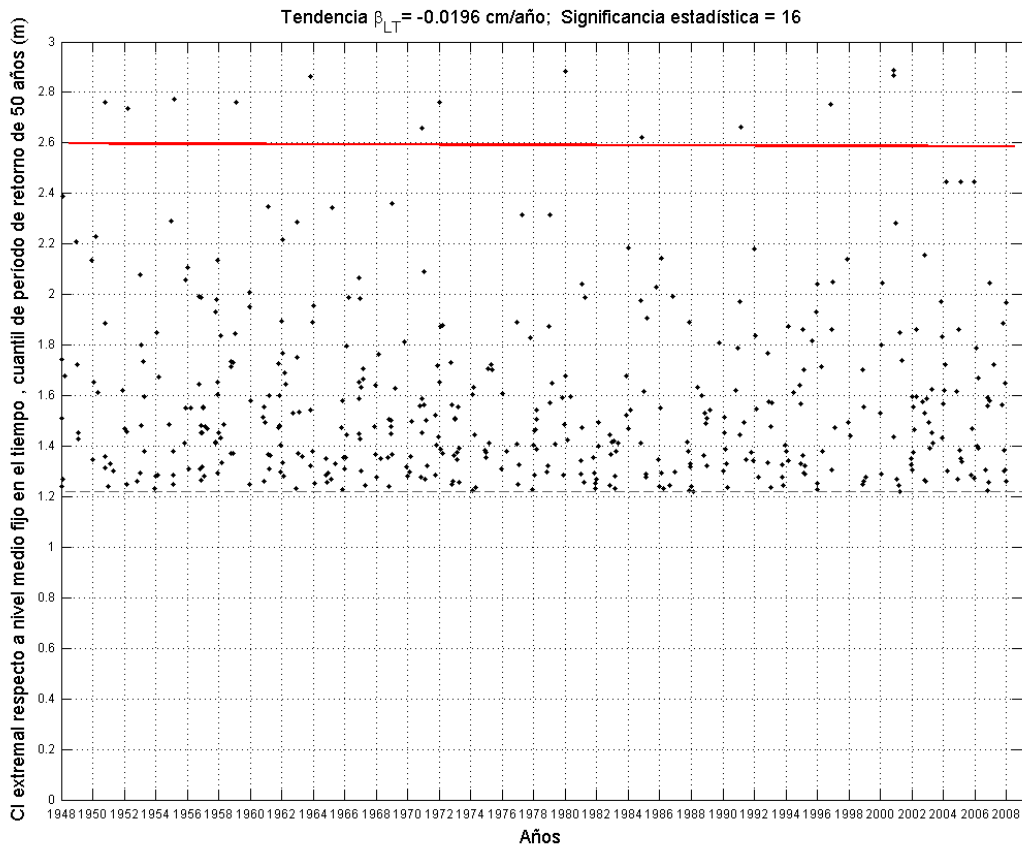


Figura 6.12 Tendencia de la cota de inundación respecto al NMM fijo en el tiempo, cuantil de período de retorno de 50 años.

### 6.3.2 Profundidad de cierre

En los estudios de estabilidad de playas es usual utilizar la denominada "profundidad de cierre",  $h_*$ , como un límite de aplicación del perfil de equilibrio. Esta profundidad está relacionada con el transporte de sedimentos y se aplica a la posición mar adentro en la cual las variaciones verticales del perfil a lo largo del tiempo son tan reducidas que no son distinguibles de los errores de medida.

Nótese que se admite que pueda existir movimiento de arena más allá de la profundidad de cierre, pero en magnitud despreciable.

Por lo tanto el valor de  $h_*$  incide directamente, por ejemplo, en la longitud de las estructuras diseñadas para contener todo el perfil de playa.

Birkemeier (1985), utilizando datos medidos de perfiles de playa, obtuvo la siguiente expresión para la profundidad de cierre,  $h_*$ :

**DOCUMENTO FINAL**

$$h_* = 1.75H_{S12} - 57.9 \left( \frac{H_{S12}^2}{gT_s^2} \right)$$

Donde:

$H_{S12}$  = altura de ola significativa que es excedida doce horas al año, medida en la playa a una profundidad  $h$ , tal que  $h_* < h < 2h_*$  (m).

$T_s$  = periodo de pico asociado a  $H_{S12}$  (s).

La expresión anterior ha sido verificada en las costas españolas con resultados satisfactorios. Por otro lado, si se adopta un valor medio de  $T_s = 5.7 \sqrt{H_s}$  (ROM 03-91) el valor de la profundidad de cierre puede expresarse como:

$$h_* \cong 1.57 H_{S12}$$

Aplicando el método de las perturbaciones al cálculo de la variación de la  $h_*$  por efecto del cambio climático resulta:

$$\delta h_* \cong 1.57 \delta H_{S12}$$

Donde:

$\delta h_*$  = Variación de la profundidad de cierre.

$\delta H_{S12}$  = Perturbación de la altura de ola significativa excedida doce horas al año.

Por lo tanto, al haberse establecido en apartados previos que la tendencia de la altura de ola significativa excedida 12 horas al año es no significativa estadísticamente (esto que ocurre en indefinidas también se ve reflejado en la propagación hacia aguas someras, siendo también en estas profundidades la tendencia de la  $H_{S12}$  no significativa), tampoco será significativa la tendencia de la profundidad de cierre, no considerándose en el presente trabajo variaciones de la profundidad de cierre para el año horizonte 2050.

### **6.3.3 Tasa de transporte potencial**

La formulación empleada para el cálculo del transporte potencial,  $Q$ , ha sido la propuesta por Kamphuis (1986), que se expresa como sigue:

$$Q = 1.28 \frac{\tan \alpha H_{sb}^{\frac{7}{2}}}{\rho_s (1-n) D} \sin(2 \theta_b)$$

**DOCUMENTO FINAL**

donde:

$H_{sb}$  es la altura de ola significativa del oleaje en rotura.

$\theta_b$  es el ángulo en rotura del oleaje con respecto a la orientación de la línea de costa.

$\rho_s$  es la densidad del sedimento.

$n$  es la porosidad del sedimento.

$D$  es el tamaño de grano medio del sedimento.

$Q$  es el transporte en  $m^3/s$ .

De las variables que intervienen en el cálculo del transporte potencial de sedimentos, tanto el ángulo de incidencia del oleaje como la altura de ola en rotura pueden verse afectados por el cambio climático.

Aplicando el método de las perturbaciones resulta que la variación del transporte longitudinal se puede dividir en dos términos que se suman linealmente:

$$\frac{\delta Q}{Q} = 3.5 \frac{\delta H_{sb}}{H_{sb}} + 2 \frac{\delta \theta_b}{\text{tg}(2\theta_b)}$$

Donde:

$\delta Q$  = Variación del transporte de sedimentos.

$\delta H_{sb}$  = Perturbación de la altura de ola significativa en rotura.

$\delta \theta_b$  = Perturbación de la dirección del oleaje en rotura.

Obsérvese que el primer término únicamente incluye la variación del transporte debido a variaciones en la altura de ola de rotura, mostrando que el transporte litoral aumenta linealmente con la variación adimensional de la altura de ola en rotura, mientras que el segundo término sólo incluye el efecto de la variación del ángulo de incidencia del oleaje en la línea de rotura. Dado que la dirección del oleaje en rotura ( $\theta_b$ ) se mide respecto a la orientación de la costa, valores positivos de  $\delta \theta_b$  implican aumento en la oblicuidad de incidencia del oleaje y, por tanto, aumento del transporte. Por el contrario, un valor negativo de  $\delta \theta_b$  implica una reducción de la oblicuidad de la incidencia del oleaje y por tanto una reducción del transporte. Así pues, un giro horario se corresponde con una reducción de la oblicuidad del oleaje incidente en la costa y, por tanto,  $\delta \theta_b$  ha de introducirse con valor negativo en la fórmula de cálculo de la variación adimensional de la tasa de transporte.

Las tendencias dimensionales de la altura de ola significativa en rotura se pueden asimilar a las correspondientes tendencias adimensionales en indefinidas. Como ya se determinó en apartados previos, estas últimas tendencias eran no significativas estadísticamente, por lo que de cara a la determinación de las tendencias en la tasa de transporte se va a considerar que las tendencias debidas a este primer sumando son no significativas, no considerándose variación en el año horizonte 2050 por este motivo.

**DOCUMENTO FINAL**

Para evaluar el segundo sumando se ha considerado como ángulo representativo el ángulo del flujo medio anual de energía. Como ya se estableció en apartados previos las tendencias en la dirección del flujo medio anual de energía en indefinidas eran no significativas estadísticamente. Asimismo, lo que ocurre en indefinidas también se ve reflejado en la propagación hacia aguas someras (rotura), siendo también en estas profundidades la tendencia de la dirección del flujo medio anual de energía no significativa estadísticamente. Por consiguiente, para la determinación de las tendencias en la tasa de transporte se va a considerar que las tendencias debidas a este segundo sumando son no significativas, no teniéndose en cuenta variación en el año horizonte 2050 por este motivo.

Así pues, en el presente trabajo se va a considerar que desde la actualidad (año 2009) hasta el año horizonte 2050 no existe variación en la tasa de transporte potencial de sedimentos en la zona analizada.

### **6.3.4 Retroceso de la línea de costa por ascenso del nivel del mar**

La respuesta de las diferentes playas del litoral español frente el aumento del nivel medio inducido por el cambio climático, puede ser cuantificado haciendo uso de la conocida Regla de Bruun, que establece que un ascenso del nivel medio del mar,  $\delta\eta$ , provocará un retroceso del perfil de playa.

El ascenso de nivel medio del mar global, estimado a partir del escenario A1B del IPCC (2000) en 0.003 m/año (véase figura 6.13), generará un incremento de la profundidad de agua en cualquier punto del perfil de playa. En estas condiciones el perfil de equilibrio no estará en "equilibrio" y sufrirá un ascenso,  $\delta\eta$ , para acomodarse al nuevo nivel del mar. Como este ascenso debe producirse a costa de la arena existente en el perfil (hipótesis de playa bidimensional) se producirá un retroceso, RE, general del perfil, de forma que el retranqueo de la playa se producirá con el objetivo de cubrir el déficit de arena que se generó en la playa (véase figura 6.14).

Imponiendo como hipótesis que en el nuevo nivel del mar se establecerá un perfil de equilibrio con forma idéntica al existente antes del ascenso del nivel del mar y que el volumen de arena de la playa debe conservarse, se obtiene como valor del retroceso:

$$RE = \frac{\delta\eta \cdot W^*}{h^* + B}$$

donde:

$W^*$  = extensión del perfil (m).

$h^*$  = profundidad de cierre (m).

B = Berma de la playa.

A partir de la anterior formulación se puede observar que el retroceso del perfil de playa es proporcional a la variación del nivel medio, de forma que cuanto mayor sea el aumento del nivel medio del mar, mayor será el retroceso de una determinada playa.

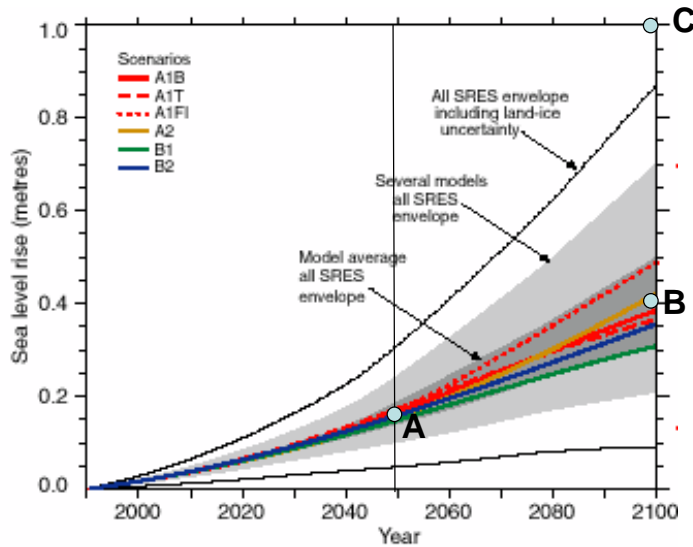


Figura 6.13 Ascensos globales del nivel medio del mar contemplados en el IPCC (2000).

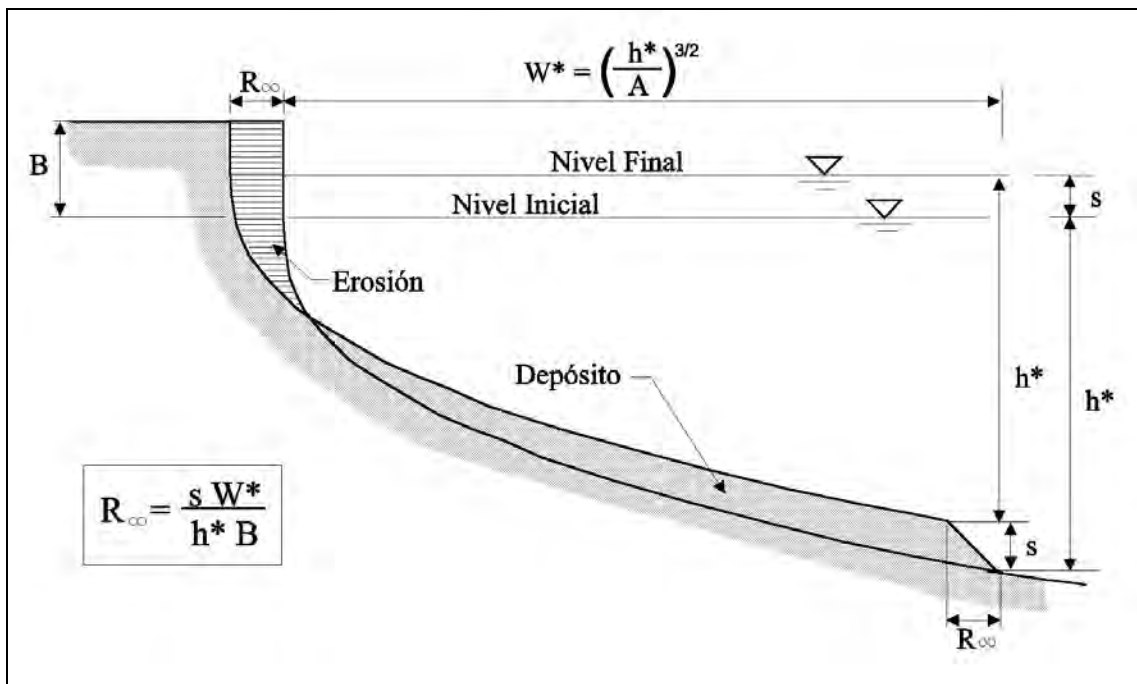


Figura 6.14 Esquema de la Regla de Bruun.

**DOCUMENTO FINAL**

En el caso de que la forma del perfil de equilibrio esté determinada por la formulación de Dean (1977) y que la profundidad de cierre de la playa sea la dada por la formulación de Birkemeier (1985), se obtiene:

$$RE = \Delta\eta \frac{(1.57H_{s12})^{1.5}}{(0.51w^{0.44})^{1.5} (1.57H_{s12} + B)}$$

Así, además de depender del ascenso del nivel medio del mar, el retroceso es función de la altura de ola que es superada 12 horas al año,  $H_{S12}$ , de la velocidad de caída del grano,  $w$ , es decir, del tamaño de grano  $D_{50}$  de la arena que constituye la playa, y de la altura de la berma de la playa,  $B$ .

### **6.3.5 Retroceso de la línea de costa por cambios en el flujo medio de energía del oleaje**

En este apartado se expone la metodología empleada para calcular el retroceso o avance que experimentarán las playas rectilíneas en equilibrio estático no colmatadas de arena ante un giro en la dirección del flujo medio de energía.

Para ello se asume que los límites laterales de la playa son capaces de contener la playa sea cual sea el futuro avance, y que además no existe ningún aporte de arena desde el mar exterior o desde los contornos de la playa.

Si por el efecto del cambio climático se produce una variación en la dirección del flujo medio de energía, la playa cambiará de orientación. Este cambio en la orientación vendrá acompañado por un futuro avance y retroceso de la playa, de forma que el volumen de arena erosionado sea equivalente al volumen de arena depositado en el frente de la playa (véase figura 6.15).

El máximo retroceso y avance de la playa se producirá en los extremos de las playas y su valor dependerá de la variación de la dirección del flujo medio de energía y de la longitud de la playa a partir de la siguiente ecuación:

$$RE_{max} = \frac{L}{2} \operatorname{tg}(\Delta\theta_{FE})$$

donde:

$L$  = longitud de la playa (m)

$\Delta\theta_{FE}$  = Variación en la dirección del flujo medio de energía ( $^{\circ}$ ) al pie de la playa.

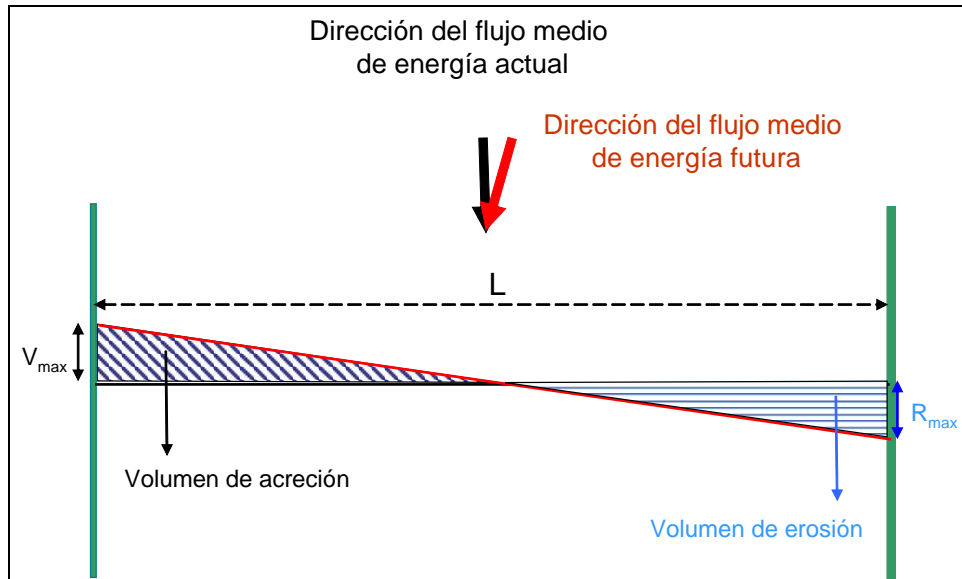


Figura 6.15 Efecto del cambio de la dirección del flujo medio de energía en las playas rectilíneas en equilibrio estático no colmatadas de arena.

Como ya se estableció en apartados previos las tendencias en la dirección del flujo medio anual de energía en indefinidas eran no significativas estadísticamente. Asimismo, lo que ocurre en indefinidas también se ve reflejado en la propagación hacia aguas someras (al pie de la playa), siendo también en estas profundidades la tendencia de la dirección del flujo medio anual de energía no significativa estadísticamente. Así pues, en el presente trabajo se va a considerar que desde la actualidad (año 2009) hasta el año horizonte 2050 no existen retrocesos de línea de costa por variación del flujo medio de energía.

## 6.4. Afección a las alternativas de actuación

A continuación se evalúa la incidencia de los anteriormente calculados indicadores de cambio climático sobre la costa, en cada una de las alternativas propuestas y descritas en el capítulo anterior del presente documento.

### 6.4.1 Alternativa 1.1

Los principales efectos del cambio climático sobre las playas en la alternativa 1.1 son los producidos por el ascenso del nivel medio del mar.

**DOCUMENTO FINAL**

En la figura 6.16 se muestra el retroceso que se prevé que experimente la línea de costa debido al ascenso del nivel medio del mar como efecto del cambio climático, estimado en 12.3 cm desde la actualidad (2009) hasta el año horizonte 2050, según el escenario A1B del IPCC (0.003 m/año).

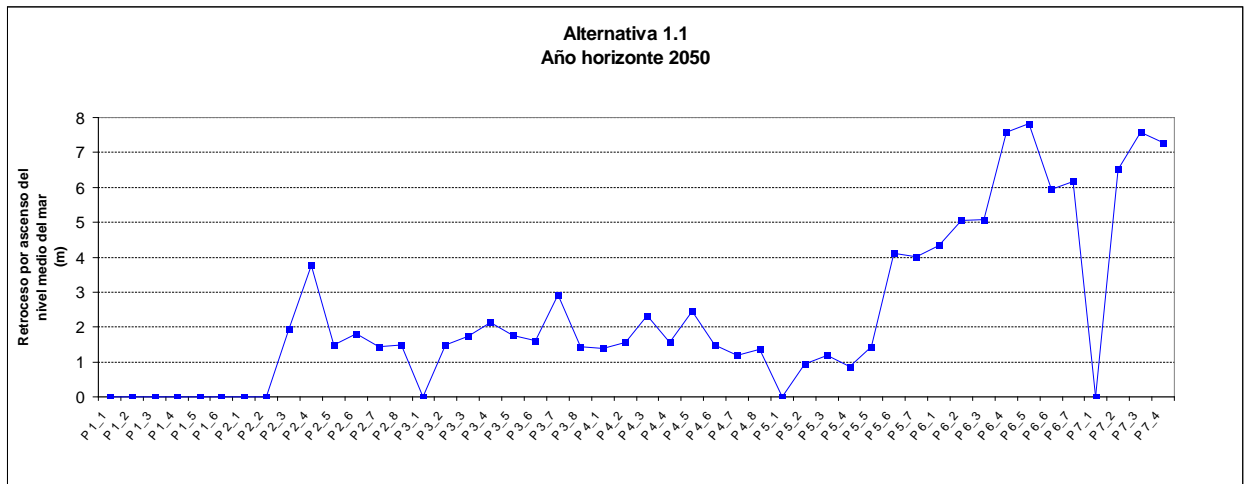


Figura 6.16 Retroceso debido al ascenso del nivel medio del mar en la alternativa 1.1.

Para el cálculo de retroceso por ascenso del nivel del mar mostrado en la figura 6.16 se ha utilizado la conocida regla de Bruun descrita anteriormente. Cabe señalar que las posiciones en las que el retranqueo es nulo corresponden con aquellas localizaciones en las que existe una escollera de protección que impide el retroceso de la línea de costa (véase figura 6.16 y figuras 5.12 a 5.14 del anterior capítulo en las que se presenta la localización de los perfiles mostrados en el eje de abscisas de la figura 6.16).

Dicho retroceso, que oscila entre los 0.9 y 7.8 m, se producirá a costa de reducir el actual ancho de playa seca. En general este retroceso no supone pérdidas de ancho de playa seca por debajo de los 20 m establecidos como mínimo en los criterios de diseño de las alternativas (véase capítulo 5) salvo en la Playa de Nules, en la que se llega a alcanzar un mínimo de 17 m de ancho de playa seca, véase figura 6.17.



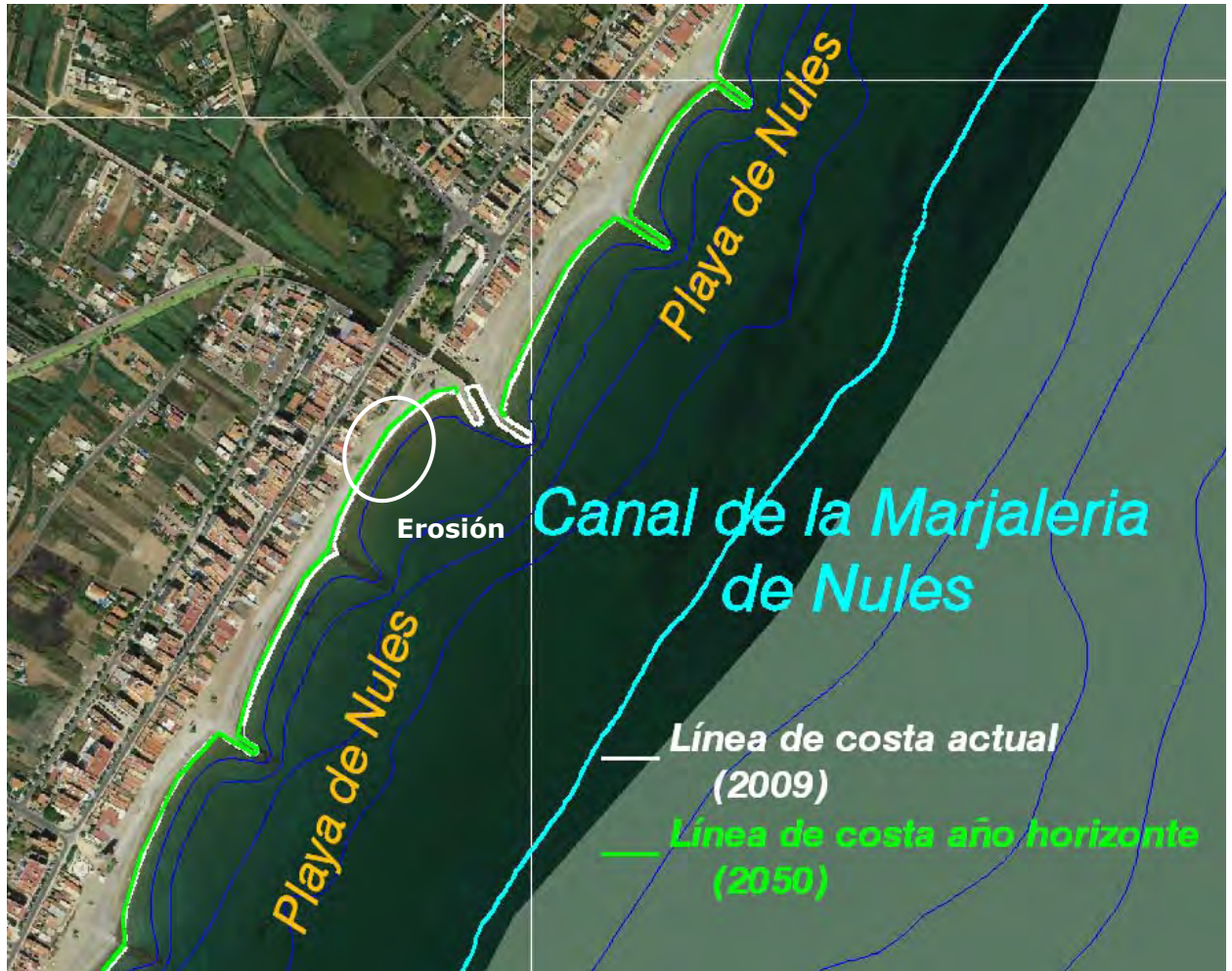


Figura 6.17 Retroceso de la línea de costa debido al ascenso del nivel medio del mar en la Playa de Nules.

Otra zona a destacar es la Playa de La Torre y El Estanyol, donde las escolleras y diques existentes mitigan el retroceso de la línea de costa debido a la elevación del nivel del mar, sin embargo cabe señalar que es posible que sea necesario recrecer dichas obras en algunos tramos (véase figura 6.18).



Figura 6.18 Retroceso de la línea de costa debido al ascenso del nivel medio del mar en la Playa de La Torre y El Estanyol.

En la Playa de Sagunto no se ha planteado ninguna actuación en ninguna de las alternativas planteadas, más allá del dragado de emergencia en caso de que se produzca by-pass de sedimentos en el Puerto de Siles, ya que en la actualidad dicha playa se encuentra prácticamente en equilibrio estático. Por lo tanto, lo relativo a la Playa de Sagunto que se plantea a continuación tiene validez tanto en el marco de ésta como en el resto de las alternativas propuestas.

En dicha playa tiene lugar un retroceso medio de la línea de costa debido al ascenso del nivel del mar de 7.4 m, que da lugar a un ancho mínimo de playa de 58 m en el año horizonte (2050), como se muestra en la figura 6.19.



Figura 6.19 Línea de costa en el año horizonte (2050) en la Playa de Sagunto.

### 6.4.2 Alternativa 1.2

Al igual que en la alternativa 1.1 los principales efectos del cambio climático sobre las playas en la alternativa 1.2 son los producidos por el ascenso del nivel medio del mar. En la figura 6.20 se muestra el retroceso que se prevé que experimente la línea de costa debido al ascenso del nivel medio del mar como efecto del cambio climático, estimado en 12.3 cm desde la actualidad (año 2009) hasta el año horizonte 2050 según el escenario A1B del IPCC (2000).

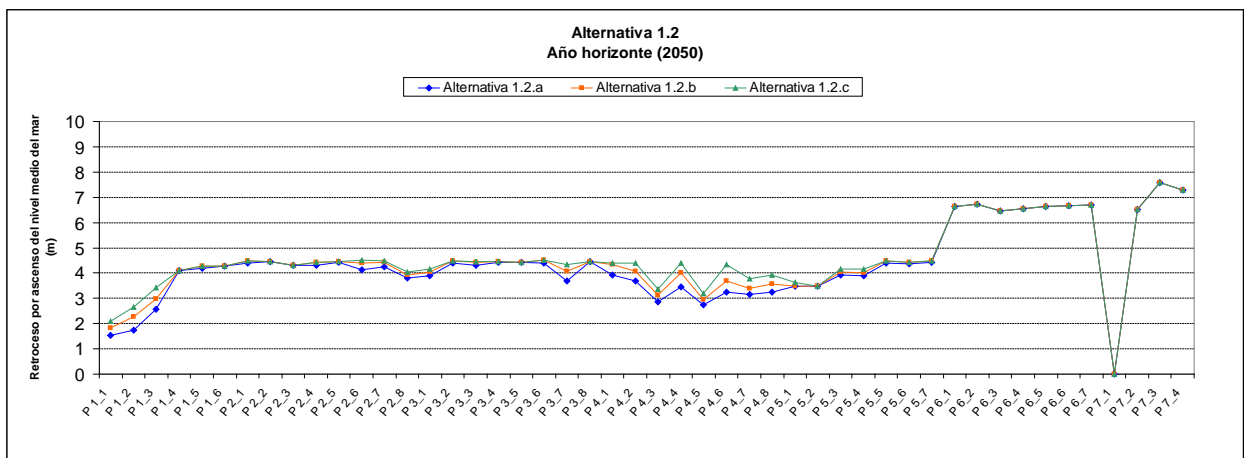


Figura 6.20 Retroceso debido al ascenso del nivel medio del mar en la alternativa 1.2.

La localización de los perfiles mostrados en el eje de abscisas de la figura 6.20 se indica en las figuras 5.12 a 5.14 (véase capítulo 5 del presente documento).

Cabe destacar el salto brusco que se observa entre los perfiles P 5\_7 y P 6\_1, en los que se pasa de menos de 5 m de retroceso a casi 7 m. Esto se produce debido a que los cálculos se han realizado del lado de la seguridad considerando un sedimento igual al actualmente existente ( $D_{50} \approx 0.2 \text{ mm}$ ) para las playas del tramo 6 mientras que el tamaño de grano del material de aportación con el que se ha propuesto rellenar las playas de los tramos 1 a 5 es más grueso ( $D_{50} = 0.35 \text{ mm}$ ).

En realidad, debido al transporte de sedimentos existente de Norte a Sur, de aquí al año horizonte (2050) el material existente en la actualidad en las playas del tramo 6 acabará por mezclarse con el material que conforma las playas de los tramos situados más al Norte, por lo tanto el retroceso calculado para el tramo 6 es en realidad una cota superior del mismo.

En cualquier caso el holgado ancho de playa disponible en las playas del tramo 6 hace que el retroceso calculado, a únd e forma mayorada, no produzca en ningún caso reducciones del ancho de playa seca por debajo del mínimo establecido.

**DOCUMENTO FINAL**

En el resto de tramos (de 1 a 5), el ancho de playa seca resulta de la adición del ancho de la playa actualmente existente (del orden de 20 m como mínimo salvo en algunos tramos en los que existe escollera de protección) y el de la playa regenerada, que en el peor de los casos resulta de 20 m (alternativa 1.2.a). Por lo tanto, inmediatamente después de llevar a cabo la regeneración de la playa, el retroceso que se produce debido al ascenso del nivel del mar (por efecto del cambio climático), da lugar a una pérdida de ancho de playa seca por debajo del mínimo establecido sólo en el caso de la variante 1.2.a y en las zonas trasdosadas por las mencionadas escolleras de protección. Esto es así asumiendo un ancho de playa seca igual al existente tras la disposición del relleno inicial.

Lo anteriormente mencionado es válido inmediatamente después de cada una de las regeneraciones previstas, sin embargo, para valorar la máxima erosión que se produce en la costa de cara al año horizonte (2050), al retroceso por ascenso del nivel del mar se debe añadir la erosión debida a que las playas no se encuentran en equilibrio estático y que sufre la costa durante el periodo entre regeneraciones, que depende de la duración de dicho periodo.

Por consiguiente, aunque este retroceso no sea producto del cambio climático, y por lo tanto en principio no debería ser objeto de estudio en el presente capítulo, se ha tenido en cuenta a efectos de valorar las erosiones máximas que experimentará la costa.

En las figuras 6.21 a 6.23 se muestra el retroceso producido al final del periodo entre regeneraciones, tanto en la situación de partida, en el año 0 de la alternativa, debido únicamente al transporte de sedimentos, como en el año horizonte, debido tanto al transporte de sedimentos como al ascenso del nivel medio del mar.

Conviene recordar que las alternativas 1.2.a, b y c suponen un relleno masivo de 20 m, 40 m y 60 m de ancho, y las alternativas d, e y f suponen regeneraciones cada año, cada dos años y cada 5 años, respectivamente.

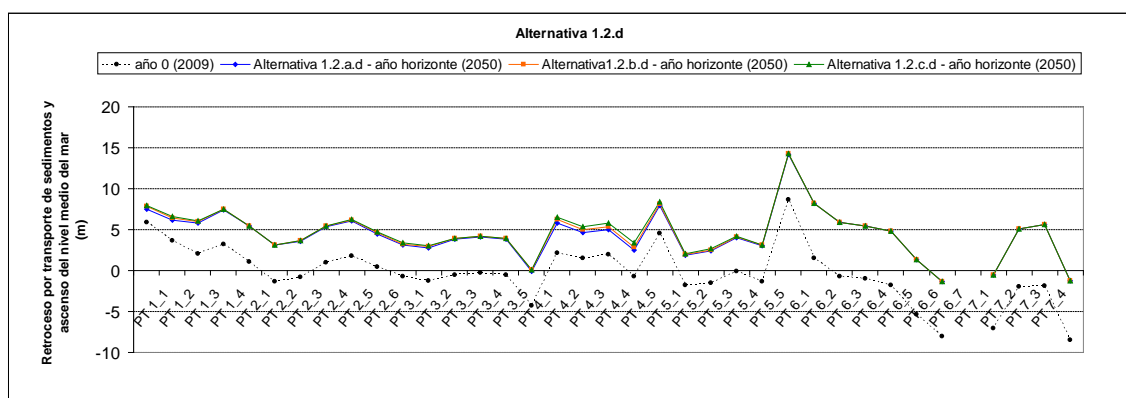


Figura 6.21 Retroceso (+) o avance (-) anual de la línea de costa a lo largo de toda la zona de estudio para la alternativa 1.2.d (regeneraciones anuales) en la actualidad (2009) y en el año horizonte (2050).

DOCUMENTO FINAL

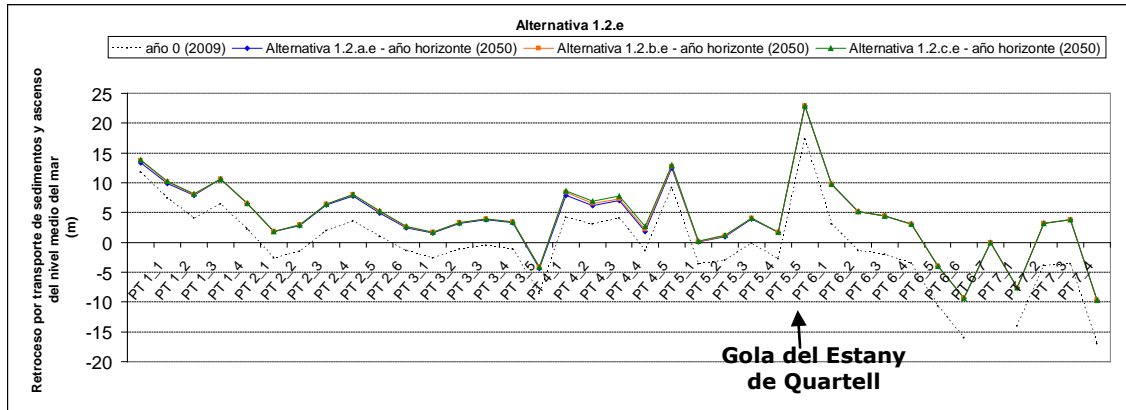


Figura 6.22 Retrosceso (+) o avance (-) anual de la línea de costa a lo largo de toda la zona de estudio para la alternativa 1.2.e (regeneraciones cada 2 años) en la actualidad (2009) y en el año horizonte (2050).

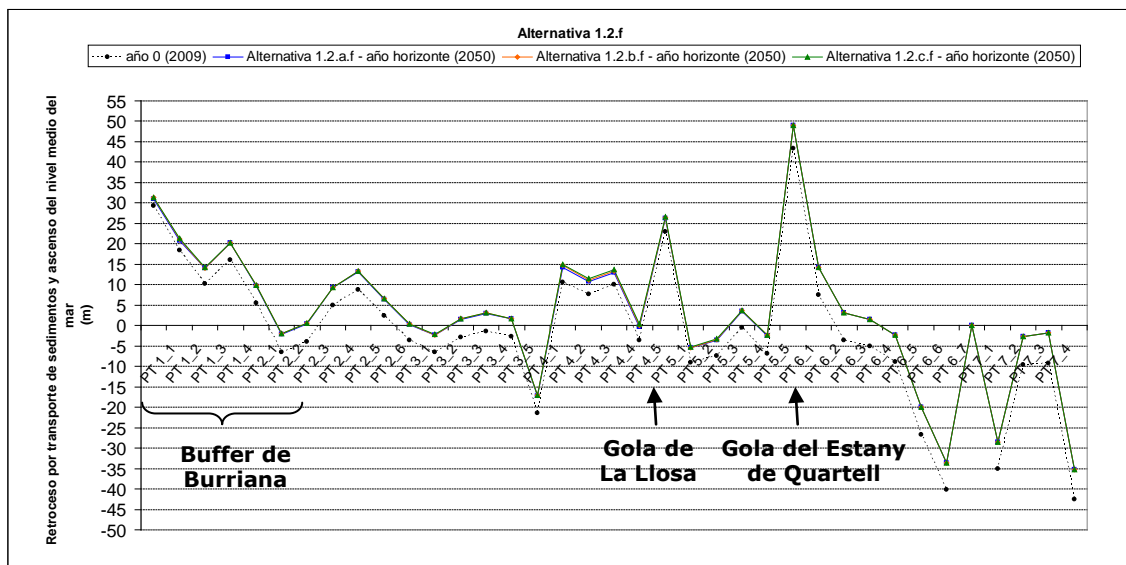


Figura 6.23 Retrosceso (+) o avance (-) anual de la línea de costa a lo largo de toda la zona de estudio para la alternativa 1.2.f (regeneraciones cada 5 años) en la actualidad (2009) y en el año horizonte (2050).

La localización de los perfiles mostrados en el eje de abscisas de las figuras 6.21, 6.22 y 6.23 se indica en las figuras 5.2 a 5.5 (véase capítulo 5).

A la vista de los anteriores resultados, se observa que a pesar de la adición del retrosceso por ascenso del nivel medio del mar, las zonas que se han detectado como potencialmente más problemáticas debido a la erosión son las mismas en el año horizonte (2050) que en la actualidad (2009):

- El buffer situado al Sur del Puerto de Burriana, en el que la escollera de protección existente quedaría a la vista sólo en la alternativa 1.2.f.

**DOCUMENTO FINAL**

- La zona adyacente a la Gola de La Llosa en el Sur de dicha Gola. Del mismo modo que en el buffer de Burriana, la escollera de protección existente quedaría a la vista solo en la alternativa 1.2.f.
- El Sur de la Gola del Estany de Quartell, donde el ancho de playa seca disponible (de unos 120 m) es tal que incluso en el peor de los casos el ancho de playa seca mínimo existente supera el mínimo establecido.

### **6.4.3 Alternativa 2**

Los principales efectos que produce el cambio climático en las playas de todas las variantes de la alternativa 2 son los derivados del ascenso del nivel medio del mar.

En el sector Norte de todas las variantes de la alternativa 2, el retroceso debido al ascenso del nivel medio del mar será análogo al producido en la alternativa 1.1 para esa zona, destacando la erosión producida en la Playa de Nules.

Por otro lado en el sector Sur de todas las variantes de la alternativa 2, este retroceso será análogo al producido en la alternativa 1.2, que no da lugar, en principio a reducciones de ancho de playa seca relevantes, salvo inmediatamente al Sur de los espigones de separación entre sectores donde la erosión que se producirá al final del periodo entre regeneraciones ya es en la actualidad crítica para algunas variantes de la alternativa 2.

Sin embargo, es necesario destacar que, como se muestra en las figuras 6.24, 6.25 y 6.26, el retroceso que experimenta la línea de costa debido al ascenso del nivel medio del mar (cambio climático) es de varios órdenes de magnitud inferiores al retroceso que experimenta la costa al Sur de los espigones de separación debido al transporte litoral de sedimentos que se produce durante el periodo establecido entre regeneraciones.



Figura 6.24 Retroceso de la línea de costa en torno al espigón de separación entre tramos de la alternativa 2.1.



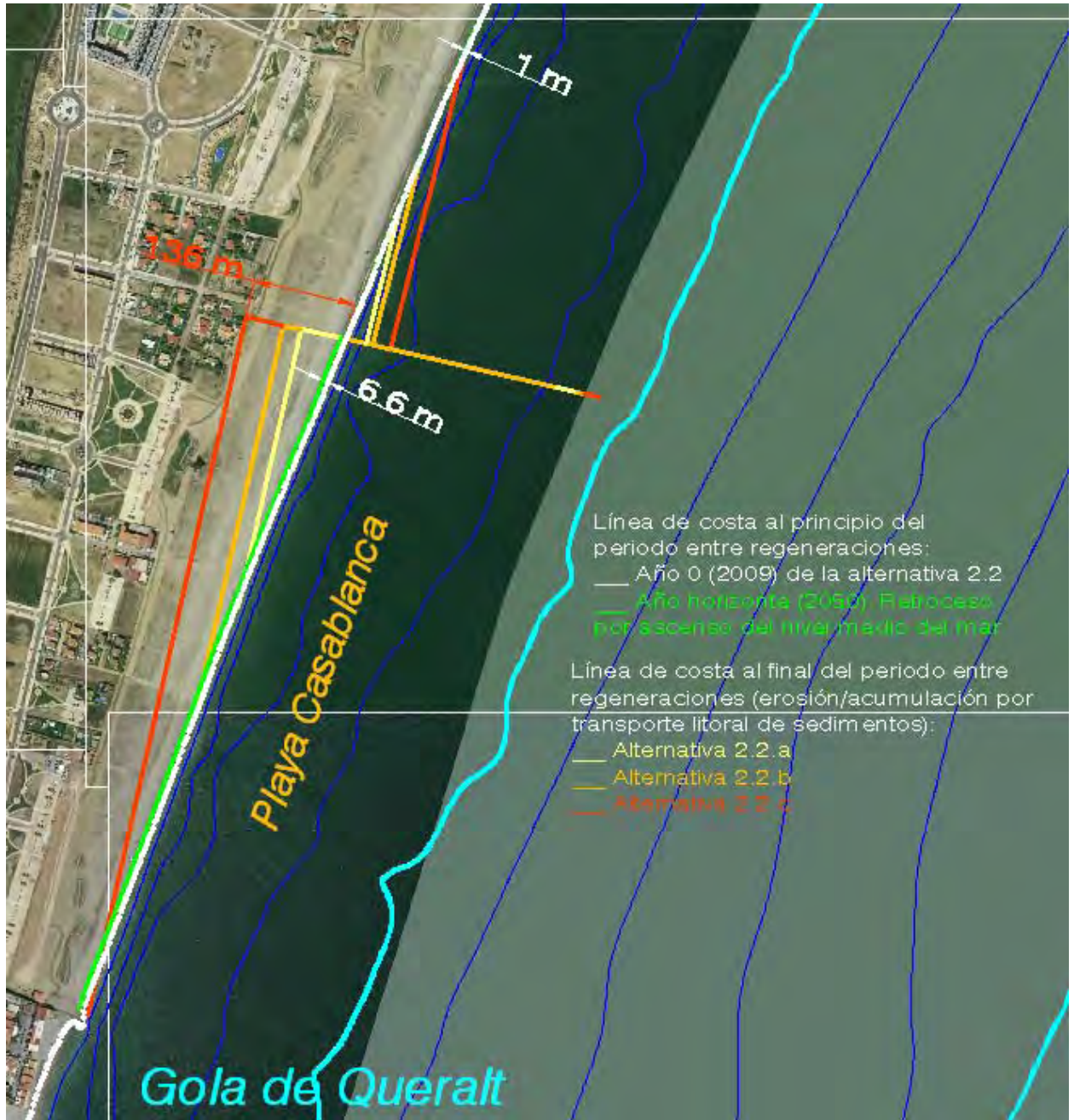


Figura 6.25 Retroceso de la línea de costa en torno al espigón de separación entre tramos de la alternativa 2.2.

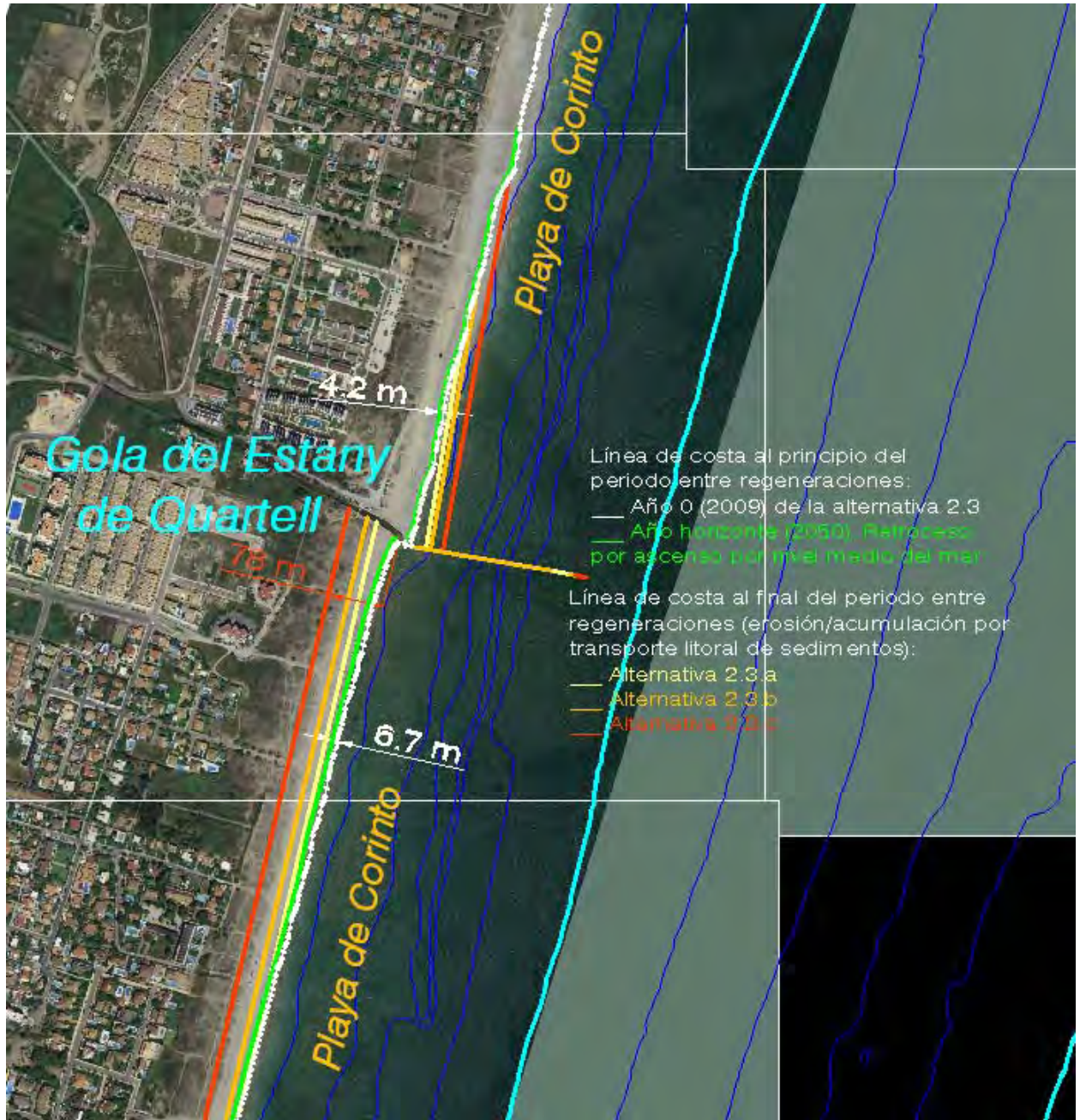


Figura 6.26 Retroceso de la línea de costa en torno al espigón de separación entre tramos de la alternativa 2.3.

### **6.4.4 Alternativa 3.1**

El retroceso debido al ascenso del nivel medio del mar será análogo al producido en la alternativa 1.1 en todos los tramos salvo en el tramo 1 en el que se ha dispuesto una playa regenerada con ancho de playa seca inicial de 20 m, de arena (alternativa 3.1.1) o de grava (alternativa 3.1.2), cuyos retrocesos son los mostrados en la tabla 6.1.

<b>Perfil</b>	<b>L (m)</b>	<b>h* (m)</b>	<b>Alt 3.1.1 RE (m)</b>	<b>Alt 3.1.2 RE (m)</b>
<b>P 1_1</b>	543	3.85	1.54	2.72
<b>P 1_2</b>	403	3.88	1.75	2.72
<b>P 1_3</b>	320	3.82	2.56	2.72
<b>P 1_4</b>	445	3.74	4.11	2.72
<b>P 1_5</b>	528	3.95	4.18	2.72
<b>P 1_6</b>	492	3.95	4.26	1.72
<b>P 2_1</b>	508	4.25	4.41	1.72
<b>P 2_2</b>	536	4.19	4.45	2.72

Tabla 6.1 Retroceso por ascenso del nivel medio del mar entre la situación actual (año 2009) y el año horizonte (2050). Tramo 1. Alternativa 3.1

Los perfiles considerados en la tabla 6.1 son los mostrados en las figuras 5.12 a 5.14 (véase capítulo 5).

Al igual que en la alternativa 2, las erosiones máximas se producirán al Sur de los espigones diseñados, donde al retroceso de la línea de costa debido al transporte litoral de sedimentos (no debido al cambio climático) se le ha de añadir el retroceso debido al ascenso del nivel medio del mar (debido al cambio climático).

En los tramos de gravas el retroceso por ascenso del nivel medio del mar es siempre inferior a 2 m, por lo que es despreciable frente a la erosión que se experimenta por transporte litoral de sedimentos (véase capítulo 5 del presente documento).

Sólo al Sur del espigón de separación de los tramos 5 y 6 se produce un retroceso más importante por efecto del nivel medio del mar (6.7 m). Las erosiones producidas en este caso coinciden con las mostradas en la figura 6.26, correspondiente a la alternativa 2.3.

### **6.4.5 Alternativa 3.2**

En el caso de la alternativa 3.2 se ha dispuesto una sucesión de playas encajadas, las cuales principalmente se verán afectadas por el retroceso que experimenta la línea de costa debido a la elevación del nivel medio del mar.

La elevación del nivel medio del mar, estimado en 12.3 cm desde la actualidad (año 2009) hasta el año horizonte (2050), de acuerdo al escenario A1B del IPCC, da lugar,

**DOCUMENTO FINAL**

según la regla de Bruun, a un retroceso variable a lo largo de cada playa como se muestra en las figuras 6.27 a 6.32 (para la identificación de las playas localizadas en las figuras 6.27 a 6.32, véase el capítulo anterior del presente documento).

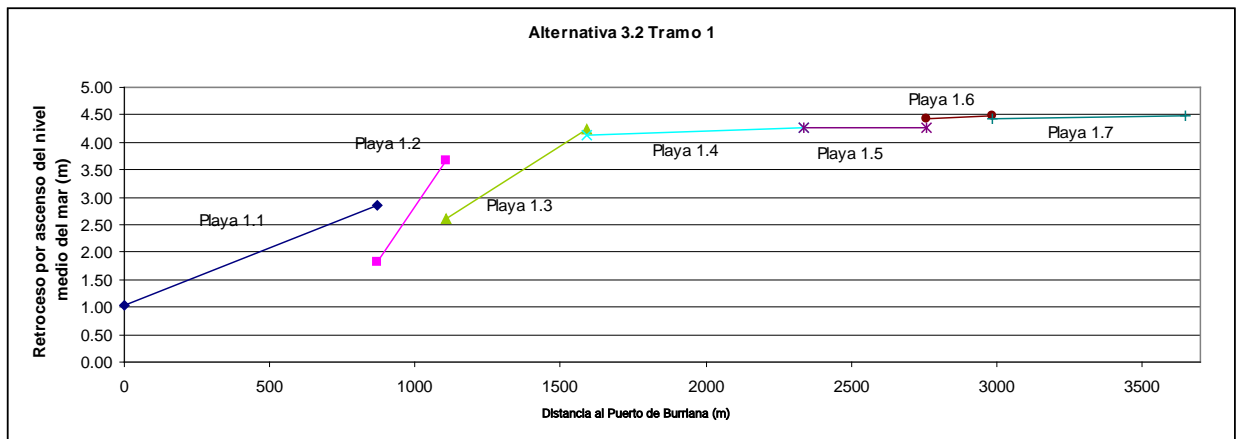


Figura 6.27 Retroceso de la línea de costa por ascenso del nivel del mar en las playas del tramo 1 de la alternativa 3.2.

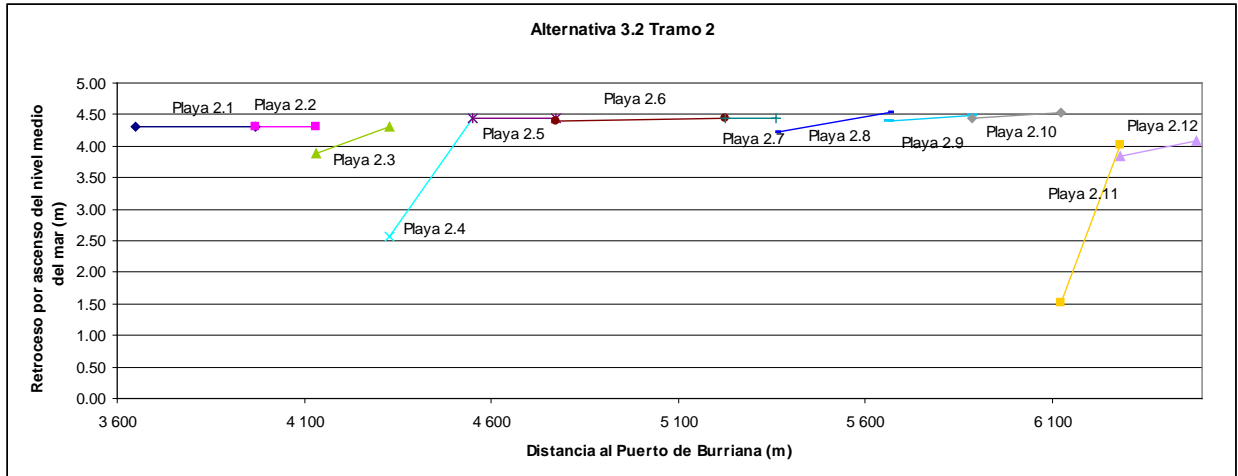


Figura 6.28 Retroceso de la línea de costa por ascenso del nivel del mar en las playas del tramo 2 de la alternativa 3.2.

**DOCUMENTO FINAL**

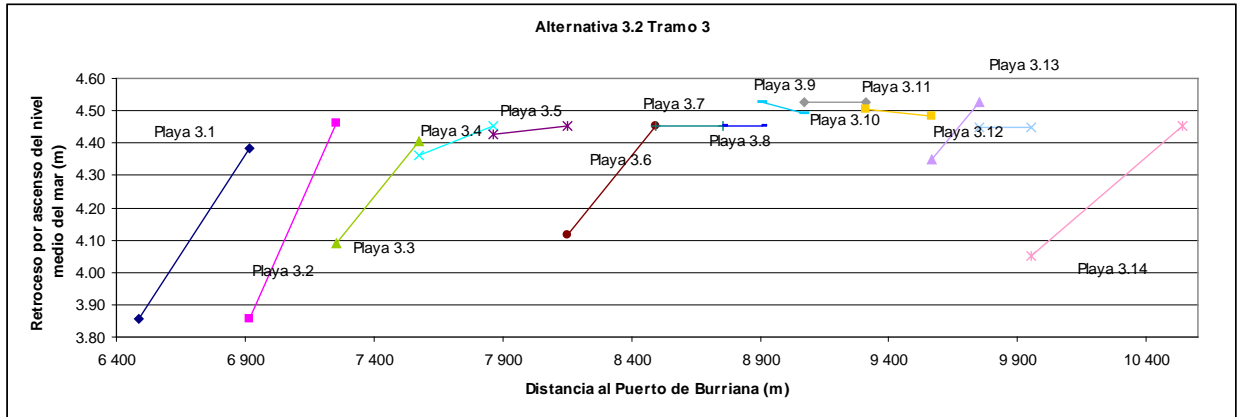


Figura 6.29 Retroceso de la línea de costa por ascenso del nivel del mar en las playas del tramo 3 de la alternativa 3.2.

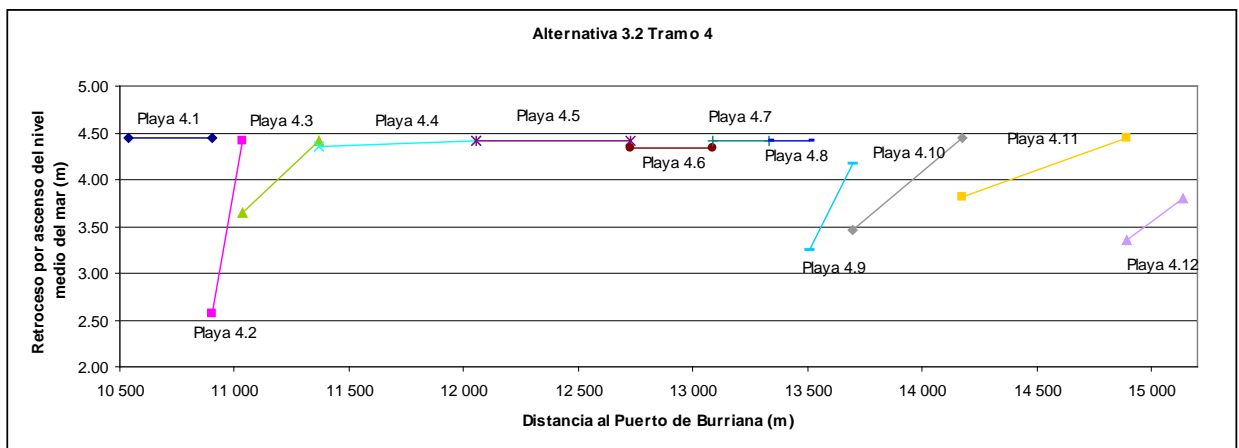


Figura 6.30 Retroceso de la línea de costa por ascenso del nivel del mar en las playas del tramo 4 de la alternativa 3.2.

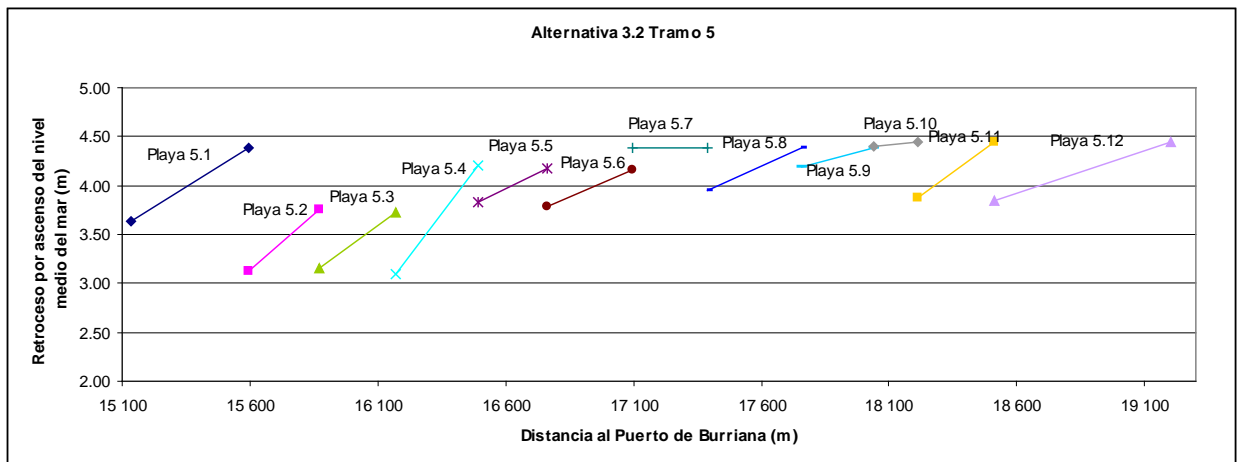


Figura 6.31 Retroceso de la línea de costa por ascenso del nivel del mar en las playas del tramo 5 de la alternativa 3.2.

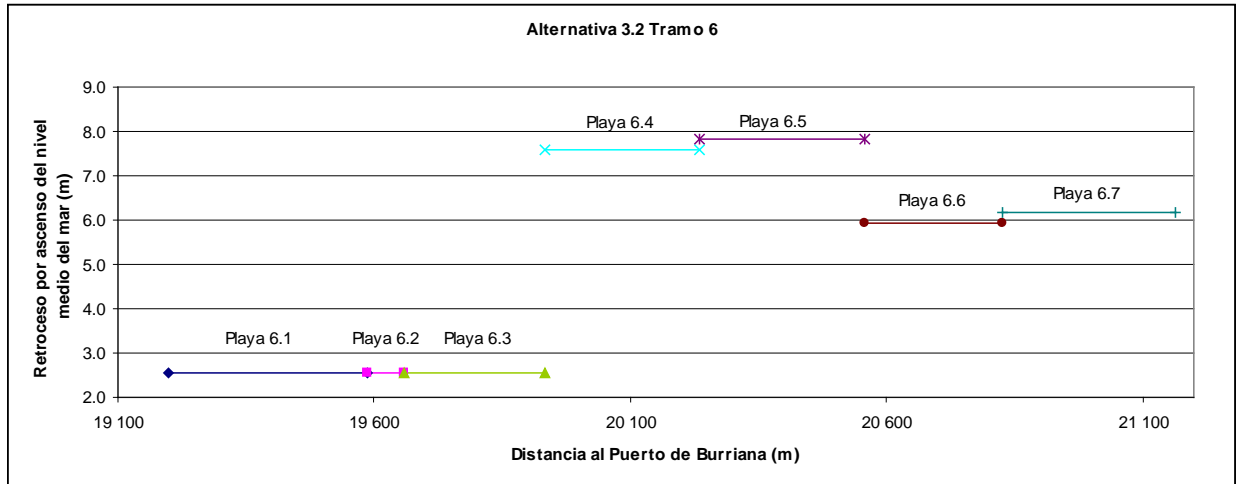


Figura 6.32 Retroceso de la línea de costa por ascenso del nivel del mar en las playas del tramo 6 de la alternativa 3.2.

En la situación de partida (año 0 de la alternativa 3.2), en los tramos 1 a 5 el ancho disponible de playa seca en el extremo Sur de cada playa es de 70 m, mientras que en el extremo Norte es de 20 m sobre el ancho de playa actualmente existente (de al menos 20 m salvo en algunas zonas en las que existe escollera). Dado que el retroceso máximo por ascenso del nivel medio del mar resulta de 5 m, no se esperan reducciones significativas del ancho de playa seca disponible.

En el tramo 6 el retroceso por ascenso del nivel medio del mar es de 7.8 m, sin embargo, dado que el ancho mínimo de playa seca existente es de 70 m, no se producen pérdidas de ancho de playa seca por debajo del mínimo establecido.

## 6.5 Resumen de resultados y conclusiones

El presente capítulo de efectos del cambio climático en la costa debe tomarse con la suficiente cautela al haberse contado sólo con la información descrita en este capítulo, así como por las hipótesis, simplificaciones y metodologías aproximadas empleadas.

A partir del trabajo realizado se pueden extraer una serie de conclusiones con respecto a la prognosis de cambio entre la actualidad (año 2009) y el año horizonte (2050) de los indicadores seleccionados para el análisis de la afección de cambio climático, las cuales se resumen a continuación:

### **6.5.1. Consideraciones con respecto a las variables analizadas**

- La tendencia de la altura de ola significativa media anual en indefinidas no es significativa al 95 %. Por consiguiente, no se contemplan en el presente trabajo variaciones de dicha variable para el año horizonte 2050.
- La tendencia de la dirección del flujo medio anual de energía en indefinidas no es significativa al 95 %. Por consiguiente, no se contemplan en el presente trabajo variaciones de dicha variable para el año horizonte 2050.
- La tendencia de la altura de ola significativa excedida 12 horas al año en indefinidas no es significativa al 95 %. Por consiguiente, no se contemplan en el presente trabajo variaciones de dicha variable para el año horizonte 2050.
- La tendencia de la altura de ola significativa extremal no es significativa al 95 %. Por consiguiente, no se consideran en el presente trabajo variaciones de dicha variable para el año horizonte 2050.
- La tendencia de la marea meteorológica extremal es muy significativa (con una significancia estadística del 98.95 %). Por consiguiente, en el presente trabajo se consideran variaciones de dicha variable para el año horizonte 2050.
- El efecto más importante del cambio climático en las diferentes variables analizadas es sobre el nivel medio del mar, considerándose la proyección de ascenso de nivel medio del mar global para el escenario A1B del IPCC (2000) que resulta ser de un ascenso de 0.003 m/año.

### **6.5.2. Consideraciones con respecto a los indicadores de impacto en la costa**

- Como la tendencia de la cota de inundación respecto a un nivel medio fijo en el tiempo no es significativa, se ha asimilado la tendencia de la cota de inundación a la proyección de ascenso de nivel medio del mar global para el escenario A1B del IPCC (2000) que resulta ser de un ascenso de 0.003 m/año. Lo cual implica que desde la actualidad (año 2009) hasta el año horizonte (2050) cabe esperar un aumento en la cota de inundación de 12.3 cm.
- Al haberse establecido que la tendencia de la altura de ola significativa excedida 12 horas al año es no significativa estadísticamente (esto que ocurre en indefinidas también se ve reflejado en la propagación hacia aguas someras, siendo también en estas profundidades la tendencia de la  $H_{s12}$  no significativa), tampoco será significativa la tendencia de la profundidad de cierre, no

**DOCUMENTO FINAL**

considerándose en el presente trabajo variaciones de la profundidad de cierre para el año horizonte 2050.

- Al haberse determinado que, tanto la tendencia de la altura de ola significativa en indefinidas, como la tendencia de la dirección del flujo medio anual de energía en indefinidas son no significativas (esto que ocurre en indefinidas también se ve reflejado en la propagación hacia aguas someras, siendo también en estas profundidades la tendencia de las anteriores variables no significativa), se estima que tampoco será significativa la tendencia del transporte potencial longitudinal de sedimentos. Por lo tanto, en este trabajo no se ha contemplado variaciones del transporte potencial de sedimentos para el año horizonte 2050.
- El ascenso del nivel medio del mar global, estimado a partir del escenario A1B del IPCC (2000) en 0.003 m/año (12.3 cm desde la actualidad hasta el año horizonte 2050), generará un retroceso de la línea de costa que ha sido estimado con la regla de Bruun. El retroceso obtenido desde la actualidad (año 2009) hasta el año 2050 oscila entre los 4 m para las playas de gravas hasta los 8 m para las playas de arenas. Este indicador de impacto en la costa es el principal efecto del cambio climático considerado en la zona analizada.
- Al haberse establecido que las tendencias en la dirección del flujo medio anual de energía en indefinidas son no significativas estadísticamente (esto que ocurre en indefinidas también se ve reflejado en la propagación hacia aguas someras, siendo también al pie de la playa la tendencia de la dirección del flujo medio anual de energía no significativa), en el presente trabajo se va a considerar que desde la actualidad (año 2009) hasta el año horizonte 2050 no existen retrocesos de línea de costa por variación del flujo medio de energía.

### **6.5.3. Consideraciones con respecto a las Alternativas de actuación**

- Los principales efectos del cambio climático en las diferentes alternativas de actuación descritas en el capítulo anterior son los asociados al ascenso del nivel medio del mar global, destacando el retroceso de la línea de costa precisamente asociado a este aumento del nivel medio del mar global.
- En la Playa de Sagunto (y para el caso de todas las alternativas de actuación) el efecto del cambio climático supondrá principalmente una reducción en el ancho de playa seca entre 7-8 m por ascenso del nivel medio del mar global desde la actualidad (año 2009) hasta el año 2050. Sin embargo, esta reducción de anchura es asumible en la Playa de Sagunto ya que no supone pérdidas de anchura de playa seca por debajo de los 20 m establecidos como mínimo en los criterios de diseño.



**DOCUMENTO FINAL**

- En el caso de la alternativa 1.1, el efecto principal del cambio climático es la reducción de la anchura de playa seca por efecto del aumento del nivel medio del mar global en 8 m máximo desde la actualidad (año 2009) hasta el año 2050. En general este retroceso no supone pérdidas de ancho de playa seca por debajo de los 20 m establecidos como mínimo en los criterios de diseño, salvo algunas zonas puntuales.
- En el caso de la alternativa 1.2, el efecto principal del cambio climático es la reducción de la anchura de playa seca por efecto del aumento del nivel medio del mar global en 8 m máximo desde la actualidad (año 2009) hasta el año 2050. En general este retroceso no supone pérdidas de ancho de playa seca por debajo de los 20 m establecidos como mínimo en los criterios de diseño, salvo en algunas zonas puntuales (como las zonas de escollera) para el caso de la alternativa 1.2.f (que es la alternativa en la que el vertido inicial de sedimento es menor y el período entre regeneraciones es mayor). Asimismo, debe tenerse presente que por transporte longitudinal de sedimento también se produce un cambio adicional de la línea de costa (retroceso o avance de la misma según la zona), el cual no se atribuye al cambio climático, como ya ha sido comentado en apartados previos, pero que tendrá que ser considerado de cara al diseño de la alternativa elegida como óptima.
- En el caso de la alternativa 2, el efecto principal del cambio climático es la reducción de la anchura de playa seca por efecto del aumento del nivel medio del mar global en 8 m máximo desde la actualidad (año 2009) hasta el año 2050. En esta alternativa, merece la pena destacar que el retroceso que experimenta la línea de costa por transporte longitudinal de sedimento durante el período establecido entre regeneraciones (no asociado al cambio climático) en la zona adyacente a los espigones de separación y al Sur de los mismos, es de varios órdenes de magnitud superior al retroceso existente en esta zona asociado al ascenso del nivel medio del mar global.
- En el caso de la alternativa 3.1, el efecto principal del cambio climático es la reducción de la anchura de playa seca por efecto del aumento del nivel medio del mar global en 8 m máximo desde la actualidad (año 2009) hasta el año 2050. Al igual que en la alternativa 2, las mayores erosiones se producirán al Sur de los espigones diseñados principalmente asociado al transporte longitudinal de sedimento (no al cambio climático).
- En el caso de la alternativa 3.2, el efecto principal del cambio climático es la reducción de la anchura de playa seca desde la actualidad (año 2009) hasta el año 2050 por efecto del aumento del nivel medio del mar global que adquiere un valor máximo de 5 m para los tramos 1, 2, 3, 4 y 5 y un valor máximo de 8 m para el tramo 6.

**DOCUMENTO FINAL**

Finalmente, es importante repetir que, además de las normales reservas en toda prognosis de futuro, en el caso que nos ocupa, debido a las limitaciones de los datos de partida y a las simplificaciones de la metodología empleada para establecer resultados a partir de estos datos de partida, todo lo anteriormente expuesto ha de considerarse como un cálculo aproximado y por tanto los resultados se han de contemplar con cautela.



## **Anejo 1 Anejo I del Documento Preliminar**

### **MODELO DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE SWAN**



## I. MODELO DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE SWAN

### I.1. Introducción

El modelo de propagación energético SWAN, desarrollado por Delft University of Technology, basado en la ecuación de acción de onda que promedia la fase y no reconstruye la superficie del mar en el espacio y el tiempo (Booij, 1999).

Esta base teórica genera uno de los principales atractivos de este modelo, que es la posibilidad de propagar oleaje en todas las direcciones. Además es posible la aplicación de este tipo de modelos a extensas superficies, ya que no requiere un número mínimo de puntos de cálculo por longitud de onda. Por otro lado, las últimas versiones de este modelo (tercera generación) han incorporado fenómenos exclusivos de profundidades someras, como son la rotura del oleaje y las interacciones no lineales (triadas), que han permitido ampliar el rango de aplicación de estos modelos. También se ha modificado el esquema numérico, pasando de ser explícito a ser implícito, de esta manera el esquema es totalmente estable y no está sujeto al criterio de Courant, que conlleva pasos de tiempo muy pequeños en zonas costeras, haciendo inabordable el cálculo computacional. Al ser un modelo energético se consigue simular la generación de oleaje por viento.

Hasta ahora la mayor limitación que presentaba este tipo de modelos era la simulación de la difracción, generalmente mediante difusión numérica. En este modelo se ha incorporado este fenómeno mediante el término de tasa de giro direccional (Holthuijsen, 2003), que se define en posteriores apartados del presente capítulo. A continuación se va a exponer una breve explicación de las ecuaciones que modela el SWAN, y se entrará en más detalle en cómo simula el fenómeno de la rotura y de la difracción.

### I.2. Ecuaciones de partida

La ecuación de la mild-slope se obtiene considerando teoría lineal de ondas y haciendo la hipótesis de que el fondo varía muy suavemente en una longitud de onda. Se parte del potencial total para una onda armónica simple, con la siguiente expresión:

$$\Phi(x, y, z, t) = \phi(x, y)w(z)e^{i\omega t} \quad (1)$$

donde

$$w(z) = \frac{\cosh k(h+z)}{kh} \quad (2)$$

**DOCUMENTO FINAL**

A la ecuación de la mild-slope se llega multiplicando la ecuación de Laplace por esta última expresión y realizando la siguiente integración:

$$\int_{-h}^{\eta} w(z) \nabla^2 \phi dz = 0 \quad (3)$$

De esta forma la ecuación de Laplace en tres dimensiones se transforma en la siguiente ecuación en dos dimensiones:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( CC_g \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( CC_g \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + k^2 CC_g \phi = 0 \quad (4)$$

$$\nabla (CC_g \nabla \phi) + k^2 CC_g \phi = 0 \quad (5)$$

donde:

$C$ : celeridad de onda

$C_g$ : celeridad de grupo

$k$ : número de onda

$\phi$ : parte del potencia de una onda armónica simple dependiente de  $x$ ,  $y$ .

Esta última expresión es la ecuación de la Mild-Slope en su forma explícita, siendo necesario para su resolución el conocimiento de las condiciones de contorno en todos los contornos. Esta ecuación permite la resolución conjunta del asomeramiento, refracción y difracción.

El modelo SWAN está basado en la ecuación de la acción de onda, ecuación de transporte de energía que resulta de sustituir en la ecuación de la mild-slope la parte del potencial total de una onda armónica simple (1) que sólo depende  $x$  e  $y$ , y quedarse sólo con la parte imaginaria. La parte del potencial considerada presenta la siguiente expresión.

$$\phi(x, y) = A(x, y) e^{iS(x, y)} \quad (6)$$

donde  $A$  es la amplitud y  $S$  la fase, ambas funciones reales.

Por tanto, sustituyendo la expresión (6) en la expresión (5), y quedándose con la parte imaginaria, se obtiene la ecuación del transporte, que presenta la siguiente expresión:

$$\nabla (CC_g A^2 \nabla S) = 0 \quad (7)$$

**DOCUMENTO FINAL**

Si se tiene en cuenta que la relación entre la amplitud del potencial (A) y la amplitud de la superficie de la onda (a) es  $A^2 = -g^2 a^2 / \omega^2$ ; que  $\nabla S / |\nabla S|$  es la dirección de propagación, que  $C \cdot |\nabla S|$  es igual a  $\omega$ , y la energía del oleaje es igual a  $E = \frac{1}{2} \rho g a^2$ , la expresión del transporte queda de la siguiente forma:

$$\nabla \left( \frac{E}{\omega} \cdot \bar{C}_s \right) = 0 \quad (8)$$

Esta ecuación se denomina conservación de la acción del número de onda y representa la variación de la altura de ola por asomeramiento y refracción.

A esta ecuación es necesario añadirle un término que simule la entrada y salida de energía al sistema.

En concreto la ecuación que resuelve el modelo de propagación SWAN es la siguiente:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \quad (9)$$

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (10)$$

Se trata de una ecuación de transporte de energía, en el que las variaciones locales de la energía espectral en el tiempo y las variaciones del flujo de energía en el espacio se compensan con las salidas y entradas de energía al sistema. En este caso el espacio presenta cuatro dimensiones, dos correspondientes al espacio geográfico x e y, las otras al espacio espectral, siendo la frecuencia y la dirección sus componentes.

Se considera la densidad de acción  $N(\sigma, \theta)$  en vez de la densidad de energía espectral  $E(\sigma, \theta)$  porque en presencia de corrientes se conserva la densidad de acción y no la densidad de energía. Las variables independientes son  $\sigma$  (frecuencia relativa, en el caso de corrientes), y  $\theta$  (dirección de incidencia del oleaje).

En la ecuación (9) el primer término en la parte izquierda de la ecuación, representa la variación local de la densidad de acción en el tiempo, el segundo y el tercer término representan la propagación de la acción en el espacio geográfico (siendo  $C_x$  y  $C_y$  la velocidad de propagación de la energía del oleaje en la dirección x e y, respectivamente). El cuarto término representa el cambio en la frecuencia relativa debido a variaciones en la profundidad y en las corrientes ( $C_\sigma$ , representa la velocidad de propagación en el espacio frecuencial). El quinto término representa la refracción inducida por la profundidad o las corrientes (siendo  $C_\theta$ , la velocidad de propagación en el espacio direccional).

**DOCUMENTO FINAL**

En cuanto al término localizado en la parte derecha de la ecuación, representa las fuentes y sumideros de la energía espectral, contempla la generación de oleaje por viento, la disipación de energía por whitecapping, por fricción con el fondo y por rotura del oleaje, y las interacciones no lineales del oleaje (triadas y cuádruples).

Las expresiones de las velocidades de propagación de la densidad de energía en las diferentes dimensiones están tomadas de la teoría lineal, presentando las expresiones siguientes (Rogers et al., 1999):

$$C_x = \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right] \frac{\sigma k_x}{k^2} + U_x \quad (11)$$

$$C_y = \frac{dy}{dt} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right] \frac{\sigma k_y}{k^2} + U_y \quad (12)$$

$$C_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[ \frac{\partial d}{\partial t} + \bar{U} \cdot \nabla d \right] - c_g \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial s} \quad (13)$$

$$C_\theta = \frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{1}{k} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial m} \right] \quad (14)$$

donde,

$\bar{k} = (k_x, k_y)$  es el número de onda de magnitud  $k$  (relacionado a través de la ecuación de la dispersión de teoría lineal).

$d$ : profundidad o calado

$\bar{U} = (U_x, U_y)$ : velocidad de la corriente

$s$ : coordenada espacial en la dirección de propagación  $\theta$

$m$ : coordenada espacial en la dirección perpendicular a  $s$ .

## I.2.1 Modelado de la rotura en el SWAN

Como ya se ha expuesto, el modelo SWAN resuelve la ecuación de acción de onda que es una ecuación de conservación de energía espectral, donde aparece un término que incorpora las generaciones y disipaciones de energía, junto con las interacciones que se producen entre las distintas componentes del oleaje.

En este término es donde se introduce las expresiones que parametrizan la pérdida de energía debida al fenómeno de rotura de oleaje. A continuación se va exponer la base de esta modelización y las expresiones que se han introducido en el modelo de propagación del oleaje SWAN.

Para simular la rotura del oleaje en este modelo espectral se ha empleado la formulación desarrollada por Battjes y Janssen (1978). Se trata de un modelo paramétrico basado en la ecuación de balance de energía que simula la transformación del oleaje irregular a través de una ola representativa, definida por  $H_{rms}$ , un periodo constante,  $T_p$ , y un dirección correspondiente a la dirección media de pico,  $\theta$ , a lo largo de la zona de rompientes. La disipación por rotura se calcula como el producto de la energía de disipación de una única ola rota,  $S$ , donde Battjes y Janssen calculan  $S$  a partir de un modelo de disipación de un bore. La aleatoriedad de las olas y el hecho de que no todas las olas que pasan por un punto rompen se introduce mediante la consideración de que la distribución de alturas de ola es de tipo Rayleigh truncada, permitiendo de esta manera estimar la probabilidad de ocurrencia de la rotura,  $Q$ .

Por tanto, partiendo de la expresión que determina la tasa de pérdida de energía asociada a un bore y adoptándola al caso de una ola rompiendo, e introduciendo la probabilidad de ocurrencia ( $Q$ ) de que la ola rota presente un valor de altura de ola igual a  $H_b$  en un determinado punto, se obtiene la siguiente expresión de la tasa de pérdida de energía asociada a la rotura del oleaje:

$$S_{ds,br,tot} = -\frac{1}{4} \alpha_{BJ} Q_b \left( \frac{\bar{\sigma}}{2\pi} \right) H_m^2 \quad (15)$$

donde,

$\alpha_{BJ}$  = constante de proporcionalidad de orden de 1, en el caso del modelo de propagación SWAN este valor es igual a 1.

$Q_b$ : fracción de olas rotas, expresión obtenida a través de la función de distribución de alturas de ola igual a Rayleigh.

$$\frac{1 - Q_b}{\ln Q_b} = -8 \frac{E_{tot}}{H_b^2} \quad (16)$$



**DOCUMENTO FINAL**

$H_b$  : máxima altura de ola que puede existir a la profundidad dada

$\sigma$  : frecuencia media, definida como

$$\bar{\sigma} = E_{tot}^{-1} \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \sigma \cdot E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \quad (17)$$

La altura de ola máxima  $H_b$  se determina mediante la siguiente relación  $H_b = \gamma h$ , donde  $\gamma$  es un parámetro de rotura y  $h$  es la profundidad en el punto de rotura.

Posteriores observaciones en el laboratorio corroboran el empleo de esta formulación ya que se demostró que la forma inicial de un espectro unimodal no varía al propagarse en una playa con barras y no se ve prácticamente afectado por la rotura inducida por la profundidad. A raíz de estos resultados, Eldeberky y Battjes (1995) reformularon la expresión de modelado del bore ampliando la aplicación al dominio espectral, obteniendo la siguiente expresión:

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = -\frac{S_{ds,br,tot}}{E_{tot}} \cdot E(\sigma, \theta) \quad (18)$$

donde  $E_{tot}$  es la energía total del oleaje y  $S_{ds,br,tot}$  es la tasa de energía disipada debido a la rotura por fondo de acuerdo con Battjes y Janssen (1978).

El parámetro de rotura admite varias expresiones, puede ser constante, expresarse en función de la pendiente del fondo o del peralte de la altura de ola incidente. En el caso del modelo numérico SWAN, actualmente se considera un valor constante, por defecto, igual a 0.73, que es un valor medio obtenido en el reanálisis de datos de laboratorio y campo realizado por Battjes y Stive (1985).

La tasa de disipación media del oleaje presenta la siguiente expresión:

$$\bar{D} = \frac{\alpha_1}{4} Q_b f_p \rho g H_b^2 \quad (19)$$

Donde  $\alpha_1$  es una constante de orden uno.

La altura de ola en rotura,  $H_b$ , se determina mediante el criterio de rotura de Miche (1944) con una ligera modificación al incorporar el parámetro de rotura  $\gamma$ :

$$H_b = 0.88 k_p^{-1} \tanh\left(\frac{\gamma \cdot k_p \cdot h}{0.88}\right) \quad (20)$$

**DOCUMENTO FINAL**

donde  $k_p$  es el número de onda definido a partir de la relación de dispersión lineal, con la frecuencia de pico del espectro ( $f_p$ ),  $h$  es la profundidad local del agua y  $\gamma$  la relación de altura de ola y profundidad del agua ( $\gamma = H_b/h$ ). Para profundidades reducidas ( $H_b \sim \gamma h$ ). Para el parámetro  $\gamma$  se emplea la expresión obtenida por Nairn (1990):

$$\gamma = 0.39 + 0.56 \tanh(33S_0) \quad (21)$$

Fundamentalmente el periodo que interviene en la tasa de disipación, la frecuencia media en el caso del SWAN.

### **I.2.2. Modelado de la difracción en el SWAN**

Los efectos de la difracción se han calculado generalmente mediante modelos que resuelven la fase, como son los basados en la ecuación de la mild-slope o modelos Boussinesq. Sin embargo estos modelos, por el contrario, presentan limitaciones en la simulación de la generación del oleaje, en la disipación y en interacción ola-ola.

Una solución a estas limitaciones pasa por la incorporación de la difracción en los modelos espectrales. Actualmente existen dos aproximaciones a este problema. Una de ellas consiste en simular la difracción mediante difusión (ej. Resio, 1988; Booij et al., 1997; Mase et al., 2001). Se ha demostrado que esta aproximación simula algunos efectos de la difracción pero a su vez, estos efectos son limitados (por ejemplo no se simula el giro de la dirección del oleaje) o los esquemas numéricos no son estables. Y la otra aproximación, es la incorporación de la tasa de giro direccional inducida por la difracción (obtenida a través de la ecuación de la mild-slope) (ej. Booij et al. 1997, Rivero 1997). Esta última opción es la que se ha incorporado al modelo SWAN.

La aproximación que se emplea en el modelo de propagación SWAN para la incorporación de la difracción se denomina '**desacoplamiento de fase en la aproximación de la refracción-difracción**', concepto tomado de la ecuación de la mild-slope. A continuación se expone la base teórica de este concepto y su implementación en el modelo SWAN.

Previo a la explicación del origen de la tasa de giro direccional, se va a introducir el concepto de **parámetro de difracción**. En el apartado de la introducción al modelo energético SWAN se ha expuesto cómo se llega a la ecuación de balance de energía (9). Esta ecuación, en función de la energía espectral en vez de la densidad de acción, presenta la expresión 22, que muestra que en presencia de la difracción la velocidad de propagación de la energía en el espacio geográfico está afectada por un factor que es el cociente entre el número de onda real ( $k$ ) y el número de onda que se obtiene de la relación de dispersión o gradiente de la función fase ( $\kappa$ ).

**DOCUMENTO FINAL**

$$\nabla \left[ \frac{k}{\kappa} c_g a^2 \right] = 0 \quad (22)$$

$$C_g = \frac{k}{\kappa} \cdot c_g \quad (23)$$

Por otro lado, sustituyendo la función de onda en la ecuación de la mild-slope se puede comprobar que considerar la difracción supone que el número de onda real está afectado por un término, función a su vez del gradiente de la amplitud, como se puede ver en la expresión 24.

$$k^2 = \kappa^2 + \frac{\nabla(cc_g \nabla a)}{cc_g a} \quad (24)$$

Este segundo término situado a la derecha de la ecuación, dividido entre  $\kappa^2$ , es lo que se denomina parámetro de difracción ( $\delta_a$ ) (25), y por tanto, la velocidad de la fase y de grupo queda de la siguiente forma, expresiones 26 y 27.

$$\delta_a = \frac{\nabla(cc_g \nabla a)}{\kappa^2 cc_g a} \quad (25)$$

$$C_g = c_g \cdot (1 + \delta_a)^{-1/2} \quad (26)$$

$$C = c \cdot (1 + \delta_a)^{-1/2} \quad (27)$$

El concepto de tasa de giro direccional se va a introducir mediante su significado geométrico.

Se considera una línea de igual fase, a lo largo de la cual varía la velocidad de la fase, y dos puntos A y B sobre esta línea separados una distancia  $\Delta m$ , ver figura 1.

**DOCUMENTO FINAL**

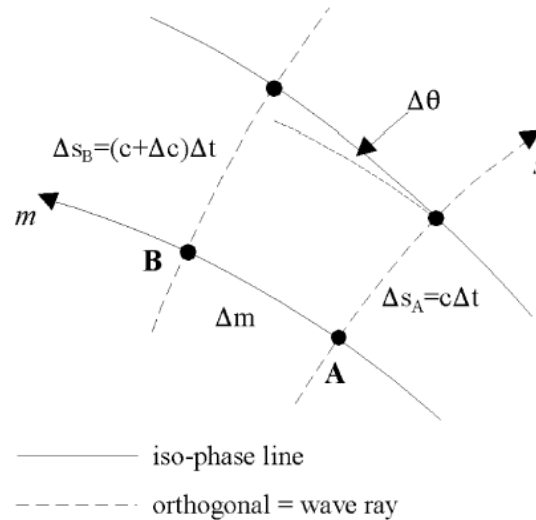


Figura I.1 Giro direccional de una iso-línea y sus ortogonales correspondientes (rayos).

En un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , estos puntos se mueven a lo largo de un rayo (ortogonales a la iso-fase), de manera que el punto A se mueve  $c \Delta t$ , y el punto B  $(c+\Delta c) \Delta t$ . Por tanto la variación del ángulo de la línea de igual fase es  $-\Delta c \Delta t$ . Si se considera la tasa de giro direccional espacial (por unidad de distancia a lo largo del rayo), y se tiene en cuenta que  $\Delta s = c \Delta t$ , y se toman elementos diferenciales queda:

$$\frac{\partial \theta}{\partial s} = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial c}{\partial m} \quad (29)$$

Si se considera el valor de la velocidad de la fase ( $c = \omega/k$ ), y que  $\omega$  es constante, esta tasa de giro presenta la siguiente expresión, donde se ha sustituido la expresión 27, que tiene en cuenta el efecto de la difracción:

$$\frac{\partial \theta}{\partial s} = -\frac{1}{\kappa} \cdot \frac{\partial \kappa}{\partial m} + \frac{1}{2(1 + \delta_a)} \cdot \frac{\partial \delta_a}{\partial m} \quad (30)$$

Una vez definidos el parámetro de difracción y la tasa de giro direccional espacial, se verá cómo se introduce la difracción en la ecuación que modela la propagación del oleaje en el SWAN.

La ecuación de balance de energía espectral que tiene la siguiente expresión:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial c_x E}{\partial x} + \frac{\partial c_y E}{\partial y} + \frac{\partial c_\theta E}{\partial \theta} = S \quad (31)$$

**DOCUMENTO FINAL**

$C_x$  y  $C_y$  son las componentes de la velocidad de grupo y  $C_\theta$  es la velocidad de propagación en la dimensión  $\theta$ , o lo que es lo mismo la tasa de giro direccional en el tiempo.

Esta tasa de giro  $C_\theta$  es el cambio direccional que sufre una componente del oleaje cuando viaja a lo largo del rayo con la velocidad de grupo. De manera que si la energía del oleaje se propaga a lo largo del rayo una distancia  $\Delta s$  en un intervalo  $\Delta t$ , gira un ángulo  $\Delta\theta$ .

La tasa de giro espacial es  $\Delta\theta/\Delta s$ , siendo  $\Delta s = C_g \Delta t$ , y por otro lado la tasa temporal de giro será  $\Delta\theta/\Delta t = C_g \Delta\theta/\Delta s$ , y por tanto queda:

$$c_\theta = c_g \cdot \frac{\partial\theta}{\partial s} \quad (32)$$

$$C_\theta = C_g \cdot \frac{\partial\theta}{\partial s} = C_g \cdot \left( \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{\partial\kappa}{\partial m} + \frac{1}{2(1+\delta_a)} \cdot \frac{\partial\delta_a}{\partial m} \right) \quad (33)$$

Por tanto, incorporar la difracción en el SWAN supone cambiar  $C_g$ ,  $C_\theta$  y  $\frac{\partial\theta}{\partial s}$  por las expresiones vistas con anterioridad en donde interviene el parámetro de difracción.

Un elemento que hay que considerar al introducir estos términos corregidos en el SWAN es que el parámetro de difracción no puede estar expresado en función de la amplitud y por tanto se ha considerado como buena aproximación remplazar  $a$  por  $\sqrt{E}$ , quedando de la siguiente manera:

$$\delta_E = \frac{\nabla(cc_g \nabla \sqrt{E})}{\kappa^2 cc_g \sqrt{E}} \quad (34)$$

Señalar que la ecuación de balance de energía no tiene información de la evolución de la fase del oleaje y que por tanto no es posible representar el patrón de oleaje estacionario.

### **I.2.2.1 Implementación numérica**

La implementación numérica ha presentado una serie de problemas que se han solucionado mediante las siguientes correcciones o incorporaciones (Holthuijsen, 2003).

**DOCUMENTO FINAL**

La propagación en el espacio geográfico se resuelve con un esquema UP-WIND implícito e iterativo con difusión de segundo orden. La propagación en el espacio espectral se resuelve con un esquema implícito UP-WIND de segundo orden, complementado con un esquema central.

La difracción en el SWAN conlleva la resolución de  $\delta_E$  para lo cual es necesario resolver la derivada de segundo orden  $\nabla(CC_g \nabla \sqrt{E})$ , que en cada iteración se resuelve mediante un esquema central basado en iteraciones previas:

$$\left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( CC_g \frac{\partial \sqrt{E}}{\partial x} \right) \right]^n \cong \frac{1}{2\Delta x^2} \left[ \begin{array}{l} \{(CC_g)_i + (CC_g)_{i-1}\} \sqrt{E_{i-1}} \\ - \{(CC_g)_{i-1} + 2(CC_g)_i + (CC_g)_{i+1}\} \sqrt{E_i} \\ + \{(CC_g)_i + (CC_g)_{i+1}\} \sqrt{E_{i+1}} \end{array} \right]^{n-1} \quad (35)$$

La discretización de los gradientes con diferencias finitas en términos de  $E(\sigma, \theta)$  parece trivial pero se ha visto por un lado que al calcular el gradiente espacial de  $\sqrt{E(\sigma, \theta)}$  calculado a través de los nodos próximos o vecinos se debería considerar que presentan direcciones distintas y por tanto, para resolver este problema se calcula primero  $E(\sigma)$ , es decir, la energía espectral integrada en direcciones.

Por otro lado se ha visto que en el campo geográfico aparecen 'wiggles' (perturbaciones numéricas) con una longitud de onda de 2 veces el tamaño de la discretización espacial. Esto afecta al cálculo de los gradientes de la energía espectral necesarios en el cálculo del parámetro de difracción y por tanto, se ha incorporado un filtro energético para suavizar estos gradientes.

$$E_{i,j}^n = E_{i,j}^{n-1} - \alpha \cdot [(E_{i-1,j} - E_{i,j}) + (E_{i,j-1} - E_{i,j}) + (E_{i+1,j} - E_{i,j}) + (E_{i,j+1} - E_{i,j})]^{n-1} \quad (36)$$

siendo los parámetros fundamentales en este filtro,  $\alpha$  (parámetro de suavizado) y  $n$  (número de veces que se aplica). En cada aplicación del filtro, cada punto de cálculo intercambia  $n$  veces  $\alpha$  energía con sus vecinos.





## **Anejo 1 Anejo II del Documento Preliminar**

### **MODELOS DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE OLUCA-RD Y OLUCA-SP**



## II. MODELOS DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE OLUCA RD Y OLUCA SP

### II.1. Introducción

Conocer el oleaje en una zona costera es de vital importancia para los ingenieros de costas. El oleaje que se propaga por zonas costeras de poca profundidad es modificado de forma importante por la batimetría del fondo, la refracción, asomeramiento, disipación de energía y difracción entre otras, son manifestaciones de dichas interacciones. El conocimiento alcanzado en los últimos años sobre estos procesos físicos ha permitido simular dichos procesos en los modelos numéricos de propagación de oleaje.

Desde el punto de vista práctico de la Ingeniería de Costas, podríamos hablar de dos tipos de modelos: (1) aquellos que propagan oleaje monocromático (propagación de un tren de ondas de una única frecuencia y amplitud); y (2) los que propagan un espectro de energía asociado a un oleaje irregular aleatorio. El primer tipo de modelos generalmente se utiliza para caracterizar el patrón de oleaje en una zona de estudio, su bajo costo computacional permite propagar un alto número de trenes de ondas monocromáticas, las cuales se obtienen a partir de los regímenes medios direccionales del oleaje en el área. Estos modelos representan bastante bien el patrón de oleaje, no obstante, tienden a sobreestimar las alturas de ola en profundidades reducidas, con lo cual, deben ser aplicados con cautela a la hora de diseñar estructuras costeras. Dentro de este grupo se ubica el modelo numérico OLUCA-RD, el cual es un modelo de propagación de oleaje monocromático débilmente no lineal.

El segundo tipo de modelos permite conocer en una zona de estudio la altura de ola estadísticamente representativa de un estado de mar (oleaje irregular aleatorio). Este tipo de modelos son bastante precisos en el cálculo de las alturas de ola, requiriendo un alto costo computacional; razones por las cuales generalmente se aplican en la propagación de casos extraordinarios o en aquellos casos en los cuales se requiere obtener con una gran precisión los regímenes de oleaje en una zona de la costa, como es el caso del diseño de estructuras marinas. Dentro de este grupo se encuentra el modelo OLUCA-SP, el cual es un modelo espectral no dispersivo que resuelve la fase.

Estos modelos han sido contrastados mediante casos con solución analítica, ensayos de laboratorio y mediciones de campo. Han sido aplicados en más de 80 proyectos de la costa española y americana, como también en numerosos proyectos de investigación y con fines docentes en la Universidad de Cantabria; experiencia que ha permitido comprobar el buen funcionamiento de los programas.

Con el fin de hacer del OLUCA-RD y el OLUCA-SP aplicaciones ingenierilmente amigables, se han incluido los modelos dentro del programa denominado MORfodinámica de PLAyas a corto plazo (MOPLA), el cual incluye:

- Una interfaz flexible e interactiva por sistemas de menús, que facilita al usuario generar y manejar los archivos, tanto de entrada como de salida, la generación automática de mallas, y la visualización e impresión de gráficos de resultados.

**DOCUMENTO FINAL**

- Modelos de corrientes en playas (COPLARD-2DH, COPLASP-2DH).
- Modelo de transporte de sedimentos y evolución del fondo marino (MOPLA-2DH).
- Interfaz de interacción entre modelos.

El OLUCA-RD y OLUCA-SP se han desarrollado con base en los modelos REF/DIF1 (Kirby et al. 1986b) y REF/DIF S (Kirby et al. 1994) del Center for Applied Coastal Research, Department of Civil Engineering, Newark, Delaware (USA), desarrollados inicialmente para ser aplicados en casos analíticos con fines de investigación y/o docentes. El Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria ha modificado estos modelos incluyendo mejoras en el método numérico de resolución y condiciones de contorno, ampliando su aplicación a proyectos de ingeniería de costas.

En este documento se describen las características de los modelos teniendo en cuenta el planteamiento teórico del problema, condiciones iniciales y de contorno, hipótesis y limitaciones en su aplicación, y finalmente el esquema numérico. Para mayores detalles acerca del contenido de este documento, consultar como referencia los documentos G.I.O.C. (1999, 2000).

## **II.2. Interacción con otros modelos**

Los programas de propagación de oleaje han sido diseñados para que sus archivos de salida puedan ser compatibles con otras aplicaciones desarrolladas por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria, entre los que se encuentran los siguientes:

### **II.2.1. Modelo de corrientes en playas (COPLA-2DH):**

Los programas COPLARD-2DH y COPLASP-2DH resuelven numéricamente las ecuaciones del movimiento promediadas en el período de la onda e integradas en vertical. Calculan las variaciones de los tensores de radiación como agentes impulsores de las corrientes a partir de los resultados de los programas OLUCA-RD y OLUCA-SP, permitiendo también incorporar el viento o la marea como agentes impulsores.

### **II.2.2. Modelos de propagación de ondas de marea (H2D, H3D):**

Son modelos numéricos 2D y 3D que propagan una onda de marea en un estuario, bahía o zonas costeras, obteniéndose velocidades  $U$ ,  $V$ ,  $W$  (caso 3D) y sobre elevación de la

**DOCUMENTO FINAL**

superficie libre  $\eta$ . Estas corrientes unidas con las corrientes del COPLARD/SP, permiten obtener el campo de flujo en una zona costera.

### **II.2.3. Modelo de advección-dispersión (AD2D):**

Modelo numérico bidimensional que simula el transporte por advección y dispersión de sustancias en bahías, estuarios y zonas costeras.

### **II.2.4. Modelo de transporte de sedimentos por oleaje-corriente (MOPLA-2DH):**

Este modelo evalúa en una zona de la costa y/o un estuario, el transporte de sedimentos por fondo y suspensión teniendo en cuenta las formas de lecho, permitiendo la evolución del fondo marino a lo largo del tiempo. Estos procesos son simulados con base en los resultados de los modelos OLUCA-RD/SP, COPLA-RD/SP, H2D y H3D.

### **II.2.5. Sistema de Modelado Costero (SMC)**

Interfaz gráfica que permite determinar la forma en planta y perfil de equilibrio de una playa a largo plazo, como también la regeneración de su batimetría actual con la nueva playa en equilibrio.

## **II.3. Planteamiento teórico del problema**

Los modelos de propagación de oleaje monocromático (OLUCA-RD) y de propagación de oleaje espectral (OLUCA-SP), han sido desarrollados con base en la formulación no-lineal de la aproximación parabólica de la refracción-difracción, con interacción oleaje-corriente, formulación propuesta por Kirby (1986a).

Estos modelos se clasifican dentro de los modelos no dispersivos en amplitud que resuelven la fase y son aplicables sobre batimetrías complejas en dirección a la costa. La batimetría puede incluir la formación de bajos en las desembocaduras de entradas costeras o estuarios, donde la refracción, difracción, asomeramiento, rotura por fondo e interacción ola-corriente son de forma simultánea importantes.

## DOCUMENTO FINAL

El modelo OLUCA-RD requiere como condición inicial en el contorno exterior (mar adentro), un oleaje definido por una onda (altura de ola, período y dirección), la cual es propagada mediante el modelo parabólico en una malla rectangular sobre la batimetría. De manera análoga, el modelo OLUCA-SP requiere como condición inicial del oleaje en el contorno exterior, un estado de mar direccional, el cual se representa mediante un espectro bidimensional discretizado en componentes de energía frecuenciales y direccionales, las cuales se propagan de manera simultánea mediante el modelo parabólico.

Dado que los dos modelos se basan en la misma aproximación parabólica, a continuación se presentan diferentes formulaciones de propagación de oleaje y, entre ellas, el modelo parabólico. Posteriormente, se hablará acerca de las diferencias de su aplicación tanto para el caso de oleaje monocromático, como el caso espectral.

### II.3.1. Modelos de refracción y difracción

La refracción del oleaje determinada mediante las técnicas del trazado de los rayos, utilizando el principio de Fermat y la ecuación de la conservación de la energía a lo largo de cada rayo no incluye la difracción de las ondas y, por lo tanto, resulta inadecuada cuando los efectos de la difracción son importantes. En efecto, frecuentemente, debido a las complejidades de la batimetría, los diagramas de rayos presentan múltiples intersecciones, lo que lleva a dificultades en la interpretación, dado que la teoría predice amplitud de onda infinita en los puntos de intersección.

La difracción del oleaje alrededor de estructuras simples tales como rompeolas se ha resuelto analíticamente para fondo de profundidad constante, Sommerfeld (1886). En el caso de estructuras cilíndricas, McCamy y Fuchs (1954) presentaron la solución para fondo plano horizontal. Estas soluciones no dan sólo la altura de onda en el área abrigada por la estructura, sino que con ellas se obtiene también el oleaje reflejado por ella. Versiones generalizadas de estos problemas de difracción, utilizando técnicas numéricas como el método de la función de Green, han dado lugar a potentes procedimientos de cálculo de fuerzas del oleaje sobre estructuras en aquellos casos en los que la fuerza de arrastre es mucho menor que la de inercia.

Una práctica generalizada para incorporar los efectos de la difracción ha sido el suspender los de la refracción en aquellas áreas donde la difracción es dominante y utilizar la solución analítica de Sommerfeld para fondo plano horizontal. Fuera del área de difracción predominante, se desprecian los efectos difractivos y sólo se considera la refracción. Esta metodología es claramente inexacta, pero permite la inclusión de la difracción de una manera aproximada.

Los modelos combinados de refracción/difracción incluyen ambos efectos explícitamente y, por lo tanto, permiten el modelado del oleaje en aquellas regiones donde la batimetría es irregular y/o donde los efectos de la difracción son importantes. Las situaciones en las

## DOCUMENTO FINAL

que los rayos se cruzan debido a concentraciones locales, provocando cáusticos, se tratan adecuadamente por medio de estos modelos sin que se produzcan amplitudes infinitas.

Los modelos de refracción/difracción combinada son apropiados para el cálculo de las alturas de ola y su dirección en aquellas áreas donde están presentes ambos fenómenos. Como ejemplos, se puede indicar los casos del cálculo del oleaje que penetra en una bahía, o el abrigo producido por una isla cercana a la costa.

El modelo parabólico de refracción/difracción débilmente no lineal que se presenta en este apartado se basa en un desarrollo de Stokes de las ecuaciones que definen el problema de las ondas en el agua, se obtiene a partir de las formulaciones de pendiente suave e incluye una aproximación hasta el tercer orden de la velocidad de fase de la onda o celeridad. La amplitud de la onda se aproxima hasta el segundo orden (Liu and Tsay; 1984). Es necesario indicar que el modelo no contiene todos los términos de tercer orden de un desarrollo de Stokes. Además, el modelo permite determinar el efecto de corrientes dadas sobre la propagación del oleaje.

La aplicación del modelo teórico a situaciones prácticas incluye el uso de una aproximación parabólica, lo que restringe el uso del modelo a los casos donde la dirección de propagación del oleaje está dentro de  $\pm 55^\circ$  alrededor de una dirección de propagación dominante. Los modelos desarrollados en forma de una ecuación parabólica no tienen en cuenta el oleaje reflejado por las estructuras, lo que quiere decir que el fenómeno de la reflexión del oleaje no se reproduce correctamente. La aproximación parabólica se resuelve por medio de una técnica de diferencias finitas para la amplitud de la onda, resultando un sistema en matrices tridiagonales que son, desde el punto de vista de la computación, muy rápidas de invertir.

### II.3.2. Ecuación de la pendiente suave

El problema de la propagación de ondas sobre batimetría irregular es tridimensional e involucra complicadas condiciones de contorno no lineales. Por este motivo, existen muy pocas soluciones al problema tridimensional y todas ellas son para fondo plano horizontal. En dos dimensiones, los sofisticados modelos de Chua and Mei (1970) y Djordjevic and Redekopp (1978) predicen el comportamiento de ondas de Stokes sobre batimetría con variación suave. Para la simplificación del problema tridimensional, Berkhoff (1972), entre otros, hizo notar que la mayor parte de las propiedades de las ondas progresivas lineales podrían ser predichas mediante un modelo ponderado integrado verticalmente.

La ecuación a la que llegó Berkhoff (1972) se conoce con el nombre de "mild slope equation" es decir, ecuación de pendiente suave. La ecuación puede escribirse en función del desplazamiento de la superficie libre,  $\eta(x, y)$ , mediante la utilización de un operador de gradiente horizontal como:

**DOCUMENTO FINAL**

$$\nabla \left( c c_g \vec{\nabla} \eta \right) + \sigma^2 \frac{c_g}{c} \eta = 0 \quad (1)$$

Donde:

$$\vec{\nabla} F = \left[ \frac{\partial F}{\partial x_j} \right] \quad j=1, 2$$

$$\nabla F = \sum \frac{\partial F_j}{\partial x_j} \quad j=1, 2$$

$$c = \sqrt{\left( \frac{g}{k} \right) \tan h kh} = \text{Celeridad de la onda}$$

$$c_g = c \frac{\left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)}{2} = \text{Celeridad de grupo}$$

Donde  $h(x,y)$  es la profundidad local de agua, y  $g$  la aceleración de la gravedad. El número de onda local  $k(x,y)$ , está relacionado con la frecuencia angular,  $\sigma$ , y la profundidad,  $h$ , mediante la relación de dispersión lineal:

$$\sigma^2 = g k \tan h kh \quad (2)$$

El perfil de la onda viene dado por:

$$\eta = A(x,y) e^{i\sigma t} \quad (3)$$

Donde,  $A(x,y)$  es la amplitud compleja con información sobre la fase y la amplitud real de la onda.

Berkhoff (1972) fue el primero en obtener una ecuación de propagación para ondas de pequeña amplitud en zonas con profundidad suavemente variable. Posteriormente, dicha ecuación se amplió para incluir también los efectos de corrientes por Booij (1981) y Kirby (1983). Se han utilizado diferentes métodos matemáticos para obtener las ecuaciones para pendientes suaves. Mientras que Luke (1967), Booij (1981) y Kirby (1983) utilizaron un principio variacional, otros autores han aplicado métodos basados en perturbaciones.

**DOCUMENTO FINAL**

Numerosos autores han aplicado la ecuación de la pendiente suave a diversos casos, principalmente utilizando técnicas de diferencias finitas, ver como ejemplos Jonsson and Skovgaard (1979), Bettes and Zienkiewicz (1977) y Houston (1981).

Radder (1979) desarrolló para la ecuación de la pendiente suave una aproximación parabólica que tiene varias ventajas sobre la forma elíptica presentada por Berkhoff (1972). Primero, no son necesarias las condiciones de contorno en el extremo inferior del recinto de integración y, segundo, permite técnicas de resolución muy eficientes por medio de un modelo en diferencias finitas. Radder (1979) utilizó una técnica de partición de matrices, que implica la separación del campo de ondas en una onda propagándose hacia adelante y otra hacia atrás, despreciándose posteriormente esta segunda (lo que se justifica porque en la mayoría de las aplicaciones sólo tiene interés la onda que se propaga hacia adelante). La aproximación de Radder (1979) para las derivadas transversales en la dirección normal a la de propagación, impone una restricción a su modelo parabólico: las ondas deben propagarse dentro de los  $\pm 45^\circ$  alrededor de la dirección principal de propagación. Booij (1981) desarrolló también un método para la partición de la matriz de la ecuación elíptica, pero su procedimiento incluye más términos en la aproximación de las derivadas transversales y, por lo tanto, su método permite al modelo parabólico manejar ondas dentro del rango de  $\pm 55^\circ$  alrededor de la dirección supuesta. Este procedimiento de Booij se utiliza en el modelo de oleaje monocromático OLUCA-RD y el modelo espectral OLUCA-SP.

La aproximación parabólica débilmente no lineal a la ecuación de pendiente suave viene dada por:

$$c_g \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial y} + i(\bar{k} - k) c_g A + \frac{\sigma}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{c_g}{\sigma} \right) A - \frac{i}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial y} \left[ p \frac{\partial A}{\partial y} \right] - i\sigma k^2 D |A|^2 \frac{A}{2} = 0 \quad (4)$$

Donde:

- $p = c c_g$
- $\bar{k} =$  Número de onda de referencia, tomado como la media a lo largo del eje  $y$ .
- $D =$  Forma parte del término no lineal, y se define como:

$$D = \frac{(\cosh 4kh + 8 - 2 \tan h^2 kh)}{8 \operatorname{sen} h^4(kh)} \quad (5)$$

### II.3.3 Modelos combinados de refracción/difracción.

Los predecesores del OLUCA-RD y el OLUCA-SP fueron desarrollados por Kirby (1983) y Kirby and Dalrymple (1983a), el primero mediante una aproximación Lagrangiana y los segundos mediante una técnica de escalas múltiples.

Estos modelos rellenan el hueco entre los modelos no lineales de difracción y la ecuación lineal de la pendiente suave. Este modelo se puede escribir de diferentes maneras dependiendo de la aplicación. Para aplicaciones dependientes del tiempo se utiliza la forma hiperbólica y para problemas estacionarios, la forma elíptica. Ambas requieren del uso de condiciones de contorno en todos los laterales del dominio del modelo.

Estas condiciones son difíciles de establecer, puesto que la reflexión no es conocida a priori. Estos modelos tienen, sin embargo, la ventaja de que no presentan restricciones para la dirección del oleaje.

Kirby and Dalrymple (1984a) muestran una comparación entre su modelo débilmente no lineal de (1983a) y datos de laboratorio. Los ensayos de laboratorio, realizados en el Delft Hydraulics Laboratory por Berkhoff, Booij and Radder (1982), consistieron en la determinación de la amplitud de las ondas sobre un bajo en un fondo con pendiente. Mientras los resultados predichos por Berkhoff, Booij and Radder (1982) mediante el trazado de los rayos resultaron ser una muy buena aproximación a los ensayos, la predicción obtenida con el modelo de Kirby and Dalrymple (1984a) fue excelente.

Las comparaciones entre los modelos parabólicos lineales y no lineales demostraron la importancia de los términos no lineales dispersivos en las ecuaciones.

### II.3.4. Modelos de interacción oleaje/corrientes.

Utilizando una aproximación Lagrangiana, Booij (1981) desarrolló una versión de la ecuación de la pendiente suave que incluye los efectos de una corriente. En este modelo las corrientes se suponían débiles y cualquier producto entre velocidades de corriente era despreciado. Kirby (1984a) presentó la forma corregida de su modelo de la ecuación de pendiente suave para incluir corrientes. El término no lineal fue añadido por Kirby and Dalrymple (1983b) y en este artículo presentaron los resultados de modificación de las ondas al atravesar un chorro de corriente. La ecuación de pendiente suave modificada para una corriente débil que presentaron es:



**DOCUMENTO FINAL**

$$(c_g + U) A_x + V A_y + i(\bar{k} - k)(c_g + U) A + \frac{\sigma}{2} \left[ \left( \frac{c_g + U}{\sigma} \right)_x + \left( \frac{V}{\sigma} \right)_y \right] A - \frac{i}{2\sigma} (p - V^2) A_y - i\sigma \frac{k^2}{2} D |A|^2 A = 0$$

(6)

Donde  $p = c c_g$  y  $\bar{k}$  = número de onda de referencia, tomando como el promedio del número de onda a lo largo del eje  $y$ ,  $U$  es la velocidad media de corriente en la dirección de la coordenada  $x$  y  $V$  en la dirección  $y$ . El término no lineal incluye  $D$ , que es:

$$D = \frac{(\cosh 4kh + 8 - 2 \tanh^2 kh)}{8 \operatorname{sen} h^4(kh)}$$

Por último, Kirby y Dalrymple (1985) han desarrollado una versión no lineal del modelo parabólico que incluye corrientes fuertes, con base en una formulación Lagrangiana (principio variacional) descrita por Luke (1967), para un fluido no viscoso e irrotacional con una superficie libre. Operando el modelo descrito en Kirby & Dalrymple (1983a,b) se llega a la siguiente ecuación parabólica para la amplitud compleja  $A$ :

$$(c_g + U) \frac{\partial A}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial y} + i(\bar{k} - k)(c_g + U) A + \frac{\sigma}{2} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{c_g + U}{\sigma} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{V}{\sigma} \right) \right] A - \frac{i}{2} \frac{\partial}{\partial y} \left[ (c c_g - V^2) \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{A}{\sigma} \right) \right] + \frac{i}{2} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[ UV \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{A}{\sigma} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ UV \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{A}{\sigma} \right) \right] \right\} + \frac{1}{4k} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} \left[ (c c_g - V^2) \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{A}{\sigma} \right) \right] + 2i \frac{\partial}{\partial x} \left[ \sigma V \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{A}{\sigma} \right) \right] \right\} - \frac{\beta}{4} \left\{ 2i\omega U \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{A}{\sigma} \right) + 2i\sigma V \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{A}{\sigma} \right) - 2UV \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{A}{\sigma} \right) \right\} - \frac{\beta}{4} \frac{\partial}{\partial y} \left[ (c c_g - V^2) \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{A}{\sigma} \right) \right] + \frac{i}{4k} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (\omega V) + 3 \frac{\partial}{\partial x} (\omega U) \right] \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{A}{\sigma} \right) + \alpha A + \frac{\gamma A}{2} + \frac{i\sigma}{2} G(|A|, kh) A = 0$$

(7)

siendo:

$$\beta = \frac{1}{k^2} \frac{\partial k}{\partial x} + \frac{1}{2k^2(c c_g - U^2)} \frac{\partial}{\partial x} [k(c c_g - U^2)]$$

**DOCUMENTO FINAL**

y donde  $A = A(x, y)$  es la función compleja de la amplitud de la onda,  $\alpha$  la disipación por rotura del oleaje,  $\gamma$  la disipación por fricción en el fondo,  $G(|A|, kh)$  es una función no lineal con la amplitud,  $\vec{U} = (U, V)$  es el vector velocidad de la corriente,  $\omega$  es la frecuencia angular absoluta,  $\sigma$  es la frecuencia angular intrínseca,  $c$  es la celeridad de fase o de la onda,  $c_g$  es la celeridad de grupo,  $k$  es el número de onda y  $\bar{k}$  es el número de onda de referencia medio a lo largo del eje  $y$ .

Esta ecuación es la discretizada en el modelo monocromático OLUCA-RD, la cual permite propagar una onda definida por su amplitud, frecuencia y dirección como condición inicial. El desarrollo y las operaciones que se requieren para llegar hasta esta ecuación son muy extensos y no se ha creído apropiado escribirlos detalladamente. Dicho desarrollo puede encontrarse en las referencias: Kirby and Dalrymple (1985), y Kirby (1986a).

Aplicando el principio "Minimax", la ecuación (7) ha sido extendida por Kirby (1986c), permitiendo ángulos de propagación mayores con respecto al eje  $x$ . La ecuación oleaje-corriente extendida que gobierna la refracción, difracción, asomeramiento y disipación de una componente discreta con frecuencia  $j$  y dirección  $l$ , es la siguiente:

$$\begin{aligned}
& (C_{gj} + U)(A_{jl})_x - 2\Delta_1 V(A_{jl})_y + i(\bar{k}_j - a_0 k_j)(C_{gj} + U)A_{jl} \\
& + \left\{ \frac{\sigma_j}{2} \left( \frac{C_{gj} + U}{\sigma_j} \right)_x - \Delta_1 \sigma_j \left( \frac{V}{\sigma_j} \right)_y \right\} A_{jl} \\
& + i\Delta_j \left[ \left( (CC_g)_j - V^2 \right) \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right)_y \right]_y \\
& - i\Delta_1 \left\{ \left[ UV \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right)_y \right]_x + \left[ UV \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right)_x \right]_y \right\} \\
& + \frac{-b_1}{k_j} \left\{ \left[ \left( (CC_g)_j - V^2 \right) \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right)_y \right]_{yx} + 2i \left( \sigma_j V \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right)_y \right)_x \right\} \\
& + b_1 \beta_j \left\{ 2i\omega_j U \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right)_x + 2i\sigma_j V \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right)_y - 2UV \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right)_{xy} + \left[ \left( (CC_g)_j - V^2 \right) \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right)_y \right]_y \right\} \\
& - \frac{i}{k_j} b_1 \left\{ (\omega_j V)_y + 3(\omega_j U)_x \right\} \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right)_x \\
& - \Delta_2 \left\{ \omega_j U \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right)_x + \frac{1}{2} \omega_j U_x \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right) \right\} + ik_j \omega_j U (a_0 - 1) \left( \frac{A_{jl}}{\sigma_j} \right)
\end{aligned}$$

**DOCUMENTO FINAL**

$$+ \alpha A_{jl} + \frac{\gamma_j}{2} A_{jl} + \frac{i\sigma_j}{2} G_{jl} \left( |A_{jl}|, k_j h \right) A_{jl} = 0 \quad (8)$$

Donde  $\alpha$  y  $\gamma$  son los coeficientes de disipación de energía por rotura del oleaje y fricción por fondo respectivamente, las demás variables se definen como:

$A_{jl} = A(x,y)$ , función compleja de la amplitud, para una componente frecuencial  $j$  y direccional  $i$

$h = h(x, y)$ , profundidad

$\vec{U} = (U, V)$ , vector velocidad de la corriente en el eje  $x$  e  $y$  respectivamente

$\omega_j$ , frecuencia angular absoluta de la componente  $j$

$\sigma_j$ , frecuencia angular intrínseca de la componente  $j$

$c_j$ , celeridad de fase o de la ola de la componente  $j$

$c_{gj}$ , celeridad de grupo de la componente  $j$

$k_j$ , número de onda local de la componente  $j$

$\bar{k}_j$ , número de onda medio en  $y$  de la componente  $j$

$$\sigma_j = \omega_j - k_j U$$

$$\beta_j = \frac{1}{k_j^2} \frac{\partial k_j}{\partial x} + \frac{1}{2k_j^2 (c_j c_{gj} - U^2)} \frac{\partial}{\partial x} [k_j (c_j c_{gj} - U^2)]$$

9

$$\Delta_1 = a_1 - b_1; \quad \Delta_2 = 1 + 2a_1 - 2b_1; \quad \Delta_j = a_1 - b_1 \frac{\bar{k}_j}{k_j}$$

$$D_j = \frac{\cosh(4k_j h) + 8 - 2 \tanh^2(k_j h)}{8 \operatorname{senh}^4(k_j h)}$$

(9)

Los coeficiente  $a_0$ ,  $a_1$  y  $b_1$  se escogen con base en el criterio de mínimo error aplicando el principio "Minimax". Siguiendo Greene (1984), Kirby (1986c) describe la aplicación del principio de "Minimax" en problemas de superficie de ondas, las tablas con resultados de los coeficientes pueden ser consultados en dicha referencia. Los coeficientes dependen de un ancho de apertura permitido dependiendo de la dirección de las olas. Algunos de estos coeficientes se definen como:

**DOCUMENTO FINAL**

Aproximaciones parabólicas	$a_0$	$a_1$	$b_1$
Simple: Radder (1979)	1	-0.50	0.00
Padde (1,1): Booij (1981), Kirby (1986c)	1	-0.75	-0.25
Minimax 70: Kirby (1986c)	0.99473303	-0.890064831	-0.451640568

Tabla II.1. Rango de coeficientes  $a_0$ ,  $a_1$  y  $b_1$  de acuerdo con aproximaciones parabólicas.

Kirby (1986c) encontró que para rangos máximos (Minimax 70°) se obtienen resultados razonables dentro de los ángulos que típicamente se utilizan, pero mantiene reservas en cuanto a su aplicación en modelos numéricos, dado que todavía esta aproximación no ha sido suficientemente comprobada. Kirby (1994), recomienda el uso de Padde (1,1) el cual se ha implementado en el modelo espectral OLUCA-SP, obteniéndose resultados razonables dentro de los  $\pm 55^\circ$  con el eje  $x$ .

## II.4. Implementación del modelo parabólico en el oluca-Rd

A continuación se describe brevemente como se ha implementado dentro del modelo de propagación de oleaje monocromático OLUCA-RD, el modelo parabólico de la ecuación (7).

### II.4.1. Dispersión del oleaje debido a la altura de onda

Desde que se presentaron los primeros modelos de la refracción y la difracción combinadas, se sigue investigando el desarrollo de estos modelos originales, basados en teoría lineal, para que den respuesta a varios fenómenos físicos reales no cubiertos todavía por dicha teoría. Entre los fenómenos que son de particular importancia destaca la no linealidad de las ondas, que provoca un aumento de la celeridad por efecto de la dispersión debida a la amplitud, y no sólo debida a la frecuencia, como ocurre en ondas lineales. Se ha demostrado, Kirby and Dalrymple (1983a), (1984a) que la consideración de fenómenos no lineales puede provocar una clara distorsión de los resultados a partir de unas pocas longitudes de onda.

Estrictamente hablando, el modelo OLUCA-RD se basa en un desarrollo de Stokes  $\gamma$ , por lo tanto, está restringido a aquellas aplicaciones donde son válidas las ondas de Stokes. Una medida de la no linealidad es el parámetro de Ursell que viene dado por:

$$U = HL^2 / h^3 \tag{10}$$

Cuando este parámetro excede de 40, la solución de Stokes deja de ser válida. Para lograr que el modelo sea válido en profundidades mucho menores, se le implementa

**DOCUMENTO FINAL**

como opción una relación de dispersión empírica del tipo de la dada por Hedges (1976). Esta relación entre la frecuencia y la profundidad del agua es:

$$\sigma^2 = g k \tanh [kh + k|A|] \quad (11)$$

En profundidades reducidas, esta ecuación converge con la de la onda solitaria, mientras que en profundidades indefinidas se aproxima asintóticamente a los resultados de la onda lineal, despreciando los efectos dispersivos. Por esta razón, se utiliza un modelo, con una relación de dispersión que da una transición suave entre la forma de Hedges (válida en profundidades reducidas) y la de Stokes (válida en profundidades indefinidas). El siguiente es el modelo híbrido propuesto por Kirby and Dalrymple (1986b):

$$\sigma^2 = gk(1 - f_1 k^2 |A|^2 D) \tanh(kh + f_2 k |A|) \quad (12)$$

donde  $f_1$  y  $f_2$  dependen de  $(kh)$  y  $|A|$  es la amplitud de la onda.

Como resultado de las diferentes relaciones de dispersión posibles, se dispone de tres opciones en el OLUCA-RD: (1) modelo lineal, (2) modelo híbrido Stokes-Hedges no lineal, y (3) modelo de Stokes. De estas opciones, la (2) cubre un rango mayor de profundidades de agua y alturas de ola que las otras.

## II.4.2. Modelado de la disipación de energía

En muchos casos, la simulación realista de la propagación de oleaje requiere la inclusión de efectos de disipación de energía, que introducen una ligera no linealidad. La presencia localizada de disipación de energía en el fondo o en algún punto de la columna de agua provoca la difracción del oleaje, así como su atenuación.

La inclusión de un término de disipación de energía en una ecuación de propagación fue estudiada por Skovgaard, Jonsson & Bertelsen (1975), quienes presentaron un modelo de disipación por fricción de fondo. Siguiendo esta idea, Booij (1981) y posteriormente Dalrymple, Kirby & Hwang (1984) desarrollaron modelos parabólicos incluyendo dicho término de disipación.

Dalrymple, Kirby & Hwang (1984), siguiendo el método empleado por Booij (1981), introdujeron un factor de disipación  $\gamma$  en la ecuación de Berkhoff (1972):

$$\vec{\nabla}(c c_g \vec{\nabla} \phi) + (k^2 c c_g + i\sigma\gamma) \phi = 0 \quad (13)$$

**DOCUMENTO FINAL**

**II.4.2.1. Disipación por fricción en el fondo**

Siguiendo el razonamiento para la obtención de la ecuación parabólica de Radder (1979), separando las componentes incidente y reflejada, se llega a una ecuación parabólica con el término de disipación que se muestra en la ecuación (7):

$$+\frac{\gamma}{2}A \tag{14}$$

donde  $\gamma$ , es la disipación de la energía, dividida por la energía (sus unidades son tiempo<sup>-1</sup>), la cual adopta diferentes expresiones dependiendo del origen de la disipación de energía. El modelo OLUCA-RD permite tres opciones de disipación por fondo: (1) capa límite laminar en superficie y fondo (ver Phillips, 1966); (2) capa límite turbulenta (ver Dean y Dalrymple, 1984); y (3) fondos porosos de arena (ver Liu y Dalrymple, 1984).

En el campo, las condiciones de oleaje son tales que la capa límite en el fondo es siempre turbulenta. En este caso, la disipación de energía se puede obtener utilizando el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach,  $f$ . Dean and Dalrymple (1984) demostraron que la disipación de energía para esta capa límite, viene dada por la expresión:

$$\gamma = \frac{2\sigma fk |A| (1-i)}{3\pi \sinh(2kh) \sinh(kh)} \tag{15}$$

con  $f = 4 f_{\omega}$ , donde  $f_{\omega} = 0.01$  ( $f_{\omega}$  es el coeficiente de Darcy-Weisbach para olas).

**II.4.2.2. Disipación por rotura del oleaje**

En la ecuación (7) el término de disipación por rotura del oleaje se presenta mediante la relación:

$$+\alpha A \tag{16}$$

Donde  $\alpha$  es un coeficiente de disipación. Dally et al. (1985) demostraron que la razón de pérdida de flujo de energía del oleaje dependía del exceso de flujo de energía sobre un valor determinado. Este modelo ha sido probado en laboratorio para un determinado número de diferentes valores de la pendiente del fondo y predice muy bien la altura de ola en la zona de rotura. Kirby and Dalrymple (1985) demostraron que la disipación debida a la rotura del oleaje se puede expresar mediante:

$$\alpha = (KC_g(1-(\gamma h/H^2)))/h$$

(17)

donde  $K = 0.15$  y  $\gamma = 0.4$  son constantes empíricas determinadas por Dally et al. (1985). Aquí, la altura de ola viene dada por  $H = 2/A/$ . Utilizando este modelo de disipación y un índice de rotura ( $H > 0.78h$ ) para determinar el inicio de la rotura, el OLUCA-RD es capaz de determinar el oleaje tanto fuera como dentro del área de rotura. El algoritmo de rotura del oleaje siempre es activo en el modelo.

### II.4.3. Modelado del oleaje monocromático

#### II.4.3.1. Condiciones iniciales

A pesar de que el OLUCA-RD se aplica típicamente con trenes de ondas monocromáticos, no existe una restricción intrínseca a este caso. Como condición inicial se da una onda monocromática, la cual define a partir de un período ( $T_0$ ), una dirección ( $\theta_0$ ) y una altura de ola inicial ( $H_0$ ), la cual es impuesta sobre la línea de mar a bierto de la malla (correspondiente a  $x = 0$ ). Como esta línea es paralela al eje  $y$ , la onda se define generalmente por:

$$A(0,y) = \frac{H_0}{2} e^{ily} \quad (18)$$

donde  $H_0$  es la altura de ola inicial y  $l$  es el número de onda en la dirección  $y$ . La  $l$  está relacionada con el número de onda  $k$  por la relación  $l = k \text{sen}(\theta_0)$ , donde  $\theta_0$  es el ángulo que forma la onda con el eje  $x$ .

El contorno del fondo se define a partir de la batimetría inicial y un nivel de marea, con los cuales se genera una malla regular de cálculo.

#### II.4.3.2. Superficie libre y altura de ola en el dominio

Asumiendo que la superficie libre del agua es periódica en el tiempo y que la dependencia espacial se puede dividir en una fase que varía rápidamente y en una amplitud que varía lentamente, la elevación de la superficie libre del agua,  $\eta$ , puede ser representada como:

$$\begin{aligned} \eta(x, y) &= \text{Re}\{A(x, y)e^{i\psi}\} \\ \psi &= i\bar{K}x - \sigma \\ \bar{K}(x) &= \frac{1}{B} \int_0^B k(x, y)dy \end{aligned}$$

**DOCUMENTO FINAL**

(19)

donde:

$x, y$  = sistema de coordenadas, tal que el eje  $x$  va en la dirección principal de propagación y el eje  $y$  perpendicular a éste.

$R_e(z)$  = parte real de un número complejo  $z$ .

$A(x, y)$  = amplitud compleja, definida en un punto  $x, y$  del dominio.

$k(x, y)$  = número de onda en un punto  $x, y$ .

$\bar{K}(x)$  = número de onda medio, representativo de una fila en  $y$ .

$B$  = ancho del dominio (en el eje  $y$ ).

Cuando el campo de oleaje consiste de ondas planas,  $A(x, y)$  puede ser representada en términos de la amplitud constante ( $a$ ) y una dirección ( $\theta$ ) como:

$$A(x, y) = ae^{i[(k \cos \theta - \bar{K})x + k \sin \theta y]} \quad (20)$$

La altura de ola en cada punto del dominio se define como:

$$H(x, y) = 2|A(x, y)| = 2a \quad (21)$$

## II.5. Implementación del modelo parabólico en el oluca-sp

La ecuación (8) del modelo parabólico se ha implementado dentro del modelo espectral de propagación O LUCA-SP, teniendo en cuenta los aspectos que se explican a continuación:

### II.5.1. Dispersión del oleaje debido a la altura de ola significativa

Con el fin de incluir efectos no lineales en la propagación de componentes de energía de un estado de mar, Kirby et al. (1994) propone modificar las relaciones de dispersión aplicadas en ondas monocromáticas (Hedges, ecuación (11) y modelo híbrido, ecuación (12)). Esta modificación se fundamenta en que los efectos no lineales incrementan su



**DOCUMENTO FINAL**

importancia cuando la rotura del oleaje es fuerte. Dado que la altura de ola significativa  $H_s$ , es importante dentro de los modelos de rotura como se verá más adelante, ésta ha sido incluida en las modificaciones en las relaciones de dispersión.

El modelo OLUCA-SP permite las siguientes opciones de ecuaciones de dispersión, para una frecuencia dada  $j$ :

$$\sigma_j^2 = gk_j(1 + \varepsilon_j^2 D_j) \tanh(k_j h) \quad \text{Stokes sin modificar} \quad (22)$$

$$\sigma_j^2 = gk_j \tanh(k_j h + \varepsilon_s) \quad \text{Hedges modificado} \quad (23)$$

$$\sigma_j^2 = gk_j(1 + f_{1j}\varepsilon_j^2 D_j) \tanh(k_j h + f_{2j}\varepsilon_s) \quad \text{Modelo híbrido modificado, Kirby} \quad (24)$$

donde:

$$\begin{aligned} \varepsilon_j &= k_j |A_{jl}| \\ \varepsilon_s &= k_j H_s / 2 \end{aligned} \quad (25)$$

siendo  $h$  la profundidad en un punto dado del dominio, y  $D_j$ ,  $f_{1j}$  y  $f_{2j}$  los mismos definidos anteriormente, para una frecuencia  $j$ . De estas opciones la (24) cubre un mayor rango de profundidades de agua.

## II.5.2. Modelado de la disipación de energía

### II.5.2.1. Disipación por fricción en el fondo

De manera similar al modelo de propagación de oleaje monocromático, la disipación por fondo aparece en la ecuación parabólica (8), mediante el término:

$$+ \frac{\gamma_{jl}}{2} A_{jl} \quad (26)$$

Donde  $\gamma_{jl}$  se define para cada componente frecuencial  $i$  y direccional  $l$ . Al igual que el modelo monocromático se tienen tres posibilidades: (1) capa límite laminar en superficie y fondo; (2) capa límite turbulenta; y (3) fondo poroso de arena. La más utilizada y por defecto en el modelo es la segunda, expresada como:

**DOCUMENTO FINAL**

$$\gamma_{jl} = \frac{2\sigma_j f k_j |A_{jl}| (1-i)}{3\pi \sinh(2k_j h) \sinh(k_j h)} \quad (27)$$

**II.5.2.2. Disipación por rotura del oleaje**

En general, los modelos de disipación del oleaje en rotura pueden clasificarse en dos categorías:

modelos de disipación asociado a la propagación de bores; y

modelos que determinan la variación espacial de la energía de las olas o de la "wave action".

El modelo OLUCA-SP permite seleccionar entre tres modelos, dos de la primera categoría (Battjes y Janssen, 1978 y Thornton y Guza, 1983) y otro de la segunda categoría (Winyu y Tomoya, 1998).

Cuando el oleaje se aproxima a profundidades reducidas cercanas a la zona de rotura, domina fundamentalmente el someramiento y la refracción debido al contorno del fondo. Se incrementan las velocidades y se genera disipación debido principalmente a la fricción del fondo y percolación. Dadas las características aleatorias del oleaje en un estado de mar (diferentes amplitudes, períodos y fases), no existe un punto de rotura, sino una zona de rotura donde en cada punto existen olas rotas y no rotas, siendo la turbulencia el principal mecanismo de disipación. Con lo cual, el proceso de disipación de energía del oleaje asociado a un porcentaje de olas rompiendo en una profundidad dada, se encuentra ligado a las propiedades estadísticas del estado de mar en dicho punto (altura de ola significativa,  $H_s$  o altura de ola cuadrática media  $H_{rms}$ ).

El OLUCA-SP resuelve numéricamente el sistema mediante avances espaciales en el dominio, en cada paso, propaga todas las componentes de energía, las cuales recompone linealmente para obtener  $H_s$  o  $H_{rms}$  (asociadas a un estado de mar). Siendo esta información estadística, la que se emplea como entrada al modelo de disipación de energía debido a la rotura. El OLUCA-SP aplica una aproximación espectral al proceso de rotura del oleaje sin considerar la rotura individual de las componentes propagadas.

La disipación por rotura en la ecuación parabólica (8), se incluye mediante el término:

$$+\alpha A_{jl} \quad (28)$$

donde:

$$\alpha = \frac{4\bar{D}}{\rho g H_{rms}^2} \quad (29)$$

**DOCUMENTO FINAL**

siendo  $H_{rms}$  la altura de ola media cuadrática y  $\bar{D}$  la tasa media temporal de disipación de energía por unidad de área, debida a la rotura del oleaje. El OLUCA-SP presenta como alternativas los siguientes modelos de  $\bar{D}$  :

$$\bar{D} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha_1}{4} \rho g f_p H_{rms}^2 \left( \frac{-Ln Q_b}{1-Q_b} \right) Q_b \quad \text{Battjes y Janssen (1978)} \\ \frac{3\sqrt{\pi}}{16} \rho g \frac{B^3 f_p}{\gamma^4 h^5} H_{rms}^7 \quad \text{Thornton y Guza (1983)} \\ \frac{k_5}{8h} \rho g Q_b C_p H_{rms}^2 \left[ 1 - \frac{(\Gamma_e h)^2}{H_{rms}^2} \right] \quad \text{Winyu y Tomoya (1998)} \end{array} \right. \quad (30)$$

con:

- $\alpha_1$  = constante asociada al tipo de rotura ( $\alpha_1 \sim 1$ )
- $f_p$  = frecuencia pico
- $H_{rms}$  =  $H_{rms}(x, y)$  altura de ola media cuadrática
- $Q_b$  =  $Q_b(x, y)$  fracción de olas rotas en una profundidad del agua
- $B$  = constante asociada al tipo de rotura ( $B \sim 1$ )
- $k_5$  = constante proporcional ( $k_5 = 0.1$ )
- $C_p$  = velocidad de fase asociada a la frecuencia pico
- $\Gamma_e$  = factor de estabilidad de la ola

Una calibración de los distintos parámetros de ajuste de estas expresiones en casos de laboratorio y playas reales, pueden ser consultados en G.I.O.C. (2000). Estos parámetros ya calibrados han sido fijados por defecto dentro del OLUCA-SP.

### II.5.3. Modelado del oleaje espectral

#### II.5.3.1. Condiciones iniciales

El oleaje asociado a un estado de mar se define a partir de un espectro bidimensional ( $S$ ), el cual se localiza en el contorno exterior del dominio (mar adentro), dicho espectro se compone de un espectro frecuencial ( $E$ ) y una función de dispersión dirección ( $D$ ), tal como se muestra a continuación:

$$S(f, \theta) = E(f, h) \cdot D(\theta) \quad (31)$$

**DOCUMENTO FINAL**

El modelo OLUCA-SP permite dos maneras de definir el espectro frecuencial, una mediante la lectura de un archivo externo, y otra a partir de un espectro TMA (Texel Marsen Arsloe) propuesto por Bouws et al. 1985. El espectro TMA ( $E_{TMA}$ ) se aplica en zonas cercanas a la costa donde las profundidades son relativamente poco profundas y las olas son afectadas por el fondo, se define a partir de un espectro JONSWAP ( $E_{JON}$ ), el cual es modificado por una función adimensional de la profundidad  $\Phi_k$  (Hughes, 1984), siendo su expresión como se muestra a continuación:

$$E(f, h) = E_{TMA}(f, h) = E_{JON}(f) \cdot \Phi_k(\omega_h) \quad (32)$$

El espectro frecuencial de entrada queda definido a partir de cuatro parámetros: la profundidad del agua ( $h$ ); la altura de ola significativa ( $H_s$ ); la frecuencia pico ( $f_p$ ); y el factor de ensanchamiento del pico ( $\gamma$  :  $\gamma = 8\sim 10$  oleajes tipo Swell,  $\gamma = 2\sim 4$  oleajes tipo Sea).

La distribución angular de ondas individuales de un espectro en el OLUCA-SP, se describe a partir de la siguiente función direccional normalizada,  $D(\theta)$ , propuesta por Borgman (1984):

$$D(\theta) = \frac{1}{2\pi} + \frac{1}{\pi} \sum_{j=1}^J \left\{ \exp \left[ -\frac{(j\sigma_m)^2}{2} \right] \cos j(\theta - \theta_m) \right\} \quad (33)$$

La función de dispersión direccional queda definida a partir de dos parámetros: (1)  $\theta_m$  es la dirección media del oleaje; y (2) el parámetro  $\sigma_m$  que determina el ancho de la dispersión direccional ( $\sigma_m = 5$  espectro estrecho y  $\sigma_m = 30$  espectro ancho).  $J$  un número arbitrario de armónicos para representar la serie de Fourier (valor seleccionado en el OLUCA-SP  $J = 100$ ). Esta expresión que ha sido aplicada con buenos resultados por diferentes autores (Vicent et al., 1989; Panchang et al., 1990, Pae et al., 1992; Chawla et al., 1998).

A partir del espectro bidimensional definido por la ecuación (31), éste se divide en componentes de igual energía: ( $N_f$  componentes frecuenciales) x ( $N_\theta$  componentes direccionales), las cuales son propagadas simultáneamente aplicando el modelo parabólico de la ecuación (8), sobre una malla de la batimetría.

**II.5.3.2. Superficie libre**

De manera similar a la superficie libre monocromática, la superficie libre del oleaje espectral se puede expresar como:

**DOCUMENTO FINAL**

$$\eta = \sum_j \sum_l \eta_{jl} = R_e \left\{ \sum_{j=1}^{N_f} \sum_{l=1}^{N_\theta} A_{jl}(x, y) e^{\psi_j} \right\}$$

$$\psi_j = i\bar{K}_j x - \sigma_j \quad (34)$$

$$\bar{K}_j = \frac{1}{B} \int_0^B k_j(x, y) dy$$

donde:

$x, y$  = Sistema de coordenadas, tal que el eje  $x$  va en la dirección principal de propagación y el eje  $y$  perpendicular a éste.

$j, l$  = Índice que representan la frecuencia y dirección respectivamente.

$R_e(z)$  = Parte real de un número complejo  $z$ .

$A_{jl}(x, y)$  = Amplitud de onda compleja para una componente frecuencial,  $j$  y direccional,  $l$ . Definida en un punto  $(x, y)$  del dominio.

$N_f, N_\theta$  = Número de discretizaciones en frecuencia y dirección, respectivamente.

$k_j(x, y)$  = Número de onda para una componente con frecuencia angular,  $j$ .

$\sigma_j$  = Frecuencia angular para la componente  $j$ .

$\bar{K}_j(x)$  = Valor representativo del número de onda asociado a una frecuencia angular  $j$ , en una coordenada  $x$ .

$B$  = ancho del dominio (en el eje  $y$ ).

$A_{jl}(x, y)$  puede ser representada para cada componente espectral, en términos de una amplitud constante  $a_{jl}$  y una dirección  $\theta_{jl}$  como:

$$A_{jl}(x, y) = a_{jl} e^{i[(k_j \cos \theta_{jl} - \bar{K}_j)x + k_j \sin \theta_{jl} y]} \quad (35)$$

### **II.5.3.3. Clima de oleaje**

El proceso de discretización del espectro bidimensional, permite definir componentes de energía a las cuales se les asocia una amplitud compleja  $A_{jl}$ , con una frecuencia  $f_j$  y un ángulo de incidencia  $\theta_j$ . Para determinar las pérdidas de energía asociadas a la rotura del oleaje, ecuación (30), es necesario definir en cada punto del dominio una altura de ola estadística (altura de ola significante,  $H_s$  o altura media cuadrática  $H_{rms}$ ). Asumiendo una

**DOCUMENTO FINAL**

distribución de alturas de ola de Rayleigh y utilizando la información de las componentes espectrales en cada punto  $(x, y)$  del dominio, la altura de ola significativa se puede estimar como:

$$H_s(x, y) = \left( 8 \sum_{j=1}^{N_f} \sum_{l=1}^{N_\theta} |A_{jl}(x, y)|^2 \right)^{1/2} \quad (36)$$

y la altura de ola media cuadrática  $H_{rms}$ , como:

$$H_{rms}(x, y) = \sqrt{2} H_s(x, y) \quad (37)$$

También en cada punto  $(x, y)$  del dominio se puede definir el espectro frecuencial  $E(f)$ , como:

$$E(f_j) = \frac{\sum_{l=1}^{N_\theta} |A_{jl}(x, y)|^2}{2(\Delta f_j)} \quad (38)$$

Donde  $j = 1, \dots, N_f$  y  $\Delta f_j =$  ancho de incremento frecuencial para  $f_j$ .

Al objeto de definir el espectro bidimensional en un punto  $(x, y)$  del dominio, el espectro direccional se define dividiendo en 37 rangos de  $5^\circ$  entre  $[\theta = -92.5^\circ$  y  $\theta = 92.5^\circ]$ . Para cada frecuencia, las componentes propagadas poseen un ángulo el cual se ubica en alguno de los 37 rangos direccionales. Posteriormente, se suma la energía para cada uno de los rangos. El espectro direccional se obtiene como:

$$S(f_j, \theta_k) = \frac{\sum_{l=1}^{z_{jk}} |A_{jl}(x, y)|^2}{2\Delta f_j \Delta \theta} \quad (39)$$

Donde  $k = 1, \dots, 37$ ;  $\Delta \theta = 5^\circ$ ;  $z_{jk} =$  número de componentes en la frecuencia  $j$  que se encuentran en el rango  $k$  de dirección.

## II.6. Hipótesis de modelo parabólico de propagación

- 1. Fluido:** No viscoso, incompresible y densidad constante.
- 2. Flujo:** Irrotacional y estacionario.
- 3. Dinámicas:** Presión constante en la superficie libre; no se considera la acción del viento y no se considera la acción de Coriolis.

DOCUMENTO FINAL

**4. Contornos:** se asume que la variación del fondo con las coordenadas horizontales, son pequeñas en comparación con la longitud de onda.

#### Propagación

No linealidad débil: Dependencia de la ecuación de dispersión con la amplitud (Modelo OLUCA-RD), y con la altura de ola significativa (Modelo OLUCA-SP); modelo híbrido no lineal Stokes-Hedges.

Aproximación parabólica: Las componentes se propagan principalmente en una dirección ( $x$ ). Con lo cual se desprecian términos  $\left(\frac{\partial^2(\ )}{\partial x^2}\right)$ . La solución es tanto más aproximada cuanto menor variación haya en la dirección  $x$ .

Esta aproximación parabólica implica varias ventajas y desventajas:

Ventajas: (1) se ha mostrado como una ecuación de gobierno correcta para la propagación de componentes lineales sobre fondos de pendientes suaves, en presencia de corrientes; (2) es una ecuación de tipo parabólico y, como tal, no necesita condiciones en todo el contorno, sino que basta con una condición inicial en el contorno desde el que se va a propagar y condiciones en los contornos laterales; y (3) es una herramienta muy útil para reducir el esfuerzo y el tiempo de computación, pues pueden utilizarse esquemas implícitos de seis puntos como el de Crank-Nicholson y obtener soluciones rápidas y estables.

Desventajas: (1) limitación del ángulo de propagación del oleaje a  $\pm 55^\circ$  con respecto al eje principal, ( $x$ ); (2) se desprecia el efecto de las ondas reflejadas; y (3) las soluciones son tanto más aproximadas cuanto menor variación haya respecto a esa dirección principal.

## II.7. Método de resolución

### II.7.1. Técnica de Crank-Nicolson

El modelo parabólico se resuelve adecuadamente mediante la técnica de diferencias finitas. Para lograrlo, la batimetría del área de estudio debe ser introducida en los nodos de una malla ( $x,y$ ) rectangular, con incrementos en metros entre nodos de:  $D_x$ ,  $D_y$ . Las coordenadas de un nodo se definen mediante los índices  $i, j$  de manera que  $x = (i-1)D_x$  e  $y = (j-1)D_y$ . Los valores de la amplitud compleja  $A(i,j)$  se determinan de manera que satisfagan la ecuación parabólica para todo  $i$  entre 1 y  $M$  y para todo  $j$  entre 1 y  $N$ . El

**DOCUMENTO FINAL**

procedimiento incluye expresar todas las derivadas en las direcciones  $(x,y)$  en términos de la amplitud compleja en varios puntos de la malla.

Debido a la no-linealidad de la ecuación en diferencias finitas, los términos no lineales se aproximan en un primer barrido utilizando los valores  $A_{i,j}$ . Una vez se han calculado los términos  $A_{i+1,j}$ , la ecuación se resuelve de nuevo para  $A_{i+1,j}$ , utilizando ahora los valores bien calculados de los términos no lineales. Este proceso iterativo de doble barrido asegura que las no-linealidades del modelo se traten con exactitud (Kirby and Dalrymple (1983a)).

La solución progresa moviendo una fila de la malla en la dirección  $x$  (incrementando  $i$  en uno) y utilizando la técnica implícita-implícita de doble barrido se determina la amplitud compleja  $A_{i+1,j}$  para todos los valores  $j$  de esa fila. En el caso monocromático solo se propaga una componente, en el caso espectral se propagan  $(N_f * N_\theta)$  componentes simultáneamente entre la fila  $i$  y la fila  $i+1$ . Progresando en la dirección del oleaje, se repiten los cálculos hasta determinar los  $A_{i,j}$  en todos los puntos  $i,j$ . Aunque parezca que el método de Crank-Nicolson pueda ser costoso en tiempo de computador, debido a que se realiza una inversión de matriz para cada fila de la malla, las matrices son  $3 \times N$  y el procedimiento de inversión es, de hecho, muy rápido. El procedimiento es económico en requerimientos de memoria, dado que sólo son necesarios los valores en las filas  $i$  e  $i+1$  en cada cálculo.

## II.7.2. Condiciones Iniciales y de Contorno

La condición inicial es vital para el modelo parabólico. En la primera fila del lado del mar, correspondiente a  $i=1$ , se define el oleaje incidente (monocromático o espectral). Estos oleajes se propagan entonces sobre la batimetría del modelo. En la sección de Oleaje se ha descrito las diferentes condiciones iniciales que se pueden implementar tanto para el OLUCA-RD como el OLUCA-SP.

Como en la solución de cualquier ecuación diferencial, las condiciones de contorno laterales son importantes. Existen varias maneras de tratar los contornos; sin embargo, ninguna de las condiciones de contorno existentes hasta el presente logran la transmisión total del oleaje radiado. Por lo tanto, en los dos modelos se utiliza generalmente una condición lateral de contorno totalmente reflejante en cada lado  $j=1$  y  $j=N$ . Esto requiere que la especificación de la malla del modelo se realice con cuidado, debido a que la reflexión en los laterales de la onda incidente se puede propagar rápidamente hacia el área de interés, dando resultados erróneos. En general, la anchura del modelo debería ser tal que las reflexiones en los laterales no alcancen el área de interés.





## **Anejo 1 Anejo III del Documento Preliminar**

### **MODELO DE CORRIENTES DE ROTURA COPLA-MC Y COPLA-SP**

## III. MODELO DE CORRIENTES DE ROTURA COPLA-MC Y COPLA-SP

### III.1. Introducción

Los modelos Copla-MC y Copla-SP resuelven las ecuaciones de flujo debido a la rotura del oleaje monocromático (MC) y oleaje espectral (SP) en playas.

Los programas Copla-MC y Copla-SP forman parte del "Modelo Integral de Propagación de Oleaje, Corrientes y Morfodinámica en Playas" (Mopla). El cual integra una serie de modelos numéricos que permiten llevar a cabo un análisis a corto plazo en playas.

Además del Copla-MC y Copla-SP, el Mopla incluye los "Modelos de Propagación de Oleaje Monocromático y Espectral" (Oluca-MC y Oluca-SP) y los "Modelos de Erosión / Sedimentación" (Eros-MC y Eros-SP), donde MC significa *monocromático* y SP *espectral*.

### III.2. Planteamiento teórico del problema

#### III.2.1. Introducción

Los modelos Copla-MC y Copla-SP, son modelos numéricos que resuelven las ecuaciones de flujo dentro de la zona de rompientes. Toman como datos de entrada aquellos datos de salida del campo de oleaje calculado a partir de los modelos Oluca-MC y Oluca-SP respectivamente.

Dentro del movimiento del fluido, las corrientes que se generan en la costa influyen de forma importante en la conformación morfológica de las playas, siendo este sistema de corrientes, en muchos de los casos, de notable complejidad. Johnson (1919), distinguió los siguientes tipos de corrientes que pueden contribuir al desarrollo de la línea de costa: corrientes debidas al oleaje, corrientes de marea, corrientes hidráulicas asociadas a oscilaciones de bahías, corrientes debidas al viento, corrientes planetarias asociadas a sistemas oceánicos circulatorios, corrientes debidas a ríos, etc. De todas ellas, en la mayoría de los casos, son las corrientes debidas al oleaje las más importantes en el desarrollo de la línea de costa.

El sistema circulatorio en la zona de rompientes es dominado por las fuerzas inducidas por el oleaje y asociadas a la rotura del mismo. El modelado del sistema circulatorio en la zona de rompientes es necesario para resolver el transporte de sedimentos y las variaciones morfológicas en la línea de costa.

Estos modelos se basan, fundamentalmente, en la resolución de las ecuaciones promediadas del movimiento y la ecuación de la continuidad. Sin embargo, estas ecuaciones pueden ser resueltas con diferentes grados de complejidad. En cualquier caso, la utilización de las ecuaciones promediadas precisa unas expresiones para las

**DOCUMENTO FINAL**

tensiones tangenciales y turbulentas que obligan a introducir una serie de ecuaciones de cierre.

El modelo más completo es el tridimensional (3-D) que resuelve las ecuaciones en una malla tridimensional y, por tanto, las características del sistema circulatorio en toda la columna de agua, a lo largo y perpendicularmente a la costa. Este tipo de modelos en la actualidad requiere un gran espacio computacional, debido a la magnitud del sistema a resolver, y tiene grandes dificultades de calibración, dadas sus características tridimensionales.

Con el fin de simplificar el modelo circulatorio, se reduce una dimensión, pasando a los modelos bidimensionales (2-D). La técnica de resolución numérica más comúnmente utilizada es diferencias finitas y, especialmente, esquemas de tipo implícito, dado que éstos reducen las inestabilidades numéricas.

Existen dos aproximaciones diferentes a estos modelos, los puramente 2-D (2-DV) y los modelos integrados en vertical (2-DH). En el primer caso (2-DV), (Dally y Dean (1984), Stive y Battjes (1984)), se asume que las velocidades y gradientes en la dirección paralela a la costa son nulos y los resultados obtenidos son velocidad y niveles. Los modelos (2-DH), (Basco (1983), de Vriend (1987)) resuelven las ecuaciones del movimiento y de continuidad integradas en vertical sobre una malla y como resultado se obtienen niveles y las dos componentes horizontales de la velocidad; sin embargo, presentan el inconveniente de perder la estructura vertical del flujo. Toda la estructura vertical del flujo queda embebida en la expresión de la fricción en el fondo.

## **III.2.2 Modelo de corrientes en la zona de rompientes**

### ***Planteamiento del Problema***

Shepard e Inman (1950) propusieron una justificación de la existencia de corrientes inducidas por el oleaje en un análisis bidimensional de la propagación y rotura del oleaje. Este análisis fue completado por otro tridimensional por los mismos investigadores, donde se puso de manifiesto por primera vez el concepto de un sistema circulatorio de corrientes en la zona litoral.

En los últimos años se han presentado diversas teorías que han permitido contestar algunas cuestiones planteadas, pero siempre con carácter parcial y con fuertes limitaciones en su aplicación a casos muy concretos y particulares. Pero estas teorías han presentado un mundo más complejo que el descrito en el modelo de Shepard e Inman. Uno de los grandes avances en este área surgió a partir de la introducción del concepto de tensión de radiación, Longuet-Higgins y Stewart (1962), concepto que puede ser explicado de la siguiente manera:

**DOCUMENTO FINAL**

Con el paso de una onda, se puede considerar dos movimientos: el movimiento instantáneo de las partículas y el movimiento neto de las partículas o transporte de masa. En profundidades indefinidas e incluso intermedias, este transporte de masa es pequeño; sin embargo, en profundidades reducidas, donde la onda se propaga a lo largo de un talud, como es el caso de la playa, la celeridad de la onda decrece, la velocidad instantánea crece, lo mismo que la velocidad de transporte de masa, en el momento de romper la ola, se igualan las velocidades instantáneas, de masa y celeridad, en magnitud y dirección; en la rotura, se inyecta un exceso de masa de agua que genera un exceso de cantidad de movimiento dentro de la zona de rompientes, denominados tensores de radiación, los cuales son los generadores de corrientes en playas debidos únicamente al oleaje.

***Hipótesis del modelo***

El modelo de corrientes en playas se deduce a partir de las ecuaciones de Navier-Stokes, con base en las siguientes *hipótesis*:

Con respecto al fluido:

- Fluido homogéneo.
- Incompresible.
- Densidad constante.

Con respecto al movimiento:

- La variación del fondo del mar con respecto a la horizontal es lenta (aceleraciones verticales muy pequeñas), lo que implica que las principales características del sistema de corrientes en playas están contenidas en la variación horizontal de las propiedades integradas en la profundidad, por lo que la velocidad de corriente ( $u, v$ ) es independiente de la profundidad.
- Los movimientos asociados a las corrientes de playa son permanentes, permitiendo esto promediar las ecuaciones que los representan en el tiempo (período del oleaje), lo cual significa que para períodos de tiempo mayores al del período del oleaje las variaciones temporales son despreciables. Cada tren de ondas incidente crea su propio sistema circulatorio de corrientes.
- Los efectos de viscosidad molecular son débiles, excepto en contornos, en consecuencia, se puede admitir que el movimiento oscilatorio es esencialmente irrotacional, Longuet-Higgins y Stewart (1962).
- Las fluctuaciones turbulentas debidas al oleaje son despreciables.
- Se rechaza la fuerza de Coriolis.
- Las corrientes son suficientemente débiles como para considerarse su interacción con el tren de ondas.

**DOCUMENTO FINAL**
**Modelo de corrientes de playa**

El modelo bidimensional de corrientes en playa se deduce de las ecuaciones de Navier-Stokes. Si se integra estas ecuaciones en la profundidad y se promedian en un período de tiempo en un sistema de coordenadas localizado en el nivel medio del mar ( $x$  = dirección transversal a la playa;  $y$  = dirección longitudinal a la playa;  $z$  = dirección vertical) bajo las hipótesis anteriormente planteadas, se obtienen las siguientes ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento:

Continuidad:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(UH)}{\partial x} + \frac{\partial(VH)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Momentum:

Dirección  $x$  (transversal a la playa)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{\rho H} \frac{\partial}{\partial x} (S_{xx}) + \\ & \frac{1}{\rho H} \frac{\partial}{\partial y} (S_{xy}) + \frac{gU}{C^2 H} (U^2 + V^2)^{1/2} - \varepsilon \left[ \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \right] = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Dirección  $y$  (longitudinal a la playa)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{\rho H} \frac{\partial}{\partial x} (S_{xy}) + \\ & + \frac{1}{\rho H} \frac{\partial}{\partial y} (S_{yy}) + \frac{gV}{C^2 H} (U^2 + V^2)^{1/2} - \varepsilon \left[ \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \right] = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

donde:

$$H = \eta + h \quad (4)$$

**DOCUMENTO FINAL**

$$S_{xx} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \int_{-h}^{\eta} (\rho u^2 + p) dz dt - \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \int_{-h}^0 p_0 dz dt \quad (5)$$

$$S_{yy} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \int_{-h}^{\eta} (\rho v^2 + p) dz dt - \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \int_{-h}^0 p_0 dz dt \quad (6)$$

$$S_{xy} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \int_{-h}^{\eta} \rho uv dz dt \quad (8)$$

$$V = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \int_{-h}^{\eta} v(x, y, z, t) dz dt \quad (7)$$

$$\eta = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \eta(x, y, t') dt' \quad (9)$$

$$U = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \int_{-h}^{\eta} u(x, y, z, t) dz dt \quad (10)$$

***Tensores de radiación debido al oleaje monocromático (modelo Copla-MC)***

Aplicando la teoría lineal de ondas, se obtienen las expresiones para los tensores de radiación al 2º orden:

$$S_{xx}(x, y) = E \left( n \cos^2 \theta + n - \frac{1}{2} \right) \quad (11)$$

**DOCUMENTO FINAL**

$$S_{yy}(x, y) = E \left( n \operatorname{sen}^2 \theta + n - \frac{1}{2} \right) \quad (12)$$

$$S_{xy}(x, y) = E \operatorname{sen} \theta \cos \theta \quad (13)$$

donde:

$$E = \frac{\rho g H_1^2}{8} \quad (14)$$

**DOCUMENTO FINAL**

$$S_{xx}(x, y) = \frac{1}{2} \rho g \sum_{j=1}^{N_f} \sum_{l=1}^{N_\theta} |A_{jl}|^2 \left[ n_j (1 + \cos^2 \theta_{jl}) - \frac{1}{2} \right] \quad (11a)$$

$$S_{yy}(x, y) = \frac{1}{2} \rho g \sum_{j=1}^{N_f} \sum_{l=1}^{N_\theta} |A_{jl}|^2 \left[ n_j (1 + \sin^2 \theta_{jl}) - \frac{1}{2} \right] \quad (12 a)$$

$$S_{xy}(x, y) = \frac{1}{4} \rho g \sum_{j=1}^{N_f} \sum_{l=1}^{N_\theta} |A_{jl}|^2 n_j \sin(2\theta_{jl}) \quad (13 a)$$

$$n_j = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2K_j h}{\sinh(2k_j h)} \right) \quad (15 a)$$

Las variables dependientes del problema son  $\eta$ ,  $U$ ,  $V$ , que representan la elevación de la superficie libre sobre el nivel de referencia y las velocidades de las corrientes promediadas en vertical en un período de tiempo en las direcciones  $x$  e  $y$ , respectivamente.

Las otras variables de la ecuación son:

$A_{jl}(x, y)$	=	amplitud para una componente frecuencial $j$ y direccional $l$ , en un oleaje irregular
$h$	=	calado hasta el nivel de referencia
$H$	=	calado total
$j$	=	componente frecuencial en un oleaje irregular
$l$	=	componente direccional en un oleaje irregular
$n$	=	relación de velocidad del grupo $c_g$ con respecto a la velocidad de fase $c$
$n_j$	=	relación de velocidad de grupo $c_{gj}$ con respecto a la velocidad $c_j$ de la componente frecuencial $j$
$t$	=	tiempo
$T$	=	período del oleaje
$S_{xx}$	=	tensor de radiación actuando en el plano $x$ a lo largo del eje $x$
$S_{xy}$	=	tensor de radiación actuando sobre el plano $y$ a lo largo del eje $x$ (por simetría $S_{xy} = S_{yx}$ )
$S_{yy}$	=	tensor de radiación actuando en el plano $y$ a lo largo del eje $y$
$\eta(x, y, t)$	=	elevación de la superficie libre a partir del nivel medio del mar
$u$	=	velocidad instantánea en dirección $x$



**DOCUMENTO FINAL**

v	=	velocidad instantánea en dirección y
E	=	energía del oleaje monocromático
k	=	número de onda
ki	=	número de onda asociado a la componente frecuencial j
θ	=	ángulo del vector número de onda con el eje x
θ <sub>jl</sub>	=	ángulo del vector número de onda con el eje x para una componente frecuencial j y direccional l
c	=	coeficiente de Chézy
ε	=	coeficiente de "Eddy viscosity" o viscosidad de remolino
P	=	presión total (dinámica mas estática)
P <sub>0</sub>	=	presión estática a partir del nivel medio de referencia
H <sub>1</sub>	=	altura de ola
g	=	aceleración de la gravedad
ρ	=	densidad del flujo.

### III.2.3 Discusión de parámetros

Los dos parámetros importantes que influyen en el movimiento de las corrientes son: la rugosidad del fondo, expresada por el número de Chézy,  $c$  ( $m^{1/2}/s$ ) y la viscosidad de remolino "Eddy viscosity",  $\varepsilon$ .

#### ***Rugosidad del fondo***

El término de fricción es un término consumidor de cantidad de movimiento debido a la fricción del flujo (interacción oleaje - corriente) con el fondo. Gran cantidad de modelos de rugosidad en la zona de rompientes se han planteado en la literatura, como es el caso de Longuet-Higgins (1970), Thornton (1970), Jonsson (1966), Grant y Madsen (1979), Tanaka y Shuto (1981), donde plantean sistemas combinados de oleaje-corriente. El principal problema de estas formulaciones a nivel numérico, es la dificultad de su calibración, debido a la cantidad de parámetros que intervienen y la dificultad en algunos casos para medirlos. Tanto en el Copla-MC como en el Copla-SP se emplean expresiones análogas a las de flujo en ríos y estuarios; que en este tipo de modelos han funcionado apropiadamente:

En x:

$$\frac{gU}{c^2 H} (U^2 + V^2)^{1/2} \quad (15)$$

En y:

**DOCUMENTO FINAL**

$$\frac{gV}{c^2 H} (U^2 + V^2)^{1/2} \quad (16)$$

Como puede observarse, el término de rugosidad depende de la profundidad; a menor profundidad, mayor resistencia al flujo, consumiendo mayor cantidad de movimiento, también depende de las velocidades medias y de un coeficiente denominado de Chézy,  $c$ .

***Coefficiente de fricción de Chézy (Modelo Copla-MC)***

Para el caso de corrientes a partir de un oleaje monocromático, se ha implementado una formulación de rugosidad constante ( $c = \text{cte.}$ ) en todo el dominio de cálculo.

El rango de variabilidad recomendado en playas para este tipo de formulación de fricción con  $c$ , está entre (5 y 20  $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ). Éste es un valor mucho menor que el típico en zonas de estuarios y ríos (30 a 50  $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ), debido a la gran fricción que genera el oleaje.

El modelo evalúa el coeficiente de rugosidad de Chézy,  $c$  ( $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ), como una función espacial y temporal de la hidrodinámica y características de los sedimentos del fondo:

$$c(x, y, t) = 18 \log \left( \frac{12H}{K_{swc}} \right) \quad (18 a)$$

donde  $x, y$  son las coordenadas espaciales en el plano,  $t = \text{tiempo}$ ,  $H(x, y, t)$  es la profundidad total del agua en metros y  $K_{swc}(x, y, t)$  es la rugosidad efectiva en metros.

La rugosidad hidráulica representada por,  $K_{swc}$ , es un flujo con fondo móvil, se define como:

$$K_{swc} = K_s + K_{sf} \quad (18 b)$$

donde:

$K_s$ : es la rugosidad asociada al tamaño de los sedimentos del fondo, rugosidad de Nykuradse (Van Rijn (1993, 1984 a, b); Hey (1979); Gladki (1975); Kamphuis (1979); Einstein (1950)).

$K_{sf}$ : es la rugosidad asociada a las formas del lecho, debido a la interacción oleaje-corriente (Van Rijn (1993, 1984 a, b); Yalin (1972)).

**DOCUMENTO FINAL**

Normalmente en flujos de corriente (flujo en caudales, ríos, ...), sin la presencia del oleaje, la rugosidad efectiva es un orden de magnitud menor ( $K_s \sim 0.1 K_{swc}$ ). Se propone dentro del modelo con rango recomendado ( $0.0 < K_{swc} \leq 2.0$ ), definiéndose por defecto en zonas de playa con interacción ola-corriente ( $K_{swc} = 1.0$  m).

**Viscosidad de remolino**

Este parámetro se emplea para describir la "turbulencia" en la zona de rompientes. Asumiendo que la turbulencia en esta zona es isotrópica, el término de turbulencia se escribe usualmente de la siguiente forma:

En x:

$$\varepsilon \left[ \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \right] \quad (17)$$

En y:

$$\varepsilon \left[ \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \right] \quad (18)$$

Esta expresión se basa en la analogía con el flujo laminar, donde los esfuerzos cortantes se asumen proporcionales al gradiente de la velocidad media.

La intensidad de la turbulencia causada por las olas rompiendo está distribuida en toda la zona de rompientes. El actual conocimiento sobre la difusión de la turbulencia todavía no es suficiente y una discusión en detalle con respecto a este parámetro es imposible hoy en día; han sido propuestas muchas expresiones para  $\varepsilon$ ; Bowen (1969), Thornton (1970), Longuet-Higgins (1979). Sawaragi (1992) presenta un resumen de formulaciones hechas para este parámetro en corrientes de playas, pero ninguna de ellas deja de ser más que una hipótesis.

La turbulencia, al igual que la fricción, es consumidora de cantidad de movimiento y comienza a ser más importante que el término de fricción a mayores profundidades, del orden del tamaño de los elementos de la malla.

En este modelo se permite al igual que con  $c$ , definir  $\varepsilon$ , como una constante en toda la malla. Como puede verse en las ecuaciones (19) y (20), el término de turbulencia relaciona de alguna forma las velocidades medias ( $U, V$ ) con el tamaño de malla ( $\Delta x, \Delta y$ ) y el parámetro de viscosidad de remolino,  $\varepsilon$ .

**DOCUMENTO FINAL**

Se define como rango recomendado para  $\varepsilon$ ;

$$\varepsilon_{\min} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\max} \quad (20 \text{ a})$$

donde,

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\Delta_s^2}{8\Delta t} \text{ con } \Delta_s = \text{mínimo}(\Delta x, \Delta y) \quad (20 \text{ b})$$

$$\varepsilon_{\min} = \frac{\varepsilon_{\max}}{10} \quad (20 \text{ c})$$

Para obtener un orden de magnitud de  $\varepsilon$ , se puede aplicar la siguiente relación empírica:

$$\varepsilon = K_2 \Delta x U \quad (19)$$

donde  $K_2$  es un parámetro entre [1.5~2.5] y  $U$  es una velocidad media en la zona de rompientes.

Tomando un  $K_2 \sim 2$  y  $U \sim 0.5 \text{ m/s}$ , obtenemos que  $\varepsilon \sim \Delta x$ , lo cual es un orden de magnitud adecuado para definir la viscosidad de remolino en la zona de rompientes. Un valor típico para  $\varepsilon$  en playas varía entre 15 y 25, que son tamaños típicos de mallas en la zona de rotura.

### III.3. Método de resolución

#### III.3.1. Técnica de Solución Numérica

Para resolver el sistema de ecuaciones bidimensional de movimiento, se emplea un método implícito de dirección alterna usado por Leendertse (1970), método utilizado en el modelo H2D de propagación de ondas largas y el cual es la base numérica de este modelo.

Las ecuaciones linealizadas del movimiento se pueden escribir en forma de matriz y el método para su resolución emplea un esquema centrado con dos niveles de tiempo, resultando tener una aproximación de segundo orden en espacio y tiempo. El primer paso en el procedimiento computacional consiste en un barrido de la malla en el eje x para, posteriormente, hacer un barrido en el eje y. Una vez concluidos los dos barridos, se ha avanzado un paso de tiempo. El método de resolución es bastante eficiente.

**DOCUMENTO FINAL**

La aplicación de la apropiada ecuación a una fila o columna de la malla transforma el sistema en un conjunto de ecuaciones lineales cuyo coeficiente matricial es tridiagonal. Los problemas de matrices tridiagonales pueden ser resueltos directamente, sin ser necesaria la inversión de matrices.

A medida que se resuelve cada paso de tiempo, se va obteniendo los valores de la velocidad ( $U, V$ ) y de la superficie libre ( $\eta$ ) en cada uno de los puntos de la malla.

El resultado final resulta ser el campo de velocidades y niveles para cada punto y a lo largo del tiempo.

El modelo tiene la posibilidad de incluir dentro los cálculos, los términos convectivos no lineales y los términos asociados a la turbulencia.

Hay dos parámetros fundamentales para la estabilidad del modelo: el primero es el intervalo de tiempo para ejecutar los cálculos, y el segundo la discretización espacial del tamaño de malla.

**III.3.2. Intervalo de Tiempo,  $\Delta t$ :**

El intervalo de tiempo para los cálculos de cumplir la relación de estabilidad de Courant, definida por la siguiente expresión:

$$\Delta t = \frac{c_U \Delta x}{\sqrt{gh + U}}$$

donde:

- $\Delta t$  = intervalo de tiempo de cálculo
- $\Delta x$  = discretización espacial del tamaño de la malla
- $h$  = profundidad máxima del dominio
- $U$  = orden de magnitud de la velocidad media esperada
- $c_U$  = número de Courant, donde  $c_U = 10$  cuando no se tienen en cuenta los términos no lineales,  $c_U = 2$  con términos no lineales
- $g$  = aceleración de la gravedad.

**III.3.3. Discretización Espacial,  $\Delta x$ :**

Este parámetro es seleccionado anteriormente como limitante del modelo de propagación de oleaje, el cual necesita definir, por lo menos, 8 puntos por una longitud de onda de la ola propagada.

DOCUMENTO FINAL

Para resolver el sistema, una estimativo del tamaño de los elementos de la malla, se puede obtener mediante la relación:

$$\Delta x = \frac{L}{8} \cong \frac{\sqrt{gh} T}{8}$$

donde  $T$  es el período de la onda y  $h$  una profundidad característica.

### III.3.4. Condiciones Iniciales y de Contorno

Las condiciones iniciales al modelo de corrientes, se obtienen de los archivos de salida de los programas Oluca-MC y Oluca-SP, los cuales son ejecutados previamente dadas unas características de altura de ola, dirección, período y nivel de marea, (Oluca-MC) u oleaje definido por un espectro bidimensional (Oluca-SP).

Con estos valores de oleaje, el modelo evalúa los gradientes de los tensores de radiación, elementos generadores de corrientes.

Es importante resaltar que el modelo parte de un estado de reposo en el tiempo cero; inmediatamente después, se introducen unos esfuerzos en el flujo de agua, necesitando un tiempo para llegar a una estabilización del sistema, donde  $U, V$  y  $\eta$  son constantes en el tiempo.

### III.4. Bibliografía

Basco, D.R., 1983. *Surf-Zone Currents*. Coastal Engrg., Elsevier, 7, pp. 331-357.

Bowen, A.J., 1969a. *The generation of Longshore Currents on a Plane Beach*. 5 Marine Res., Vol. 27, pp. 206-215.

Bowen, A.J., 1969b. *Rip Currents, 1: Technical Investigations*. J. Geophys. Res., Vol. 83, pp. 1913-1920.

Dally, W., and Dean, R.G., 1984. *Suspended Sediment Transport and Beach Profile Solution*. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng. Vol. 110, Nº 1, p 15 - 33.

Grant, W.D., O.S. Madsen, 1979. *Combined Wave and Current Interaction with a Rough Bottom*. J. Geophys. Res., Vol. 84, pp. 1797-1808.

**DOCUMENTO FINAL**

Johnson, I.G., 1966. *Wave Boundary Layer and Function Factors*. Proc. 10<sup>th</sup> Coastal Engrg. Conf., ASCE, pp. 127-148.

Longuet-Higgins, M.S., 1970. *Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves*. 1, 2, 5 Geophys. Res., Vol. 75, pp. 6778-6801.

Longuet-Higgins, M.S., Stewart, R.W., 1964. *Radiation Stresses in Water Waves - A Physical Discussion with Applications*. Deep-Sea Res., Vol. 11, pp. 529-562.

Longuet-Higgins, M.S., Stewart, R.W., 1962. *Radiation Stress and Mass Transport in Gravity Waves, with Application to 'Surf Beat'*. 5, Fluid Mech., Vol. 13, pp. 481-504.

Shepard, F.P., D.L. Inman, 1950. *Nearshore Circulation Related to Bottom Topography and Wave Refraction*. Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 3, No. 2, pp. 196-212.

Stive, M.J.F., J.A. Battjes, 1984. *A Model for Offshore Sediment Transport*. Proc. 19<sup>th</sup> Intl. Coastal Engineering Conference, ASCE, pp. 1420-1436.

Tanaka, H., y Shuto, 1981. *Function Coefficient for a Wave-Current Coexistent System*. Coastal Engrg. in Japan, Vol. 24, pp. 105-128.

Thornton, E.B., 1970. *Variation of Longshore Current across the Surf Zone*. Proc. 12<sup>th</sup> Coastal Engineering Conference, ASCE, pp. 291-308.

de Vriend, H.J., 1987. *Two- and Three-Dimensional Mathematical Modelling of Coastal Morphology*. Delft Hydraulics Communications, No. 377.



## **Anejo 1 Anejo IV del Documento Preliminar**

### **REGÍMENES MEDIOS y ROSAS DE OLEAJE EN PUNTOS OBJETIVO**



## IV. REGÍMENES MEDIOS Y ROSAS DE OLEAJE EN PUNTOS OBJETIVO

### IV.1. Introducción

En el presente anejo se incluyen los regímenes medios y las rosas de oleaje en los siguientes puntos objetivo cuya localización se muestra en las siguientes tablas y figuras.

ZONA 1	Coordenadas UTM	
	x	y
<b>Punto 1</b>	750810.28	4415828.78
<b>Punto 2</b>	750442.60	4415487.20
<b>Punto 3</b>	750270.02	4415340.66
<b>Punto 4</b>	750087.00	4415223.42
<b>Punto 5</b>	749889.74	4414821.54
<b>Punto 6</b>	750349.58	4416246.25
<b>Punto 7</b>	749869.27	4416006.59
<b>Punto 8</b>	749561.67	4415900.48
<b>Punto 9</b>	749302.19	4415707.81
<b>Punto 10</b>	749067.87	4415223.89
<b>Punto 11</b>	748831.46	4414782.93
<b>Punto 12</b>	749151.73	4415722.36
<b>Punto 13</b>	749089.26	4415610.54

Tabla IV.1 Localización de puntos objetivo en la zona 1.

DOCUMENTO FINAL

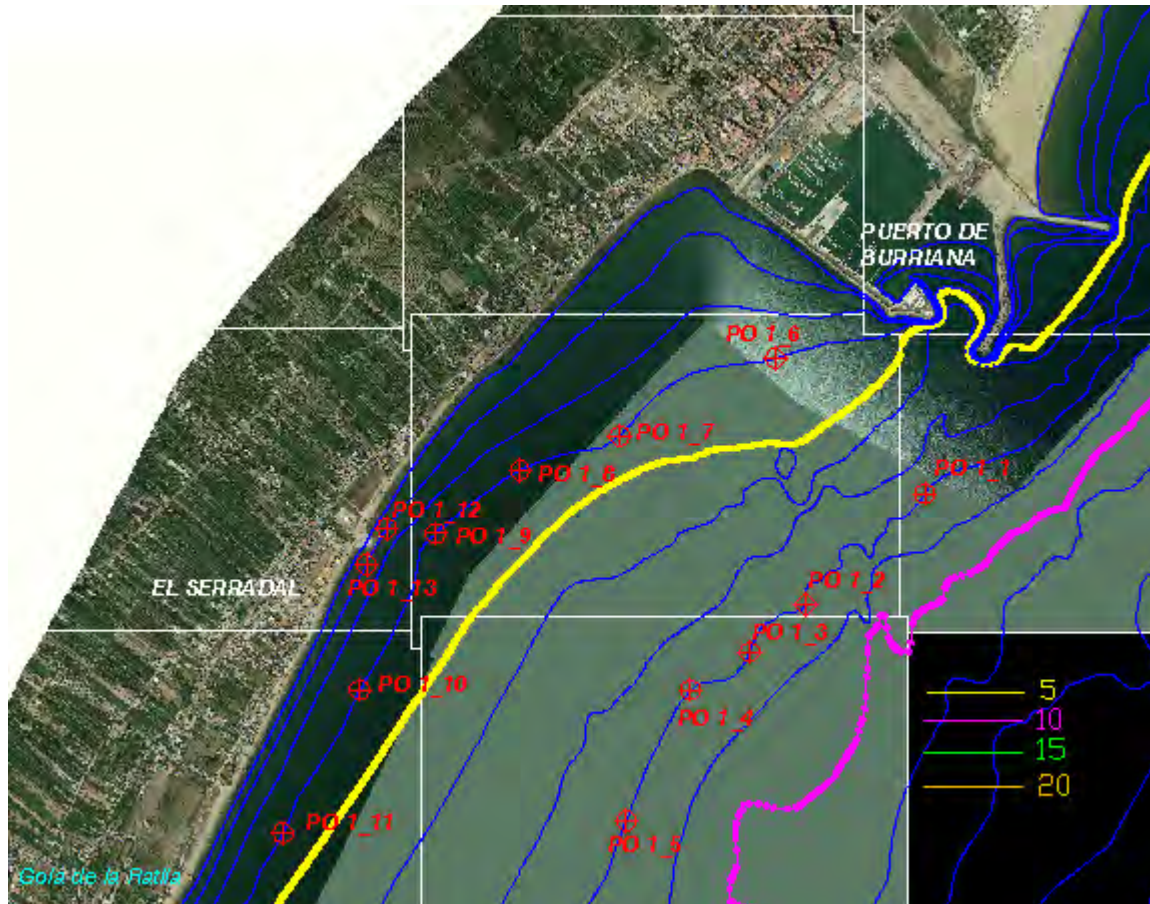


Figura IV.1 Localización de puntos objetivo en la zona 1.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>ZONA 2</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	
	<b>x</b>	<b>y</b>
<b>Punto 1</b>	749255.43	4413962.82
<b>Punto 2</b>	748974.18	4413677.41
<b>Punto 3</b>	748612.00	4413110.70
<b>Punto 4</b>	748518.36	4412651.82
<b>Punto 5</b>	748224.69	4412318.25
<b>Punto 6</b>	748024.57	4411850.75
<b>Punto 7</b>	747822.68	4411460.93
<b>Punto 8</b>	747560.79	4411032.28
<b>Punto 9</b>	748587.07	4414352.83
<b>Punto 10</b>	748398.35	4413890.41
<b>Punto 11</b>	748182.95	4413378.15
<b>Punto 12</b>	747870.00	4413017.78
<b>Punto 13</b>	747625.16	4412657.34
<b>Punto 14</b>	747414.48	4412195.81
<b>Punto 15</b>	747173.31	4411828.21
<b>Punto 16</b>	746911.29	4411399.63
<b>Punto 17</b>	748173.55	4413597.95
<b>Punto 18</b>	748113.70	4413433.28
<b>Punto 19</b>	748002.39	4413254.60
<b>Punto 20</b>	747836.39	4413085.43
<b>Punto 21</b>	747720.87	4412891.99
<b>Punto 22</b>	747569.52	4412688.81
<b>Punto 23</b>	747461.90	4412460.79
<b>Punto 24</b>	747355.02	4412256.88
<b>Punto 25</b>	747233.33	4412078.26
<b>Punto 26</b>	747084.16	4411904.59
<b>Punto 27</b>	746974.60	4411700.91
<b>Punto 28</b>	746742.83	4411495.21

Tabla IV.2 Localización de puntos objetivo en la zona 2.

DOCUMENTO FINAL

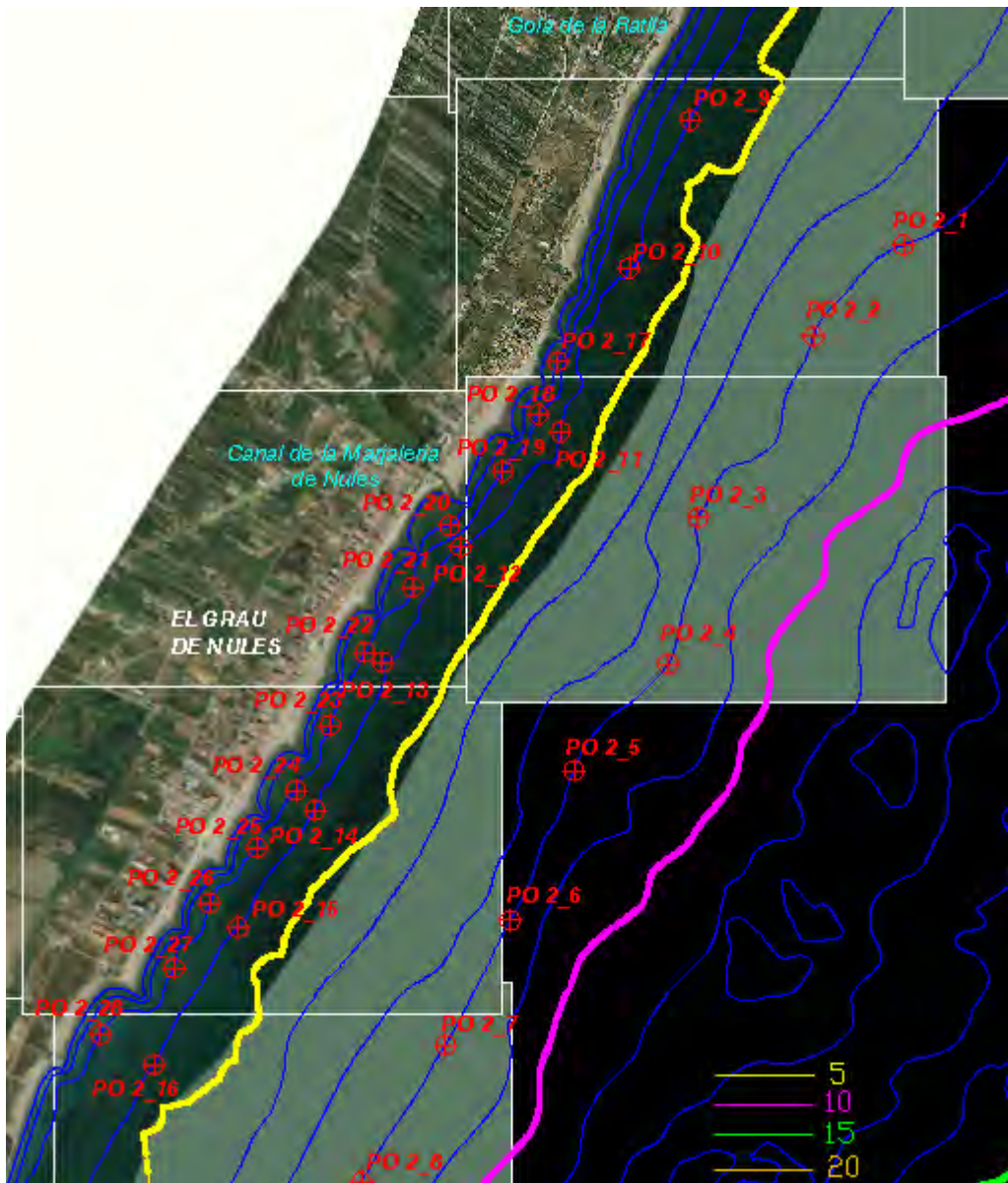


Figura IV.2 Localización de puntos objetivo en la zona 2.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>ZONA 3</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	
	<b>x</b>	<b>y</b>
<b>Punto 1</b>	747390.83	4410750.83
<b>Punto 2</b>	747186.90	4410359.75
<b>Punto 3</b>	746853.63	4409786.39
<b>Punto 4</b>	746597.34	4409280.20
<b>Punto 5</b>	746276.68	4408953.27
<b>Punto 6</b>	746105.72	4408360.32
<b>Punto 7</b>	745739.07	4407570.73
<b>Punto 8</b>	746700.02	4410992.36
<b>Punto 9</b>	746482.13	4410607.44
<b>Punto 10</b>	746243.06	4410069.72
<b>Punto 11</b>	746009.45	4409551.17
<b>Punto 12</b>	745788.54	4409178.63
<b>Punto 13</b>	745523.70	4408678.17
<b>Punto 14</b>	745133.96	4408168.74
<b>Punto 15</b>	744873.93	4407757.81
<b>Punto 16</b>	746283.34	4410382.90
<b>Punto 17</b>	746205.24	4410242.98
<b>Punto 18</b>	746151.86	4410097.65
<b>Punto 19</b>	746077.32	4409928.81
<b>Punto 20</b>	746006.21	4409763.08
<b>Punto 21</b>	745908.46	4409576.14
<b>Punto 22</b>	745828.52	4409453.17
<b>Punto 23</b>	745583.36	4408926.15
<b>Punto 24</b>	745412.30	4408654.53
<b>Punto 25</b>	745255.47	4408386.92
<b>Punto 26</b>	745074.47	4408249.97
<b>Punto 27</b>	744891.22	4408004.18

Tabla IV.3 Localización de puntos objetivo en la zona 3.

DOCUMENTO FINAL

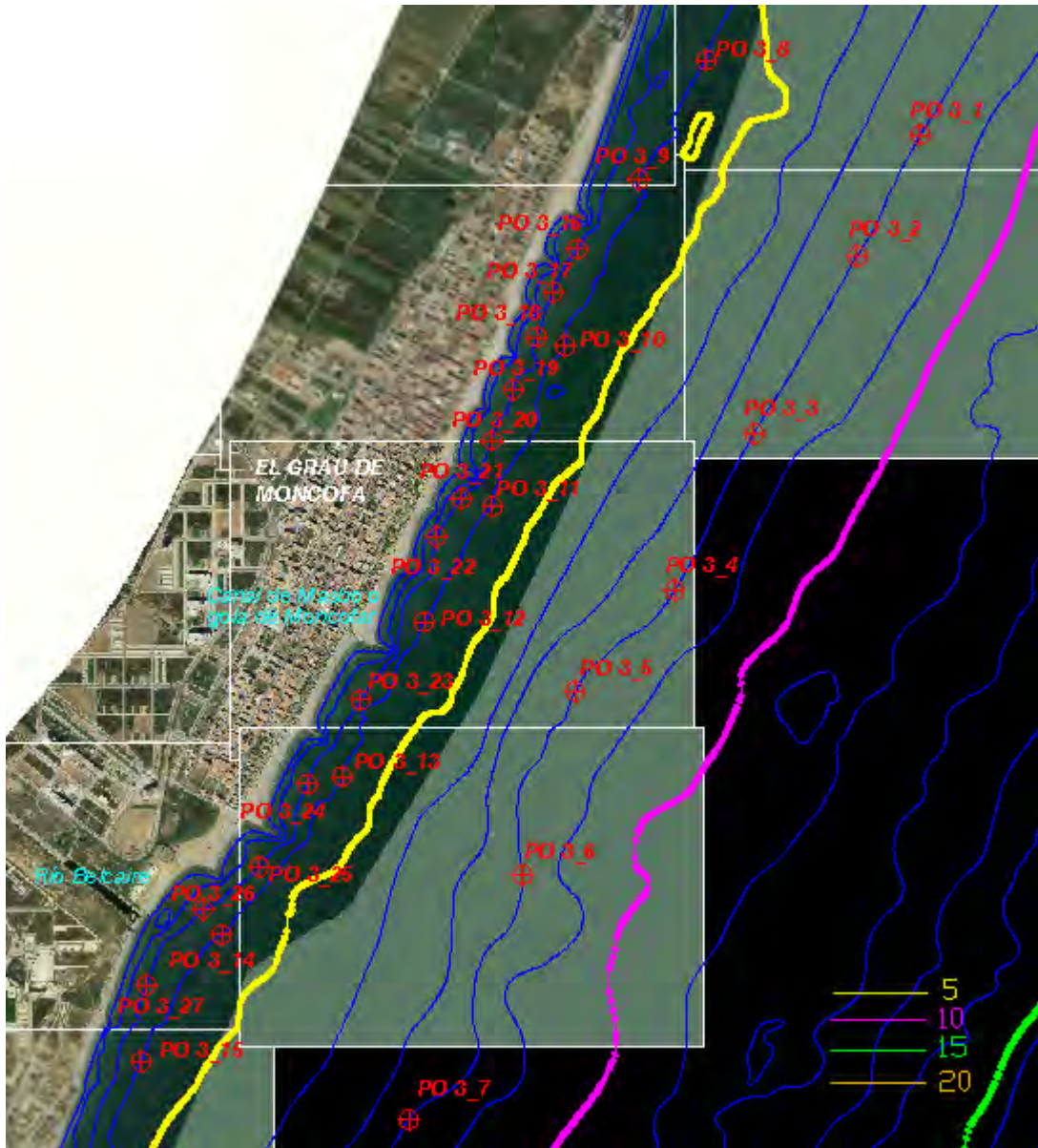


Figura IV.3 Localización de puntos objetivo en la zona 3.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>ZONA 4</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	
	<b>x</b>	<b>y</b>
<b>Punto 1</b>	745260.81	4406802.02
<b>Punto 2</b>	744915.85	4406264.12
<b>Punto 3</b>	744626.75	4405579.22
<b>Punto 4</b>	744319.44	4404939.17
<b>Punto 5</b>	744094.36	4404484.30
<b>Punto 6</b>	743893.43	4404027.65
<b>Punto 7</b>	743637.59	4403526.11
<b>Punto 8</b>	744549.69	4407056.53
<b>Punto 9</b>	744355.64	4406464.62
<b>Punto 10</b>	744101.07	4405976.35
<b>Punto 11</b>	743951.20	4405740.26
<b>Punto 12</b>	743714.66	4405327.23
<b>Punto 13</b>	743368.75	4404837.63
<b>Punto 14</b>	743099.60	4404410.78
<b>Punto 15</b>	742801.41	4403860.43
<b>Punto 16</b>	744552.45	4407168.48
<b>Punto 17</b>	744369.52	4406788.43
<b>Punto 18</b>	744261.68	4406497.91
<b>Punto 19</b>	744004.10	4406005.71
<b>Punto 20</b>	743878.07	4405808.97
<b>Punto 21</b>	743650.00	4405385.35
<b>Punto 22</b>	743466.41	4405171.76
<b>Punto 23</b>	743307.85	4404886.67
<b>Punto 24</b>	742836.94	4404175.00

Tabla IV.4 Localización de puntos objetivo en la zona 4.

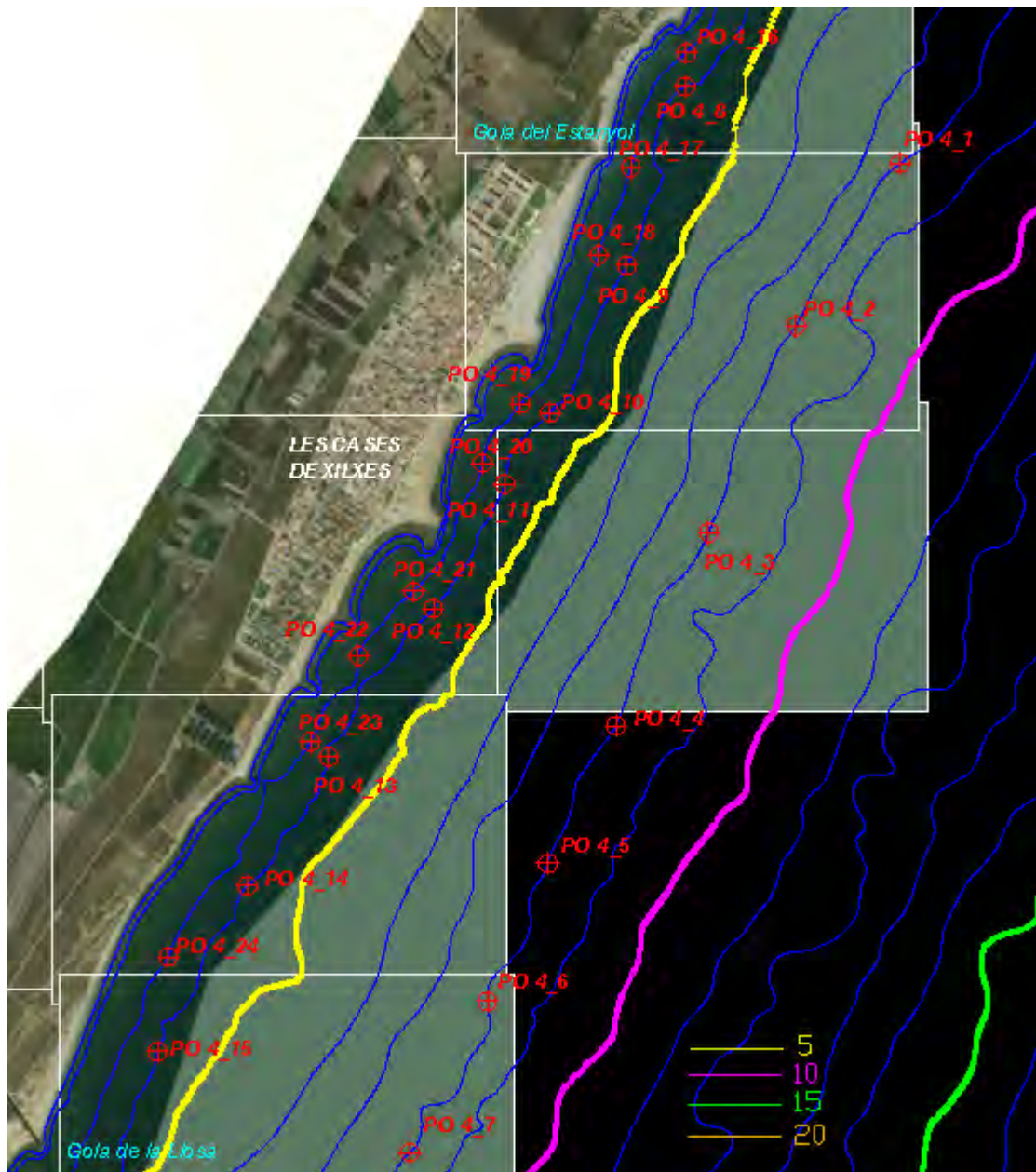


Figura IV.4 Localización de puntos objetivo en la zona 4.



**DOCUMENTO FINAL**

<b>ZONA 5</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	
	<b>x</b>	<b>y</b>
<b>Punto 1</b>	743003.95	4402775.93
<b>Punto 2</b>	742749.28	4402497.64
<b>Punto 3</b>	742435.52	4401973.19
<b>Punto 4</b>	742162.22	4401503.75
<b>Punto 5</b>	741975.17	4400830.81
<b>Punto 6</b>	741794.56	4400397.23
<b>Punto 7</b>	741637.90	4399839.92
<b>Punto 8</b>	742424.14	4403195.73
<b>Punto 9</b>	742191.25	4402749.77
<b>Punto 10</b>	741915.92	4402212.75
<b>Punto 11</b>	741692.27	4401693.52
<b>Punto 12</b>	741365.05	4401062.72
<b>Punto 13</b>	741169.70	4400578.43
<b>Punto 14</b>	741002.50	4400000.28
<b>Punto 15</b>	742199.83	4403039.04
<b>Punto 16</b>	741982.09	4402545.56
<b>Punto 17</b>	741649.35	4402027.71
<b>Punto 18</b>	741396.19	4401416.42
<b>Punto 19</b>	741146.10	4400876.25
<b>Punto 20</b>	741020.60	4400415.16

Tabla IV.5 Localización de puntos objetivo en la zona 5.

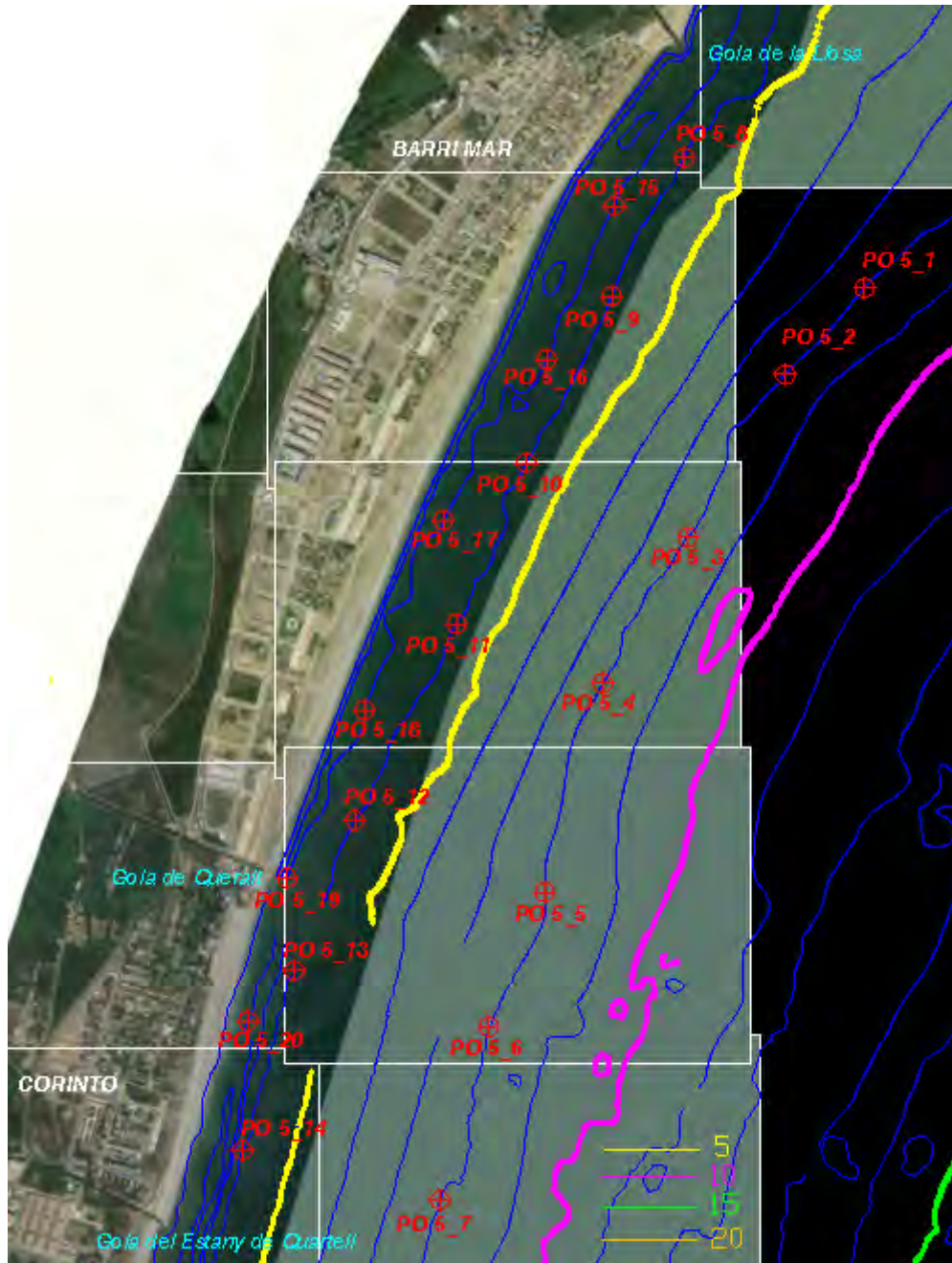


Figura IV.5 Localización de puntos objetivo en la zona 5.

**DOCUMENTO FINAL**

ZONA 6	Coordenadas UTM	
	x	y
<b>Punto 1</b>	741436.05	4399246.16
<b>Punto 2</b>	741283.44	4398769.25
<b>Punto 3</b>	741128.99	4398271.18
<b>Punto 4</b>	741022.26	4397759.89
<b>Punto 5</b>	740921.72	4397208.65
<b>Punto 6</b>	740810.89	4396632.27
<b>Punto 7</b>	740737.51	4396112.23
<b>Punto 8</b>	740888.53	4399389.23
<b>Punto 9</b>	740773.69	4398902.45
<b>Punto 10</b>	740679.17	4398372.04
<b>Punto 11</b>	740593.42	4397830.72
<b>Punto 12</b>	740532.47	4397239.29
<b>Punto 13</b>	740364.05	4396688.17
<b>Punto 14</b>	740355.43	4396123.33
<b>Punto 15</b>	740690.98	4399188.00
<b>Punto 16</b>	740561.91	4398683.97
<b>Punto 17</b>	740419.63	4398142.65
<b>Punto 18</b>	740329.92	4397615.04
<b>Punto 19</b>	740220.57	4396375.37
<b>Punto 20</b>	740213.04	4395950.18

Tabla IV.6 Localización de puntos objetivo en la zona 6.

DOCUMENTO FINAL

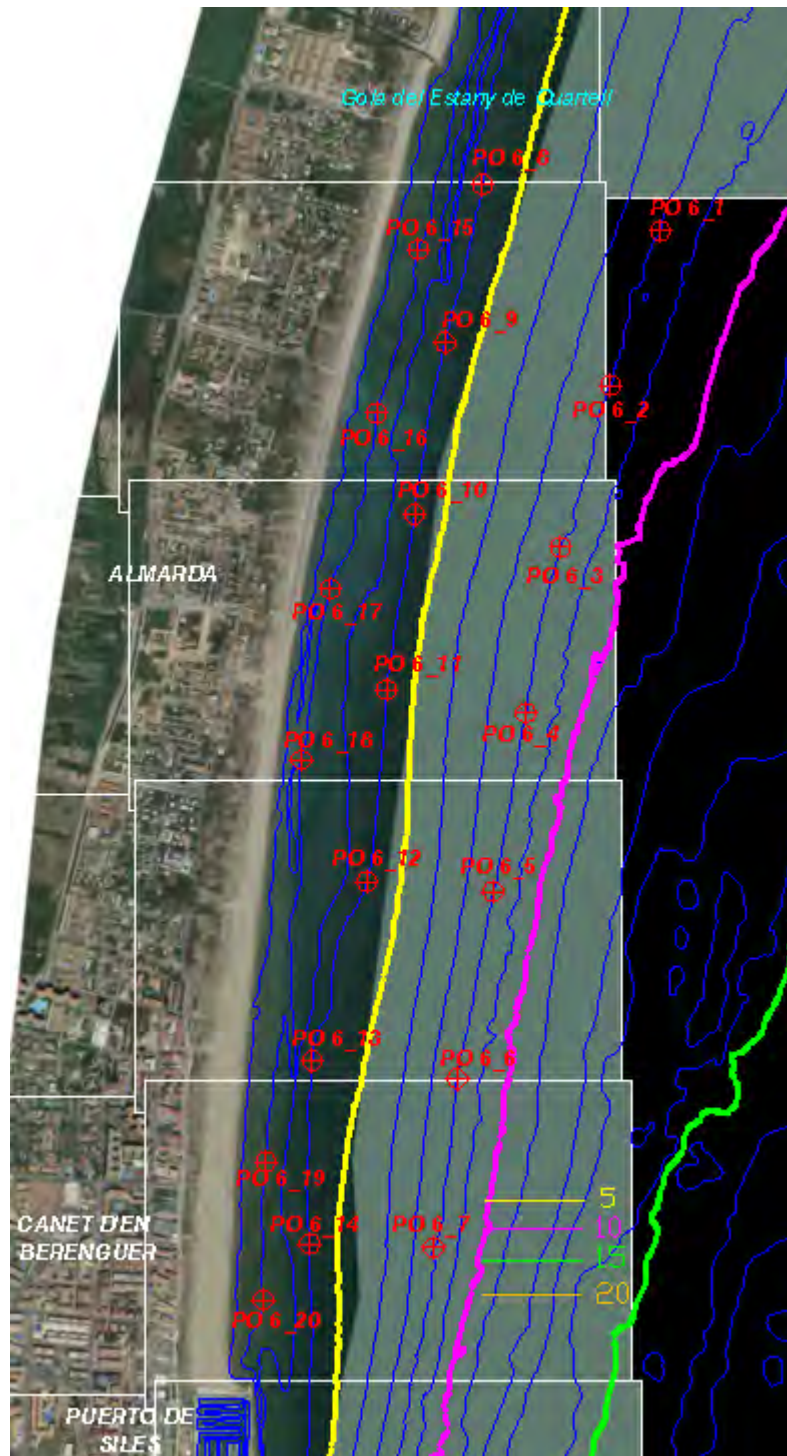


Figura IV.6 Localización de puntos objetivo en la zona 6.

**DOCUMENTO FINAL**

<b>ZONA 7</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	
	<b>x</b>	<b>y</b>
<b>Punto 1</b>	740491.53	4394954.89
<b>Punto 2</b>	740361.69	4394611.22
<b>Punto 3</b>	740254.02	4394141.94
<b>Punto 4</b>	740132.50	4393640.25
<b>Punto 5</b>	739922.34	4393287.10
<b>Punto 6</b>	740290.27	4395231.08
<b>Punto 7</b>	740199.37	4395067.19
<b>Punto 8</b>	740006.32	4394700.58
<b>Punto 9</b>	739879.25	4394175.32
<b>Punto 10</b>	739828.16	4393655.63
<b>Punto 11</b>	739996.59	4395045.04
<b>Punto 12</b>	739849.15	4394615.39
<b>Punto 13</b>	739786.21	4394414.58
<b>Punto 14</b>	739744.06	4394033.33
<b>Punto 15</b>	739716.33	4393432.95
<b>Punto 16</b>	740058.83	4395290.71
<b>Punto 17</b>	739975.34	4395208.84
<b>Punto 18</b>	739810.71	4394719.35
<b>Punto 19</b>	739691.89	4393742.70

Tabla IV.7 Localización de puntos objetivo en la zona 7.

DOCUMENTO FINAL

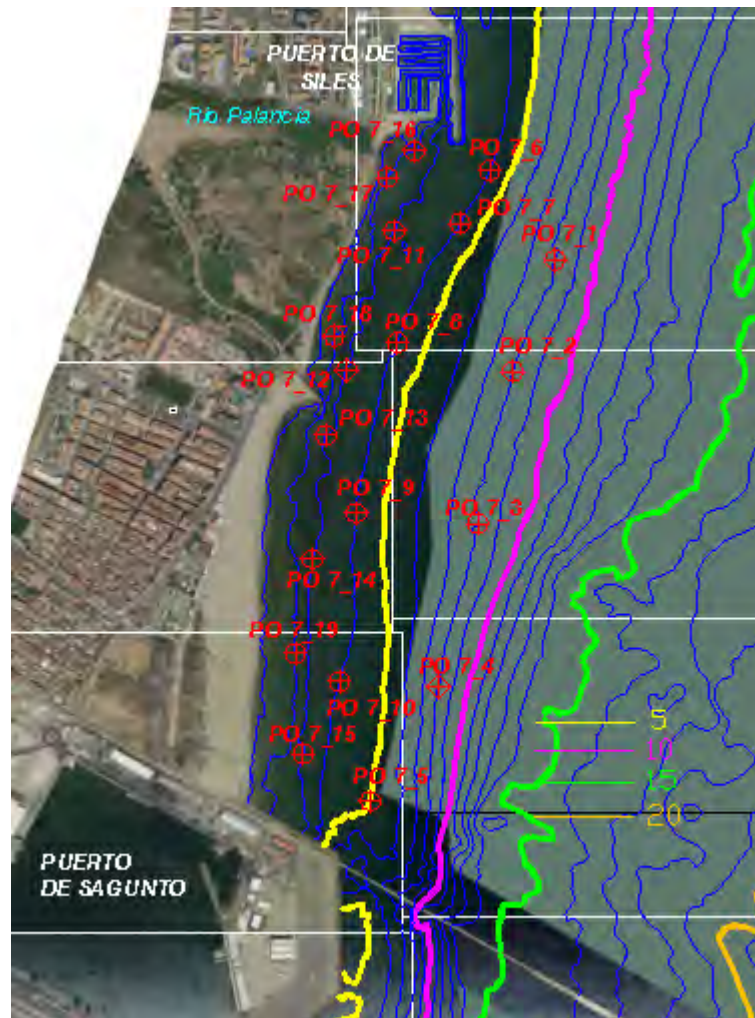


Figura IV.7 Localización de puntos objetivo en la zona 7.

## IV.2. Regímenes medios y rosas de oleaje

Papel Lognormal en el intervalo:5%-99.5%

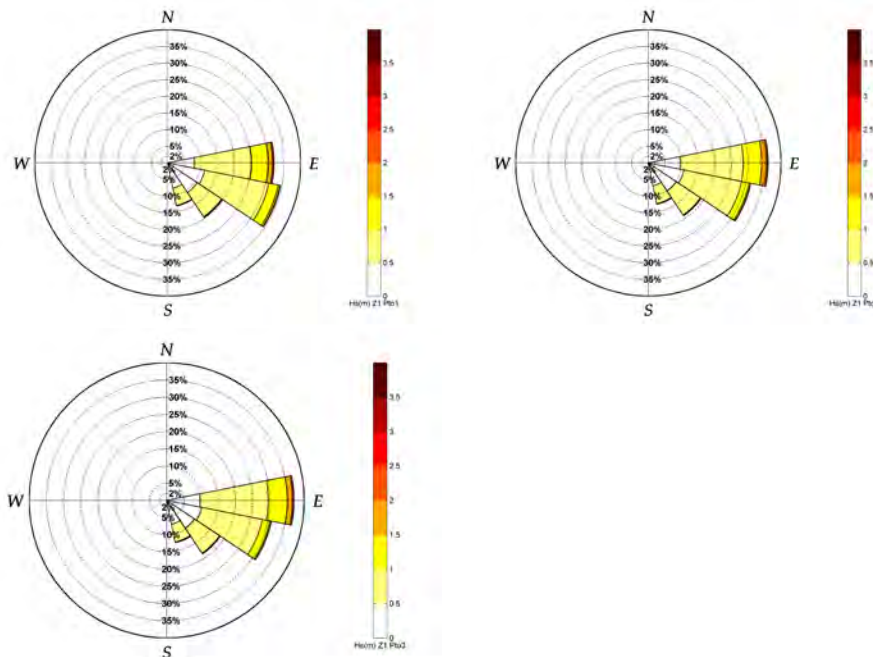
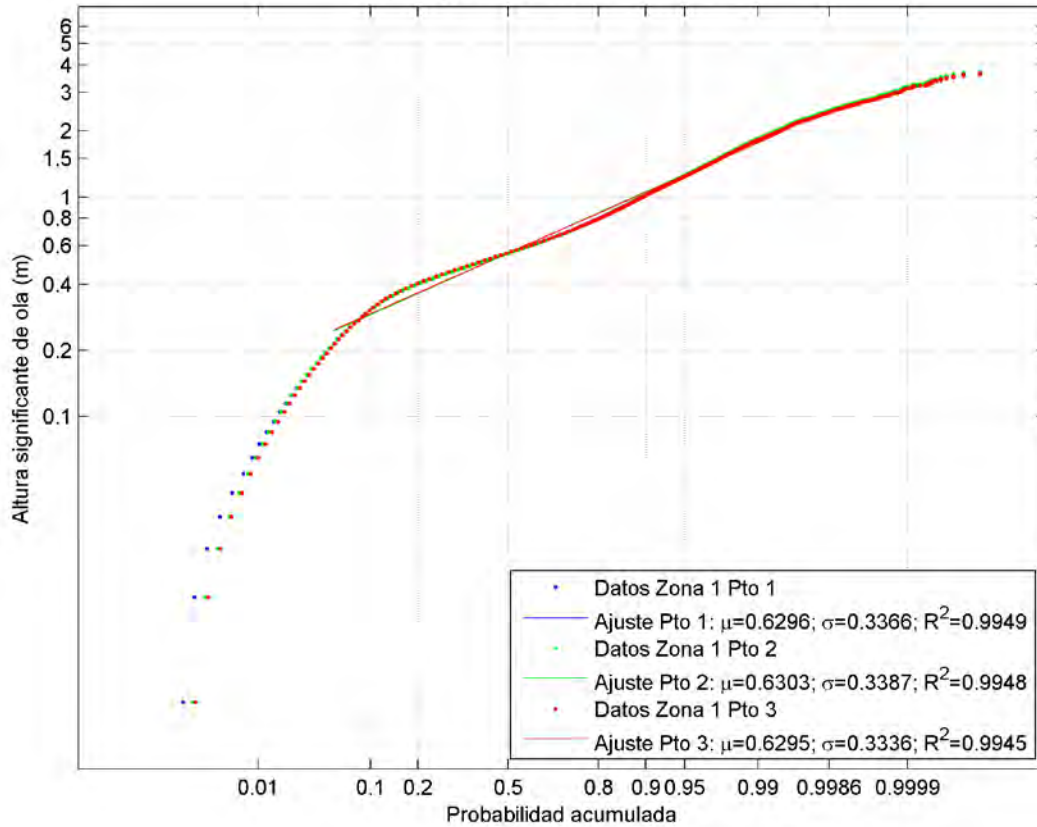


Figura IV.8 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 1, 2 y 3 de la zona 1.

DOCUMENTO FINAL

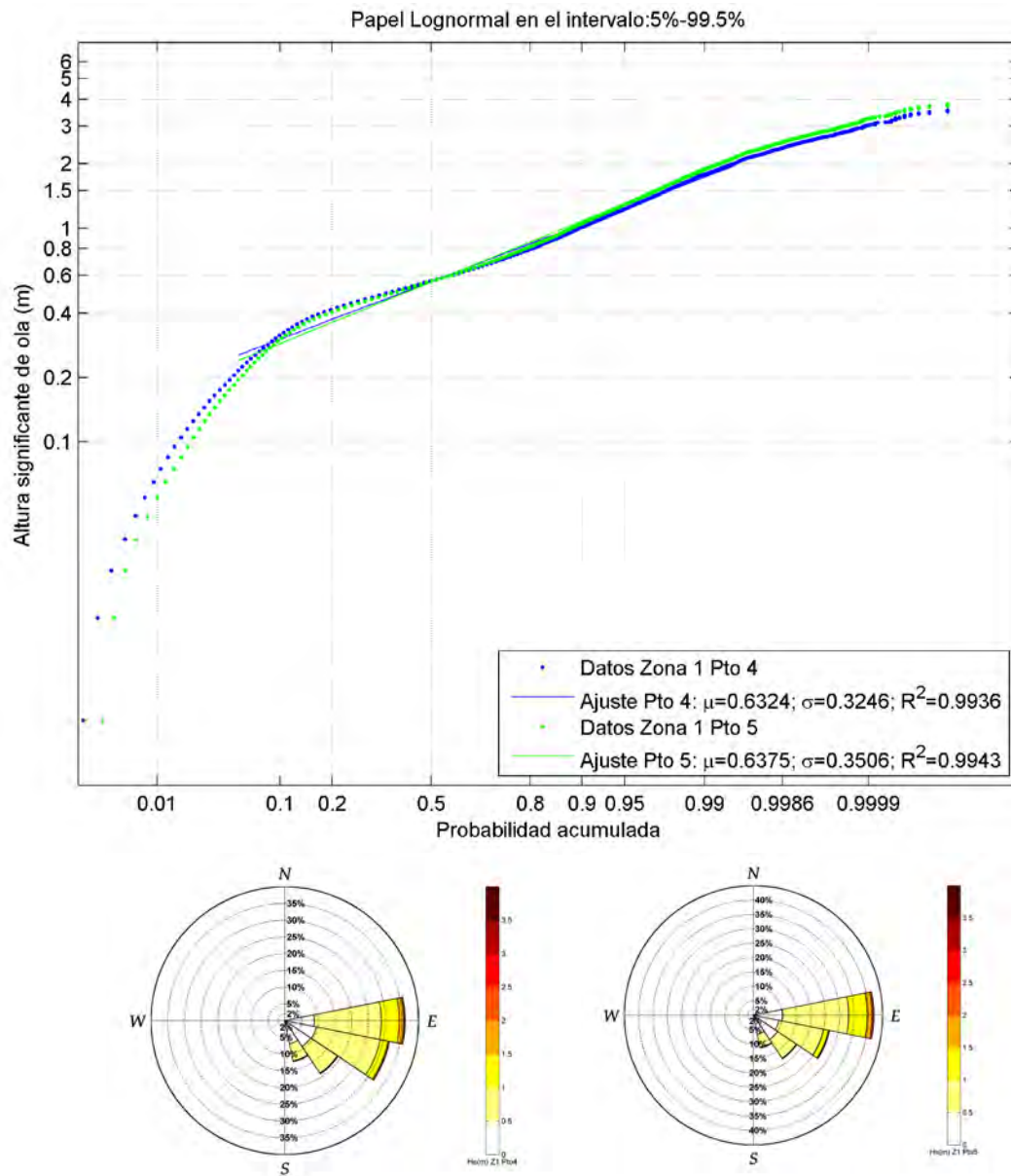


Figura IV.9 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 4 y 5 de la zona 1.



DOCUMENTO FINAL

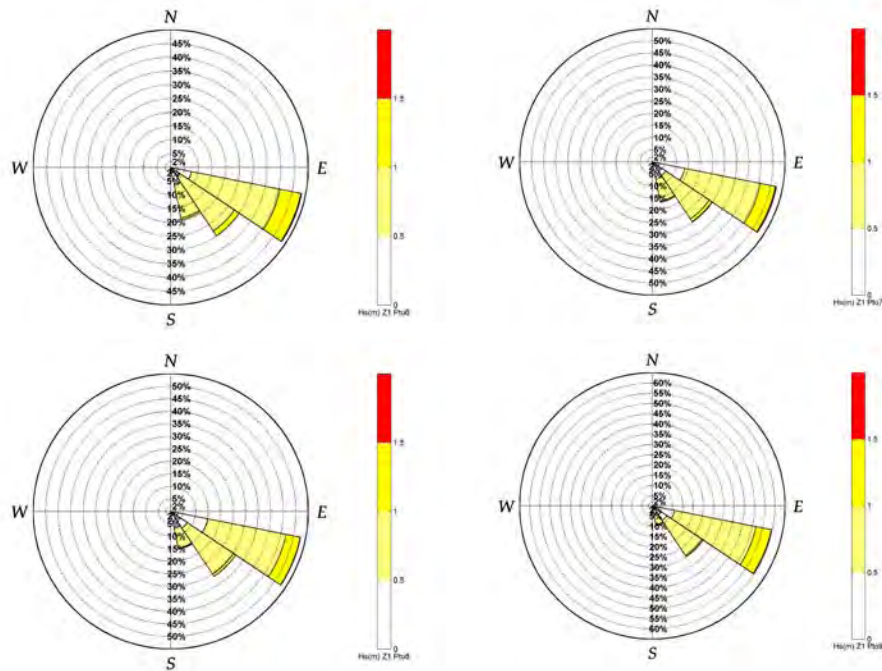
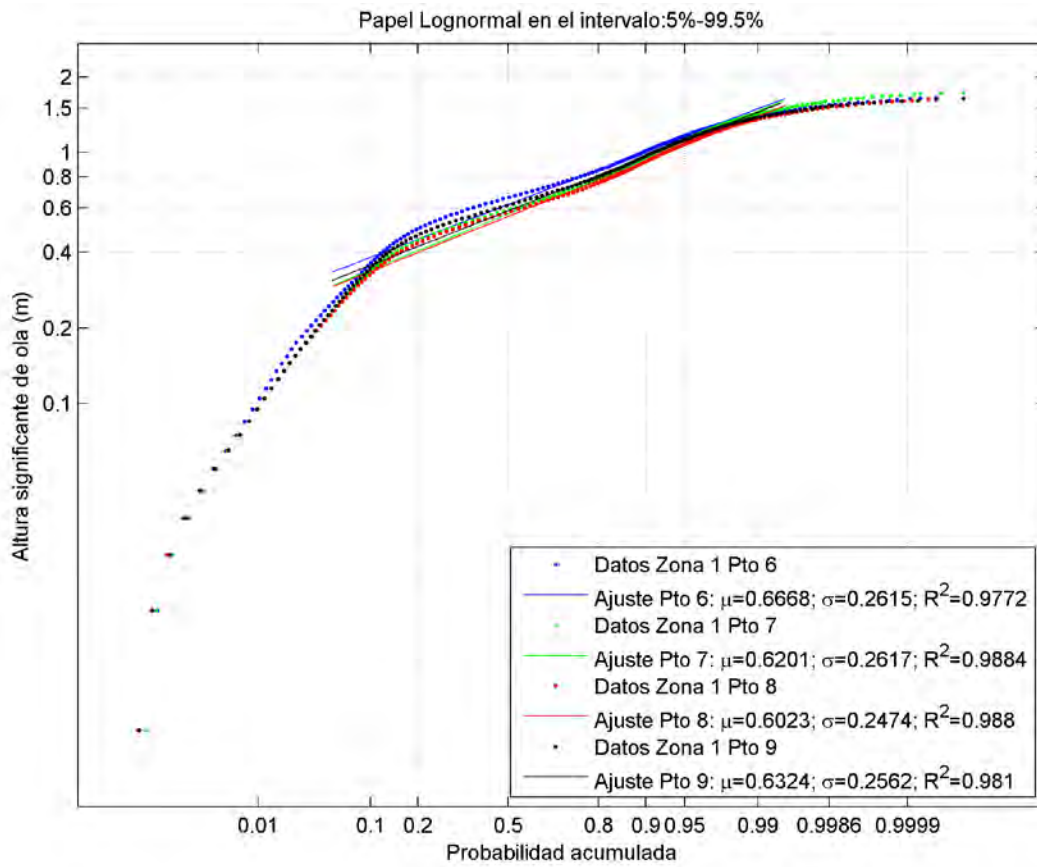


Figura IV.10 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 6, 7, 8 y 9 de la zona 1.

DOCUMENTO FINAL

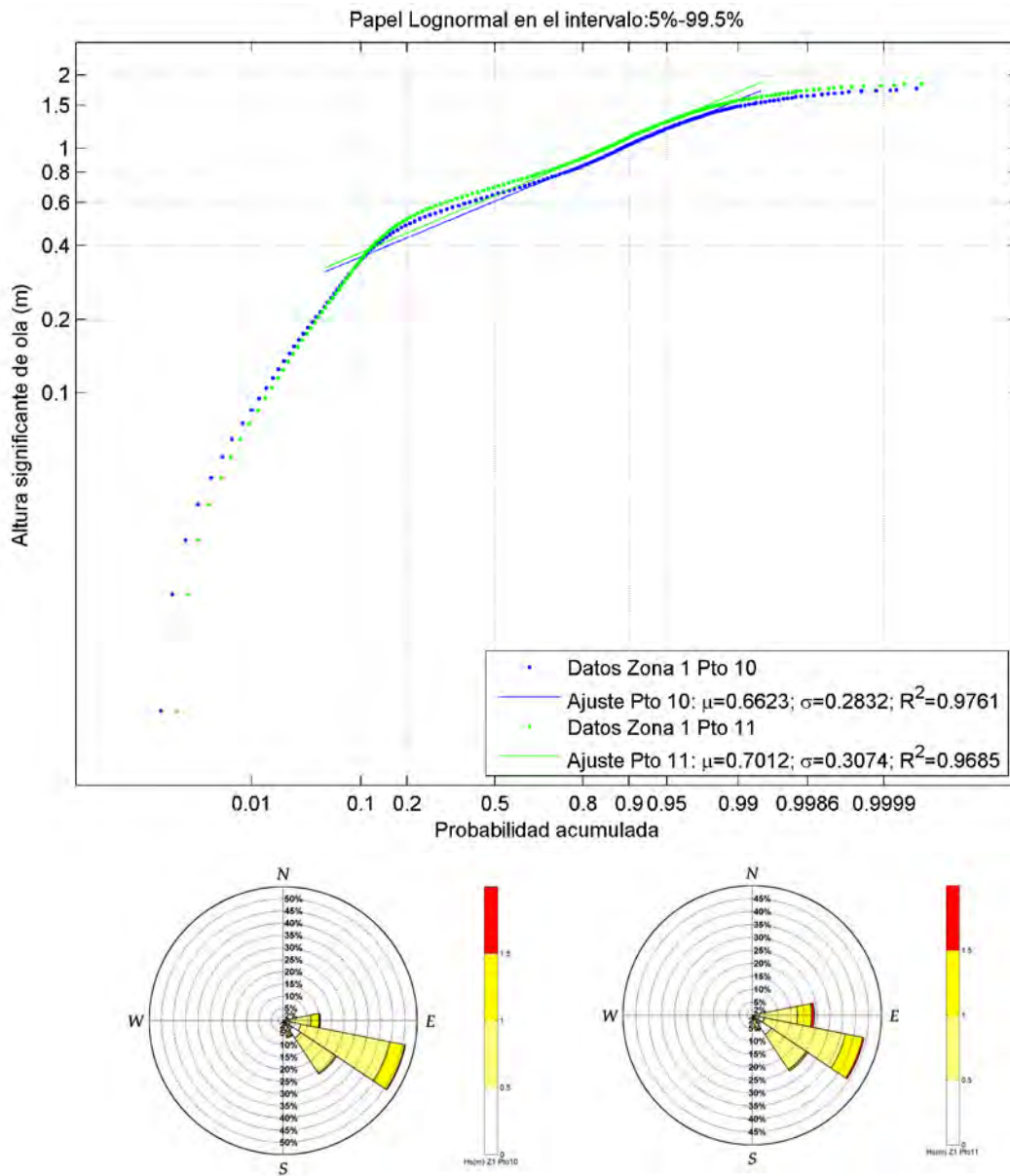


Figura IV.11 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 10 y 11 de la zona 1.

DOCUMENTO FINAL

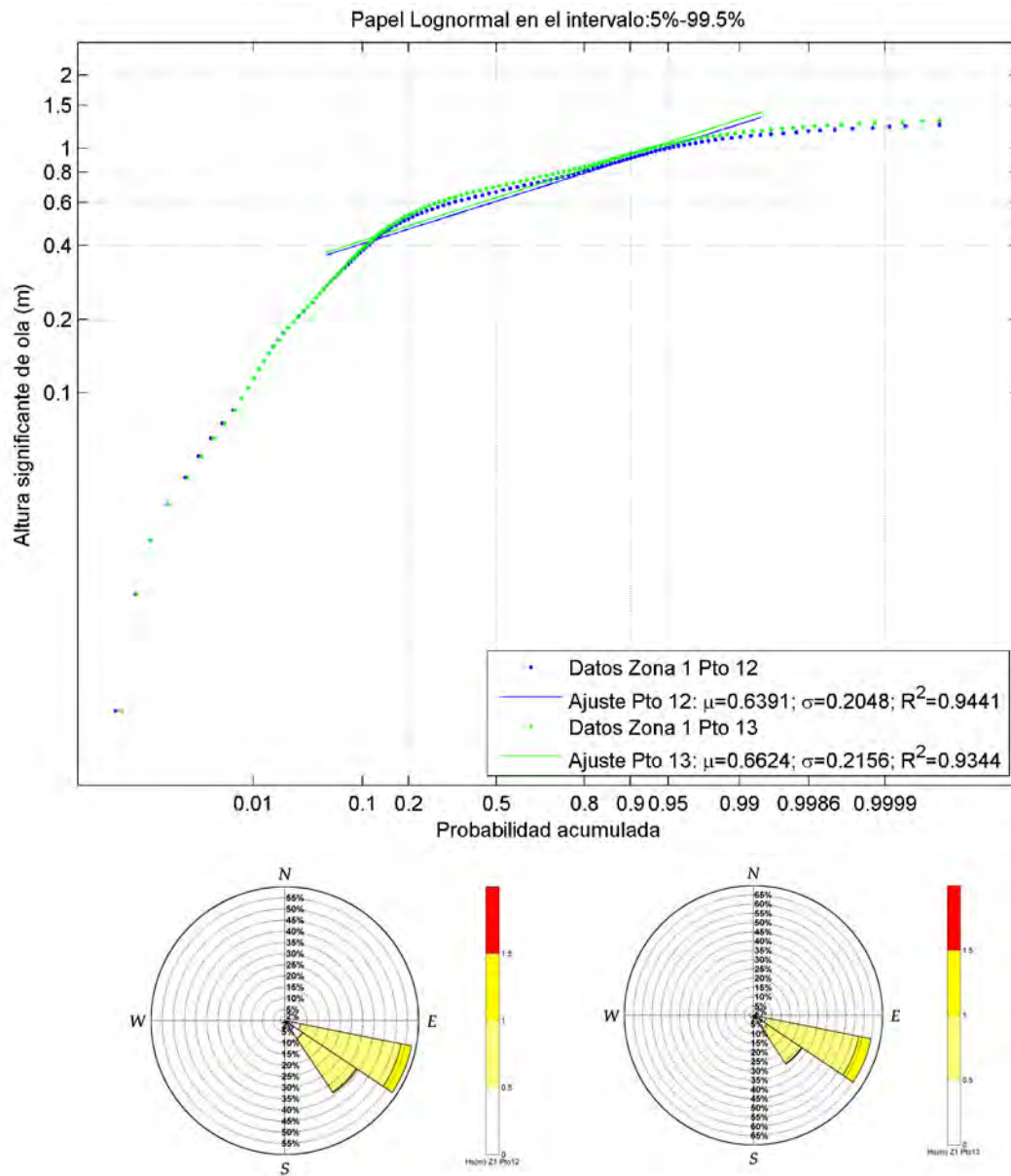


Figura IV.12 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 12 y 13 de la zona 1.

DOCUMENTO FINAL

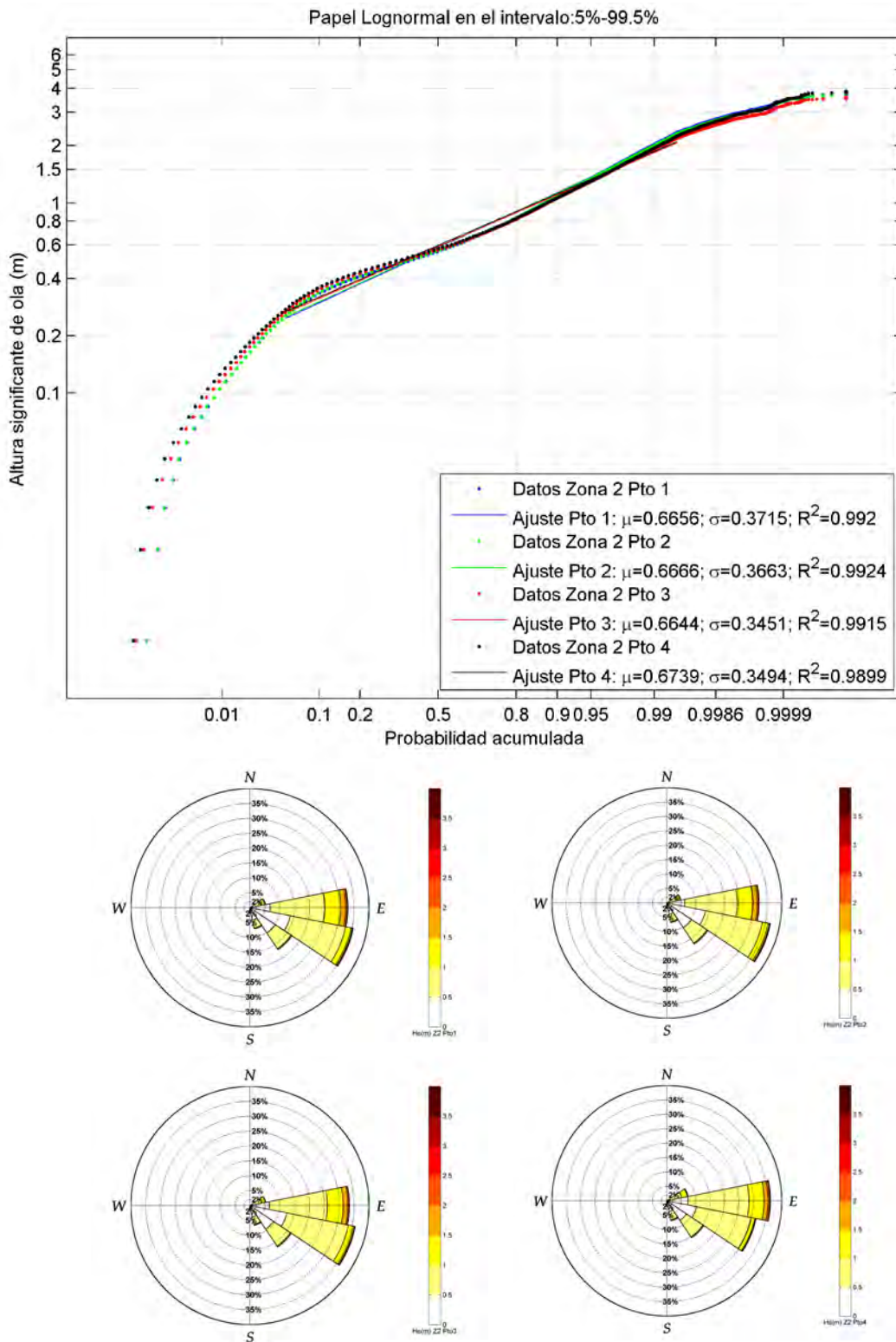


Figura IV.13 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 1, 2, 3 y 4 de la zona 2.

DOCUMENTO FINAL

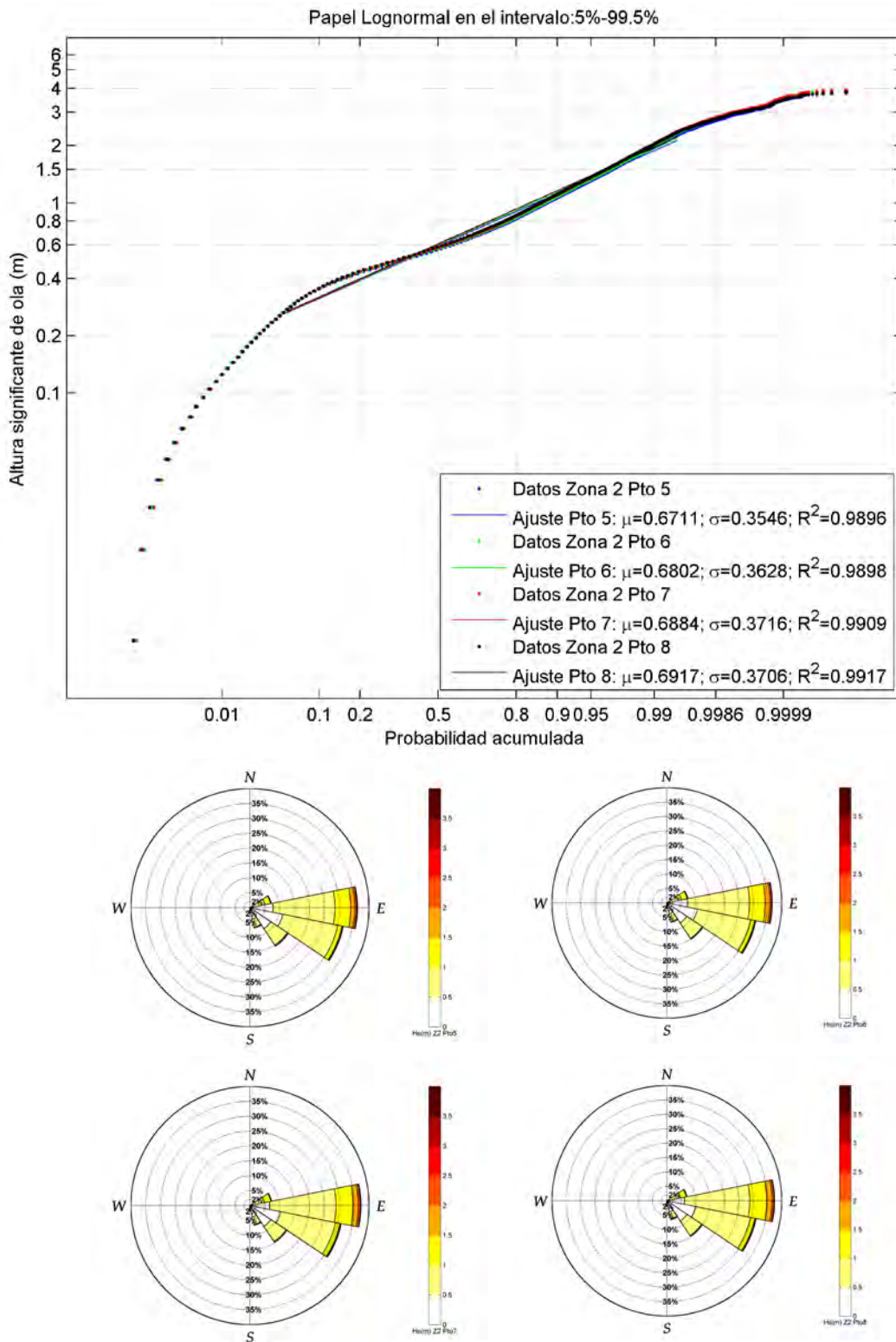


Figura IV.14 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 5, 6, 7 y 8 de la zona 2.

DOCUMENTO FINAL

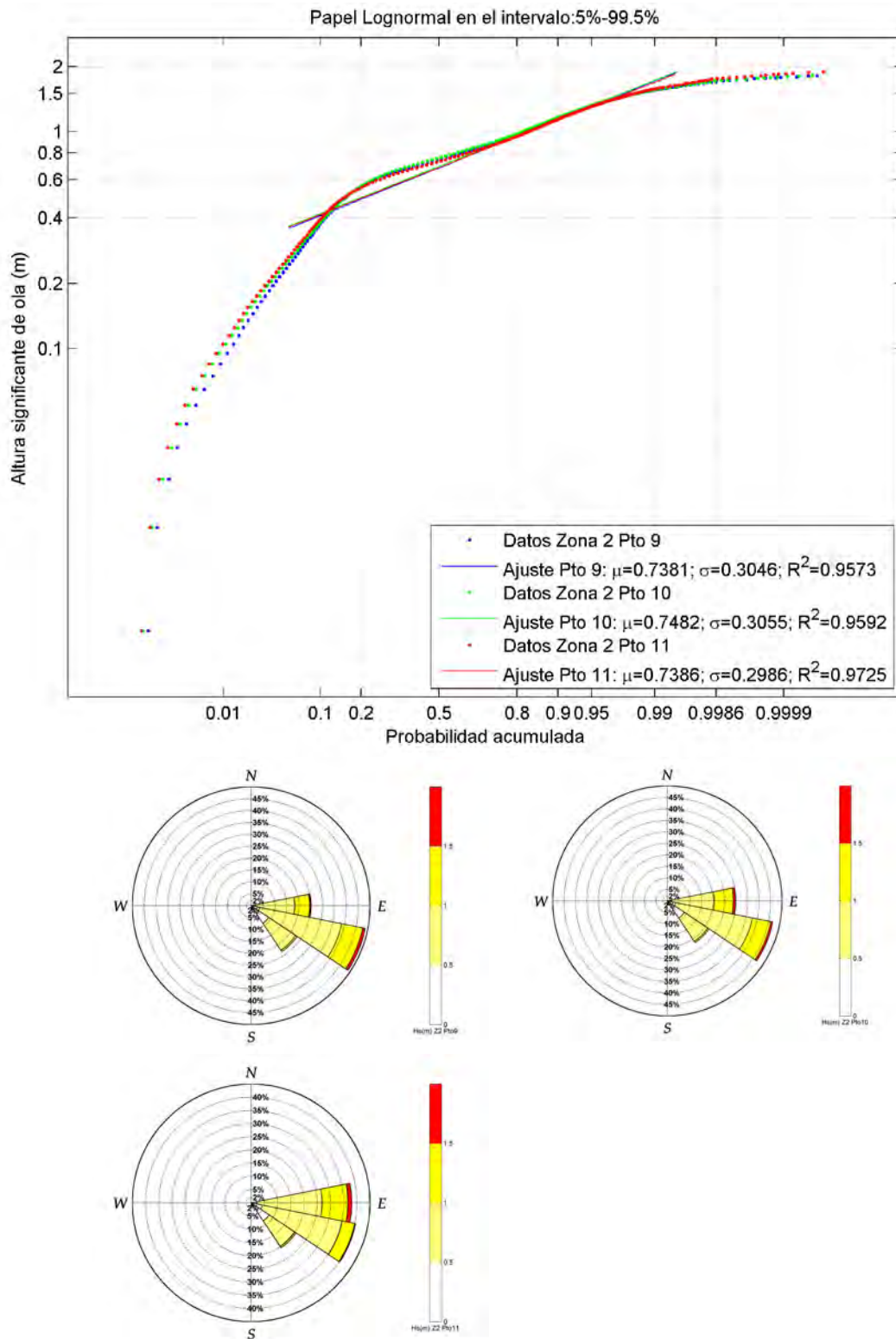


Figura IV.15 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 9, 10 y 11 de la zona 2.

DOCUMENTO FINAL

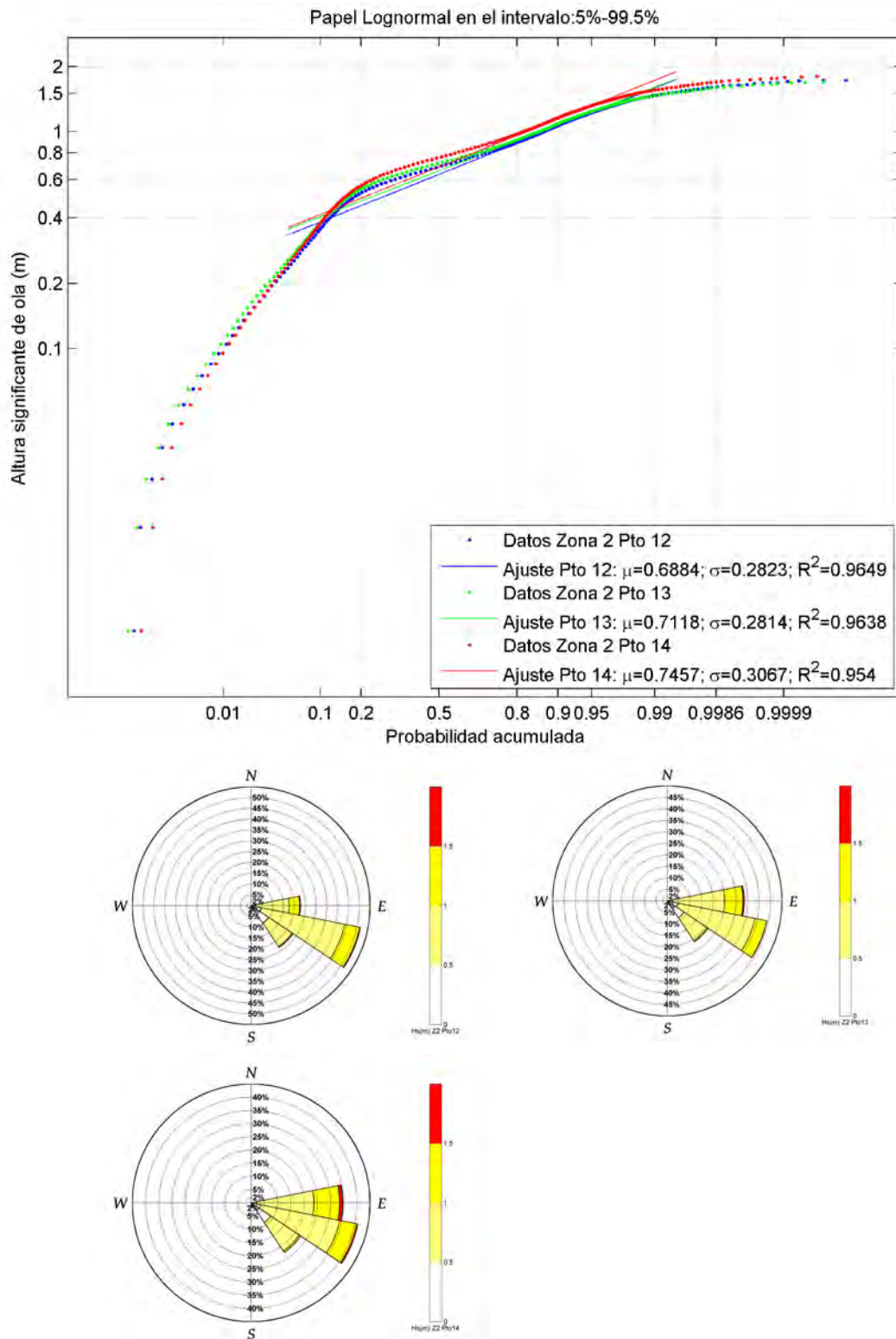


Figura IV.16 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 12, 13 y 14 de la zona 2.

DOCUMENTO FINAL

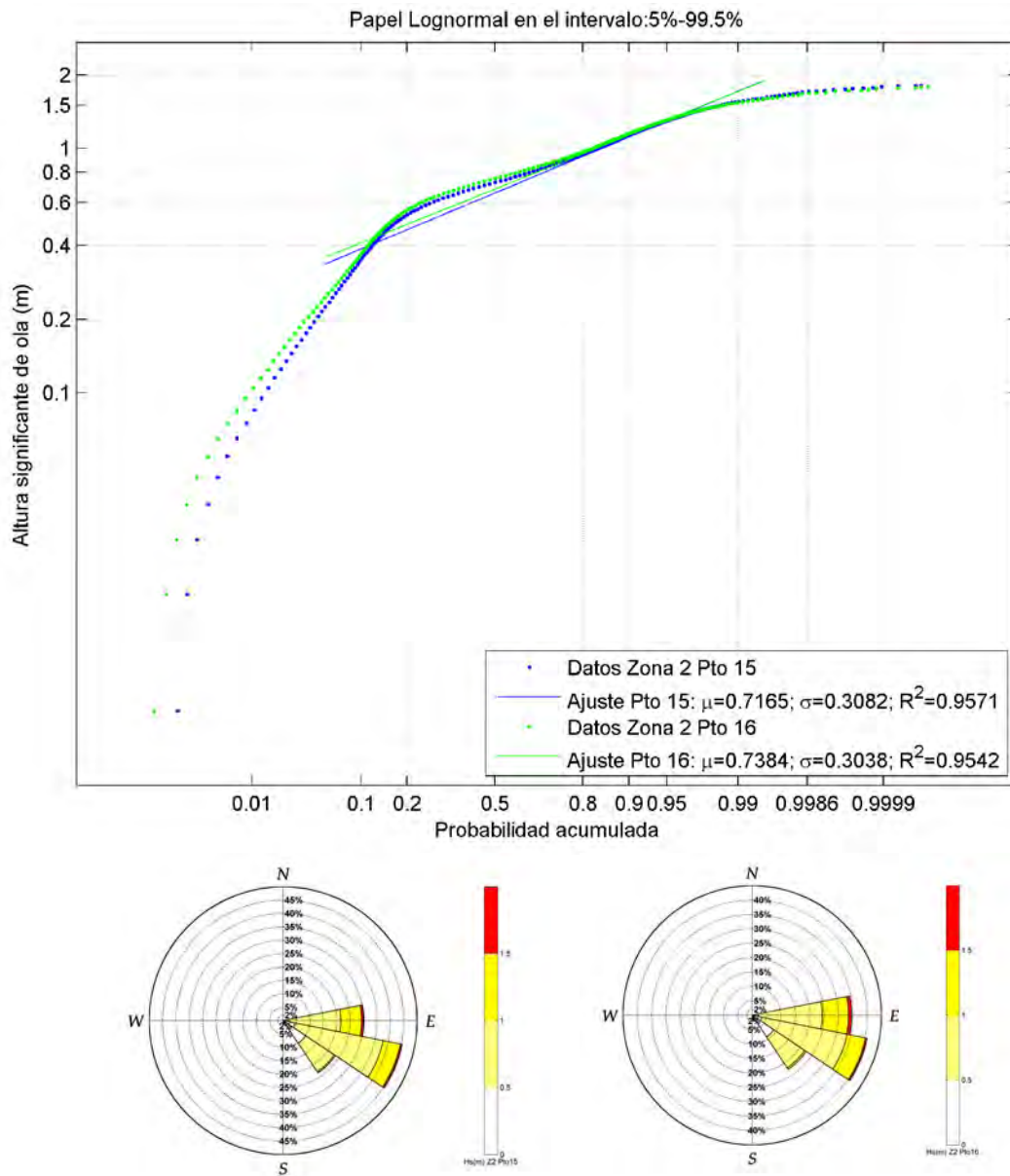


Figura IV.17 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 15 y 16 de la zona 2.



DOCUMENTO FINAL

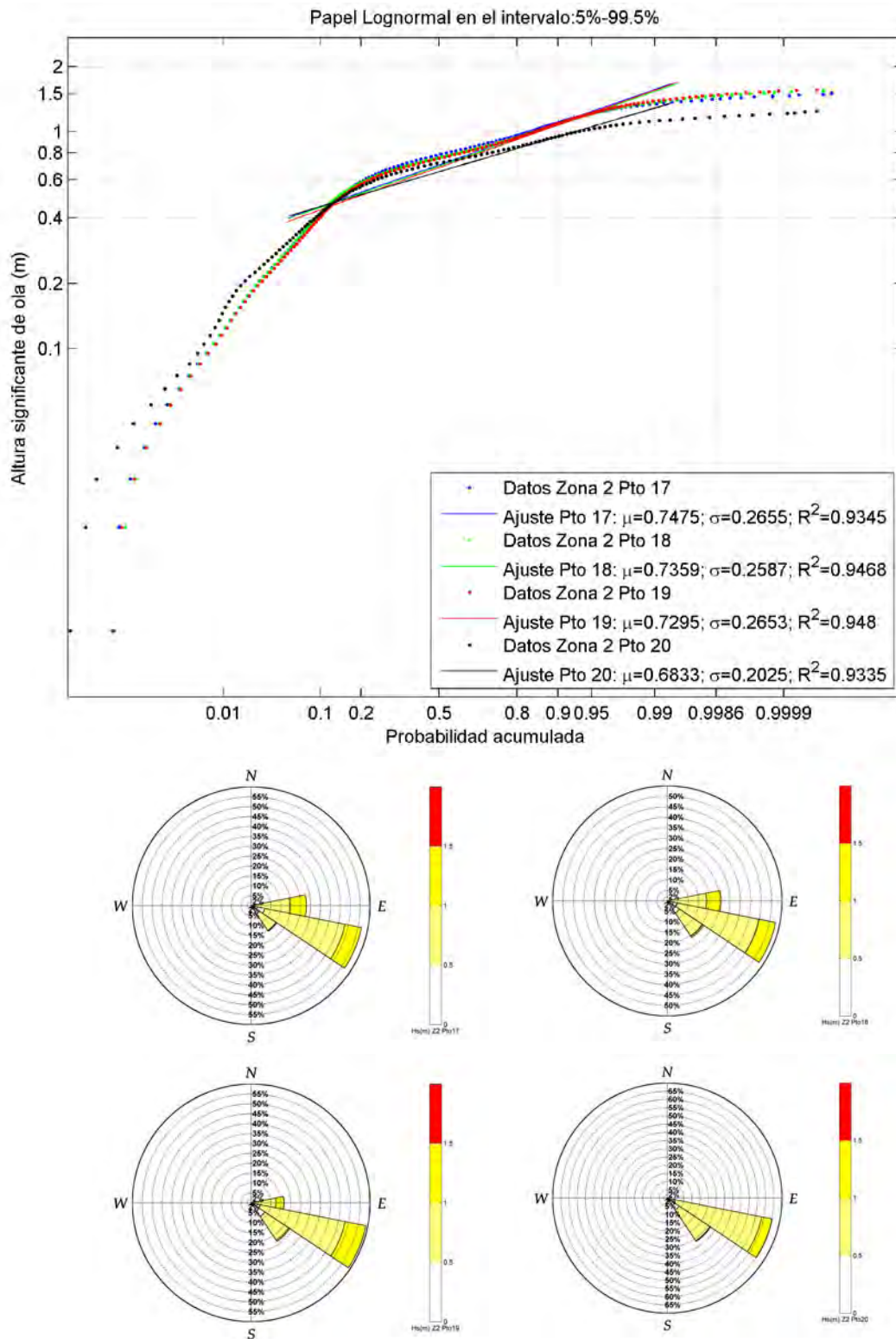


Figura IV.18 Regímenes medios y rosas de altura significante de ola en los puntos 17, 18, 19 y 20 de la zona 2.

DOCUMENTO FINAL

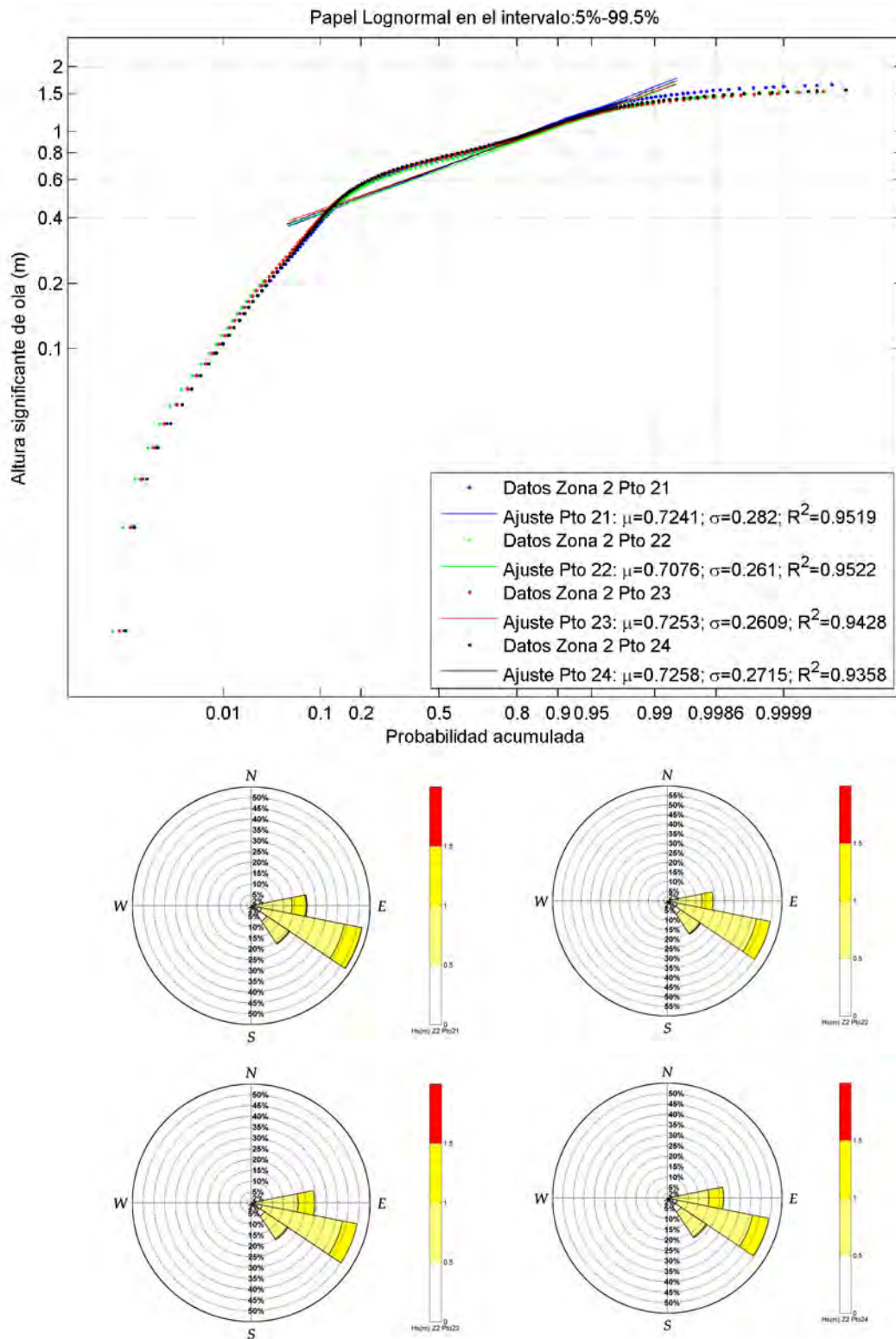


Figura IV.19 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 21, 22, 23 y 24 de la zona 2.

DOCUMENTO FINAL

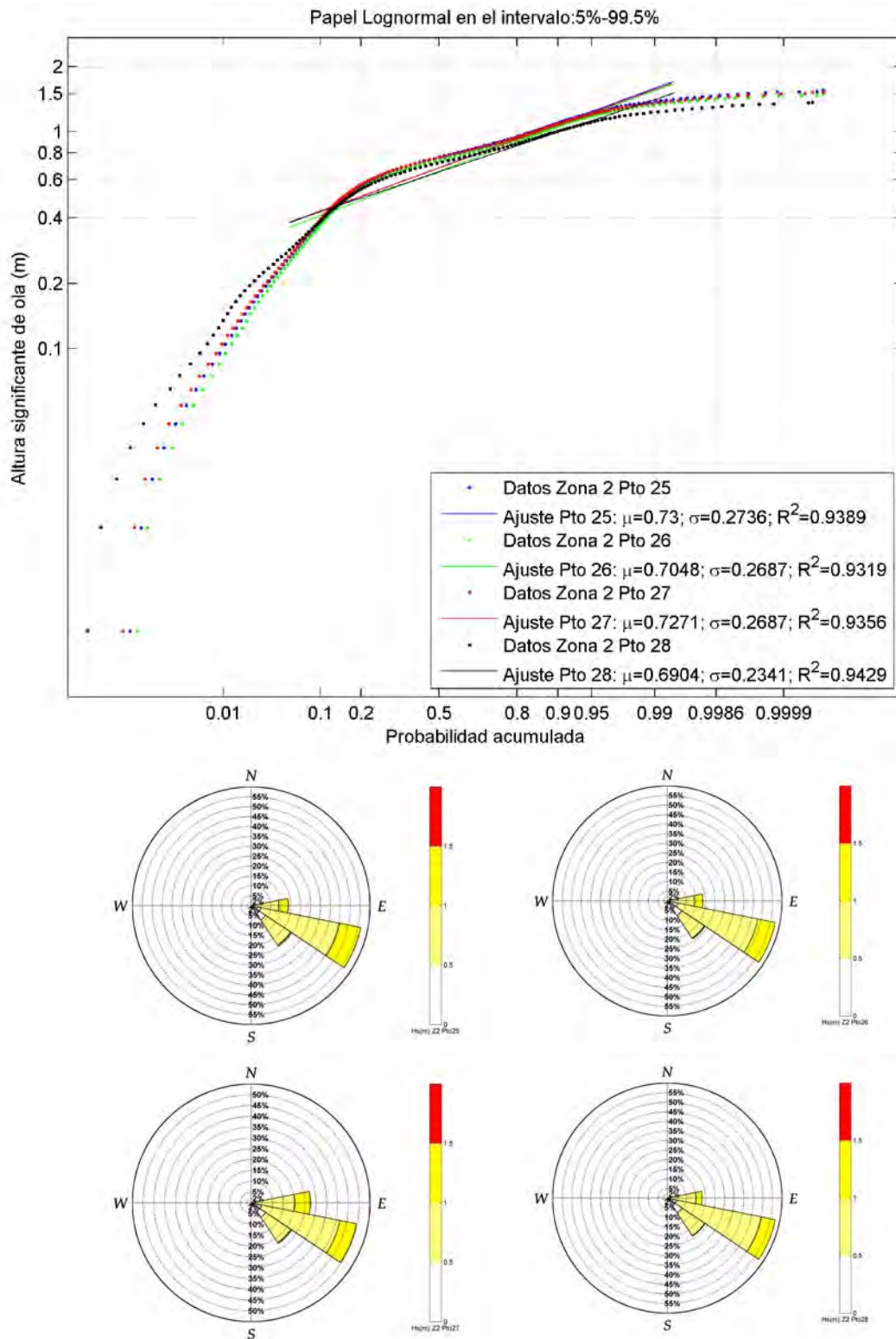


Figura IV.20 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 25, 26, 27 y 28 de la zona 2.

DOCUMENTO FINAL

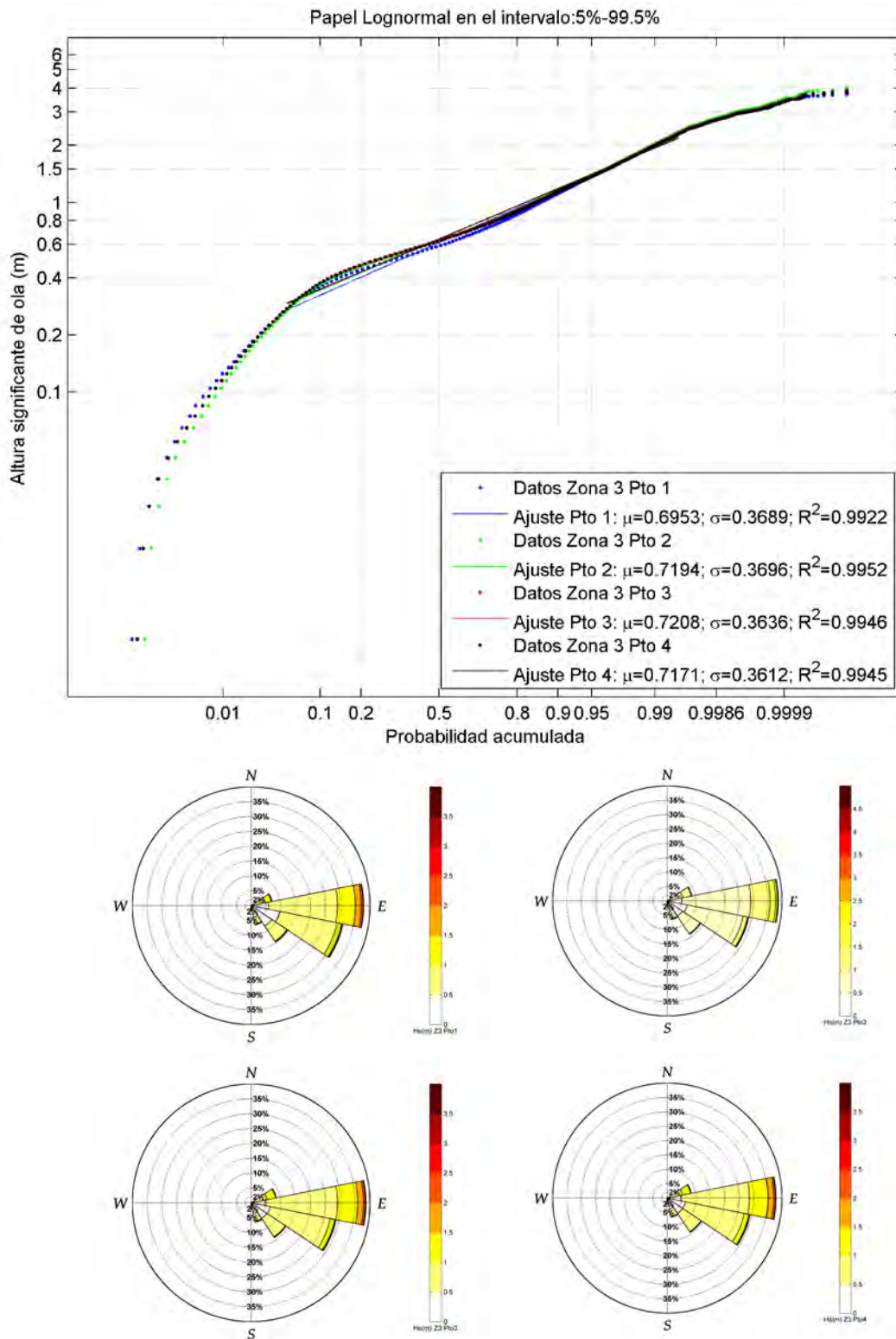


Figura IV.21 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 1, 2, 3 y 4 de la zona 3.

DOCUMENTO FINAL

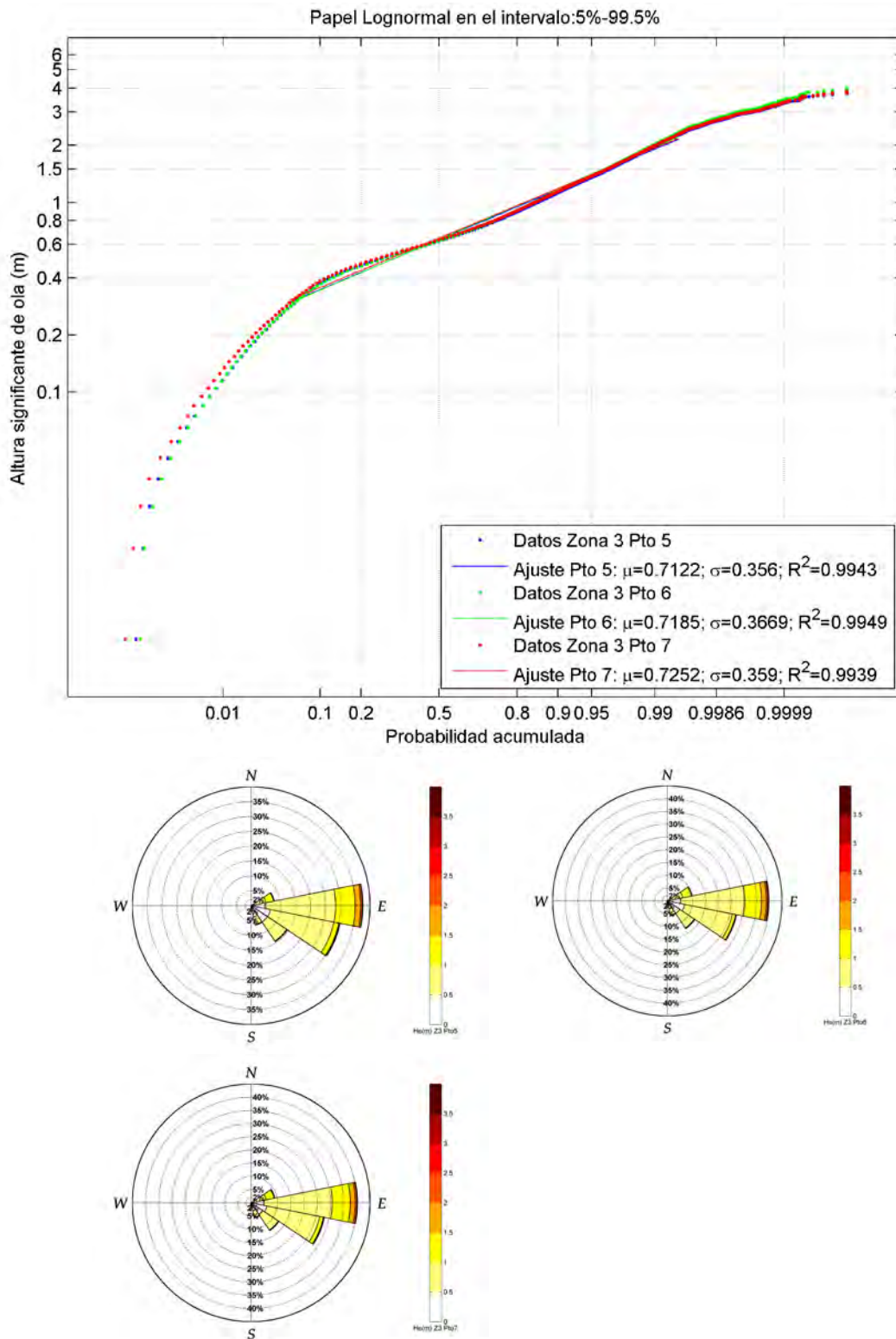


Figura IV.22 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 5, 6 y 7 de la zona 3.

DOCUMENTO FINAL

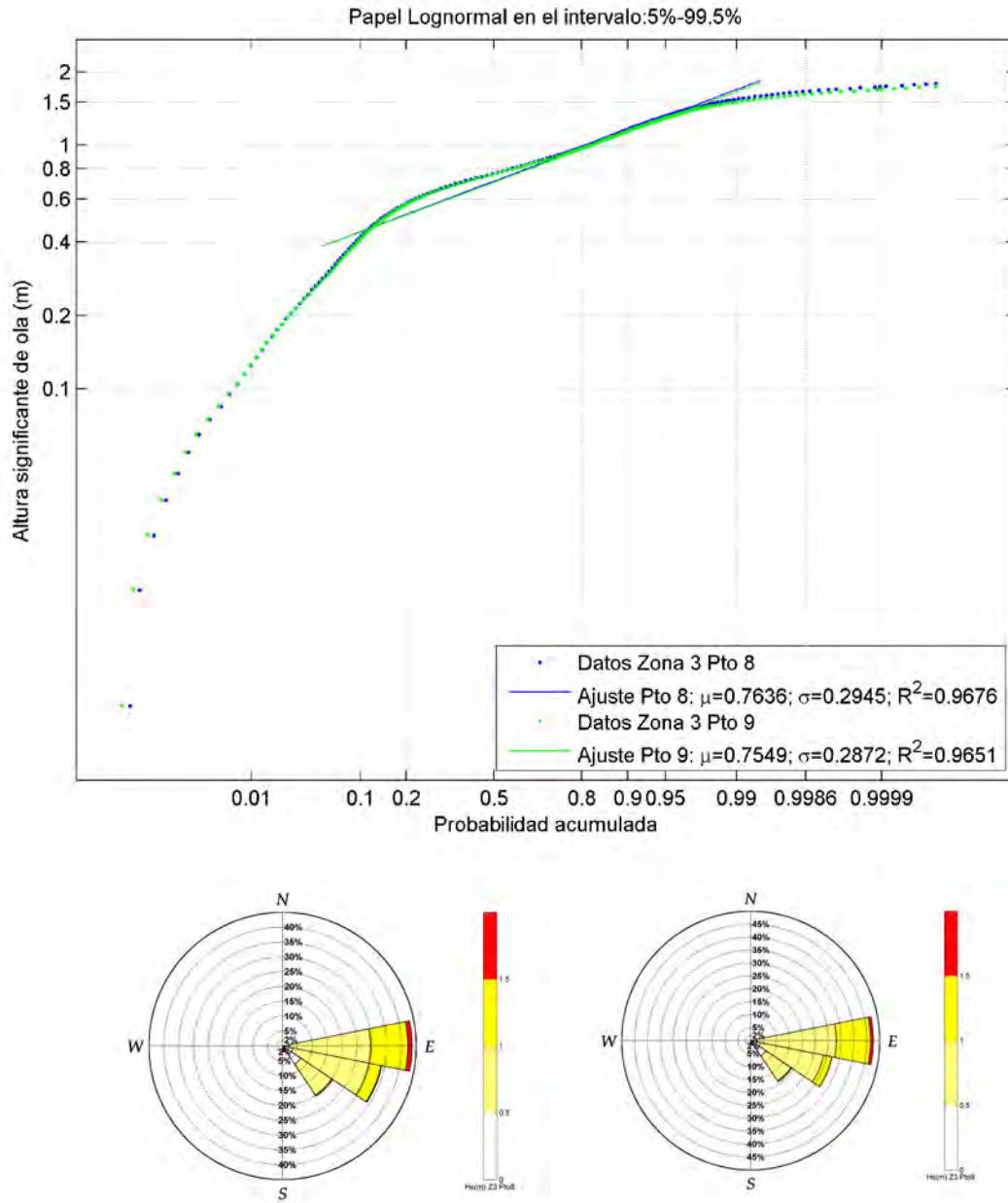


Figura IV.23 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 8 y 9 de la zona 3.

DOCUMENTO FINAL

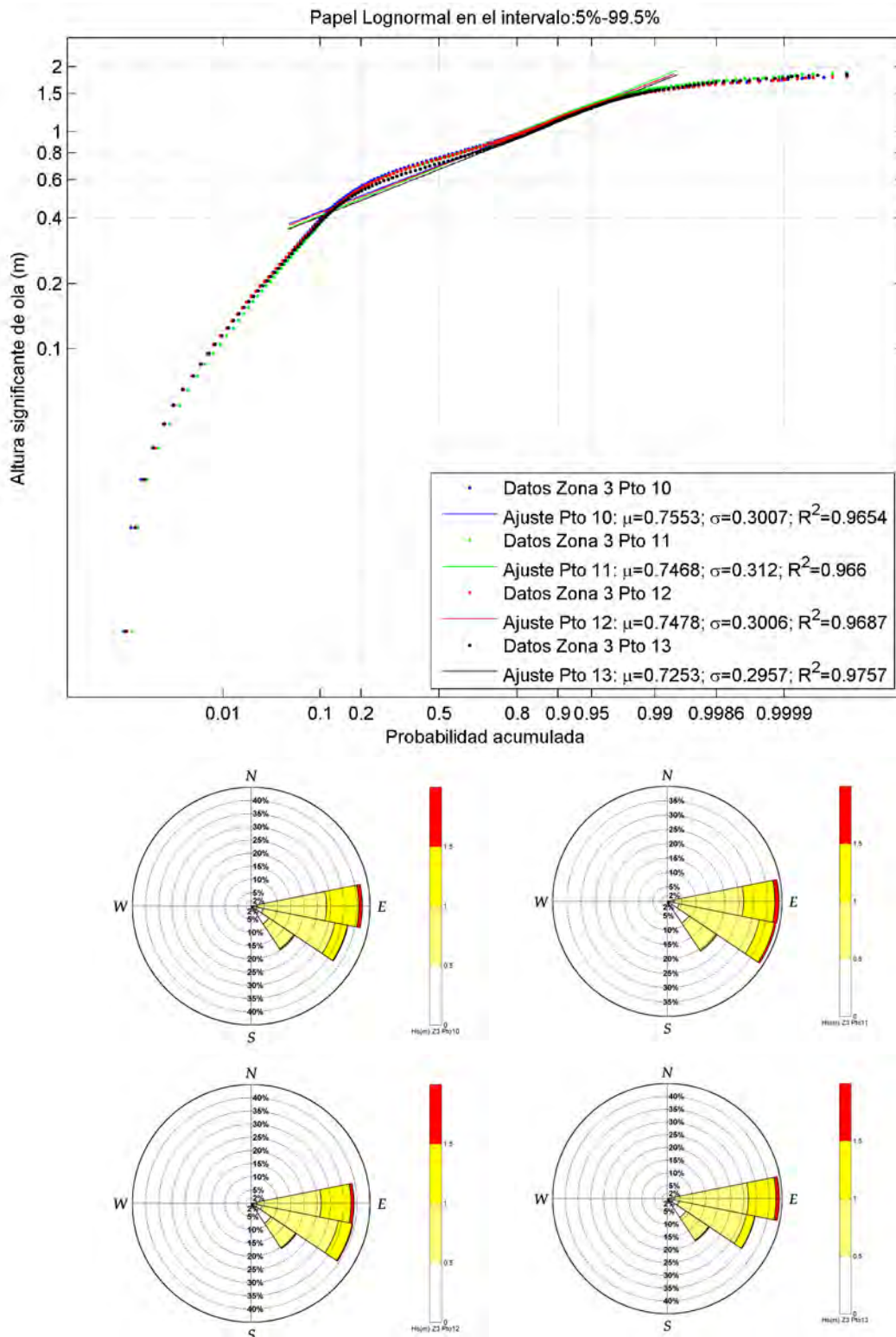


Figura IV.24 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 10, 11, 12 y 13 de la zona 3.

DOCUMENTO FINAL

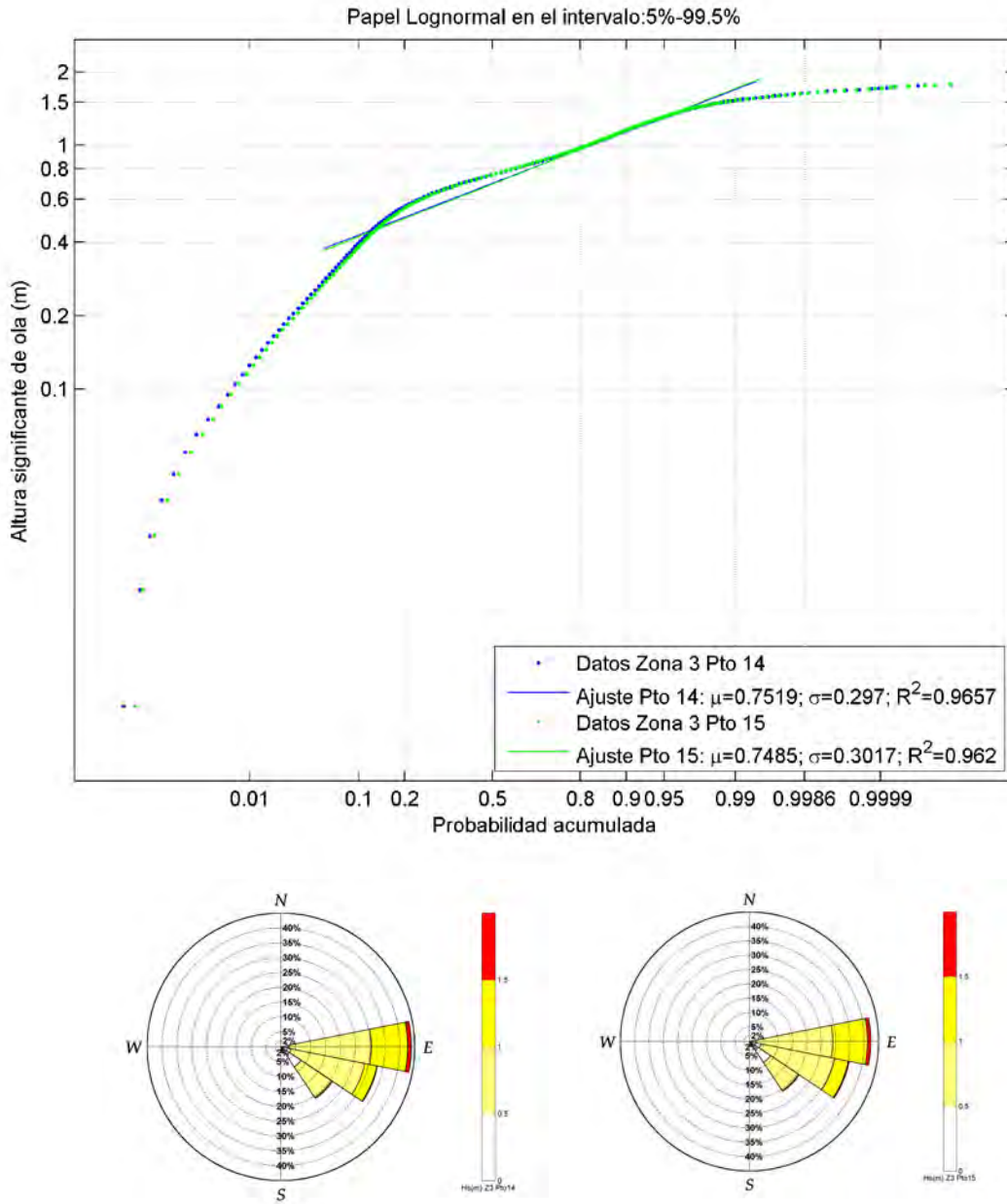


Figura IV.25 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 14 y 15 de la zona 3.



DOCUMENTO FINAL

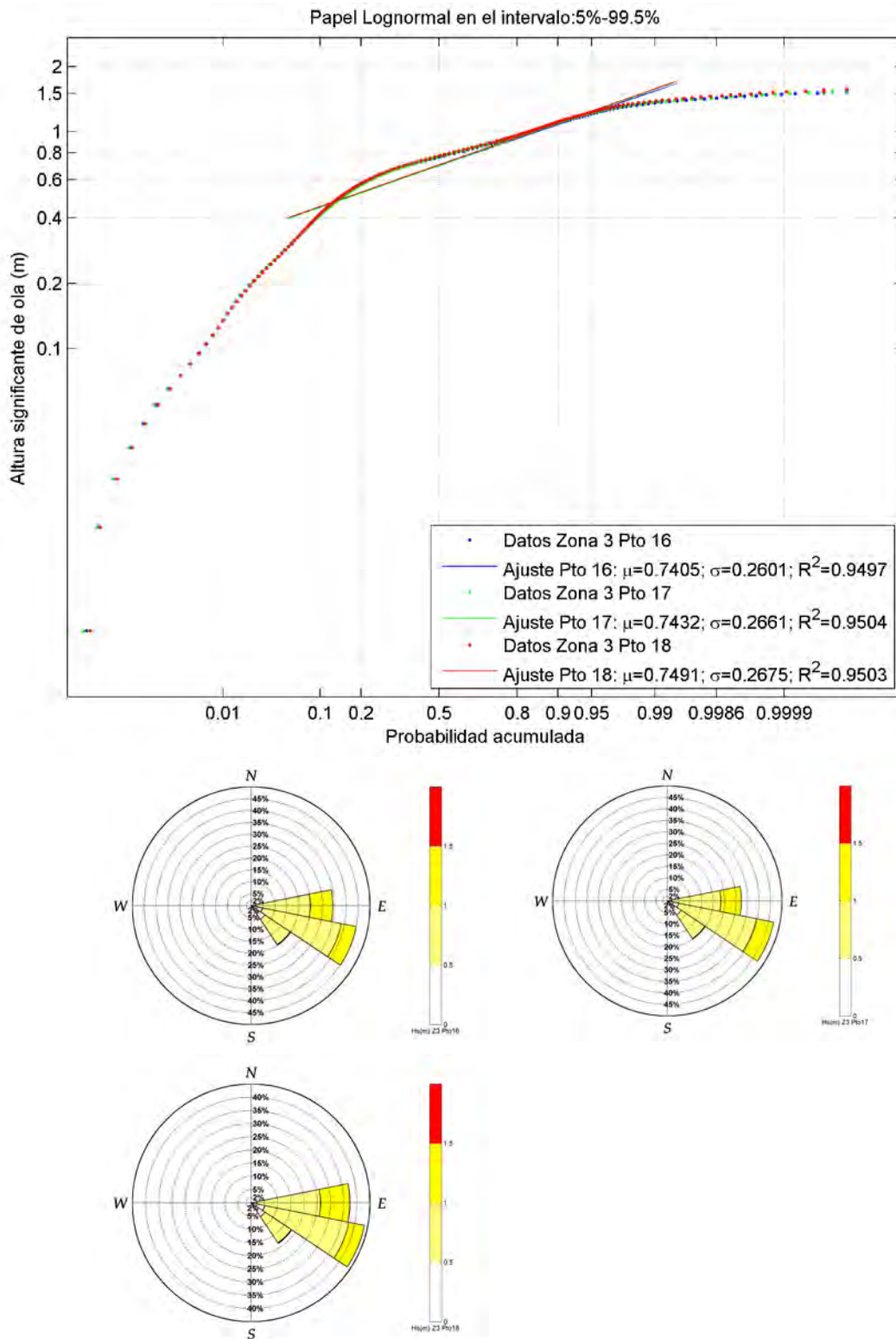


Figura IV.26 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 16, 17 y 18 de la zona 3.

DOCUMENTO FINAL

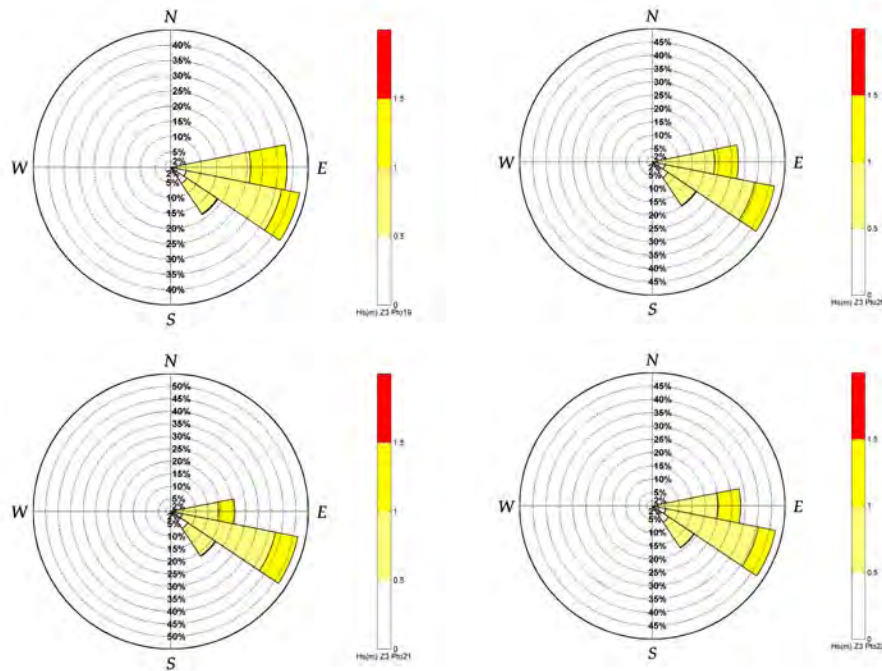
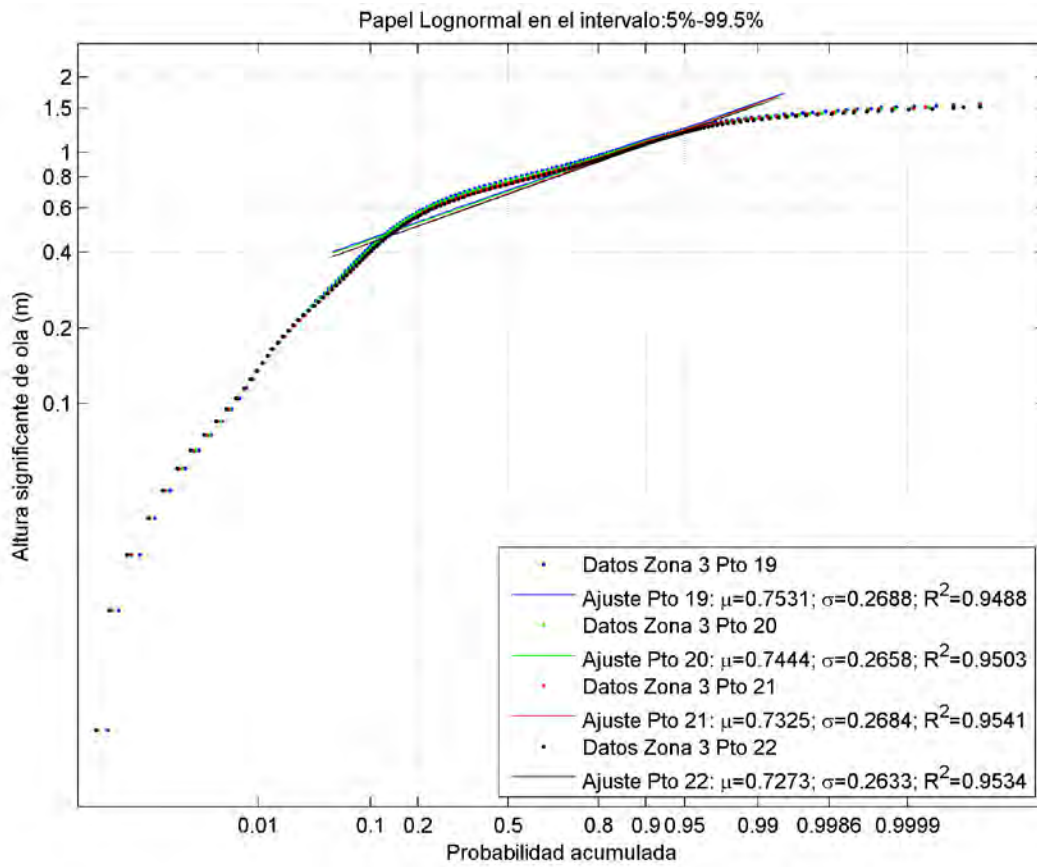


Figura IV.27 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 19, 20, 21 y 22 de la zona 3.

DOCUMENTO FINAL

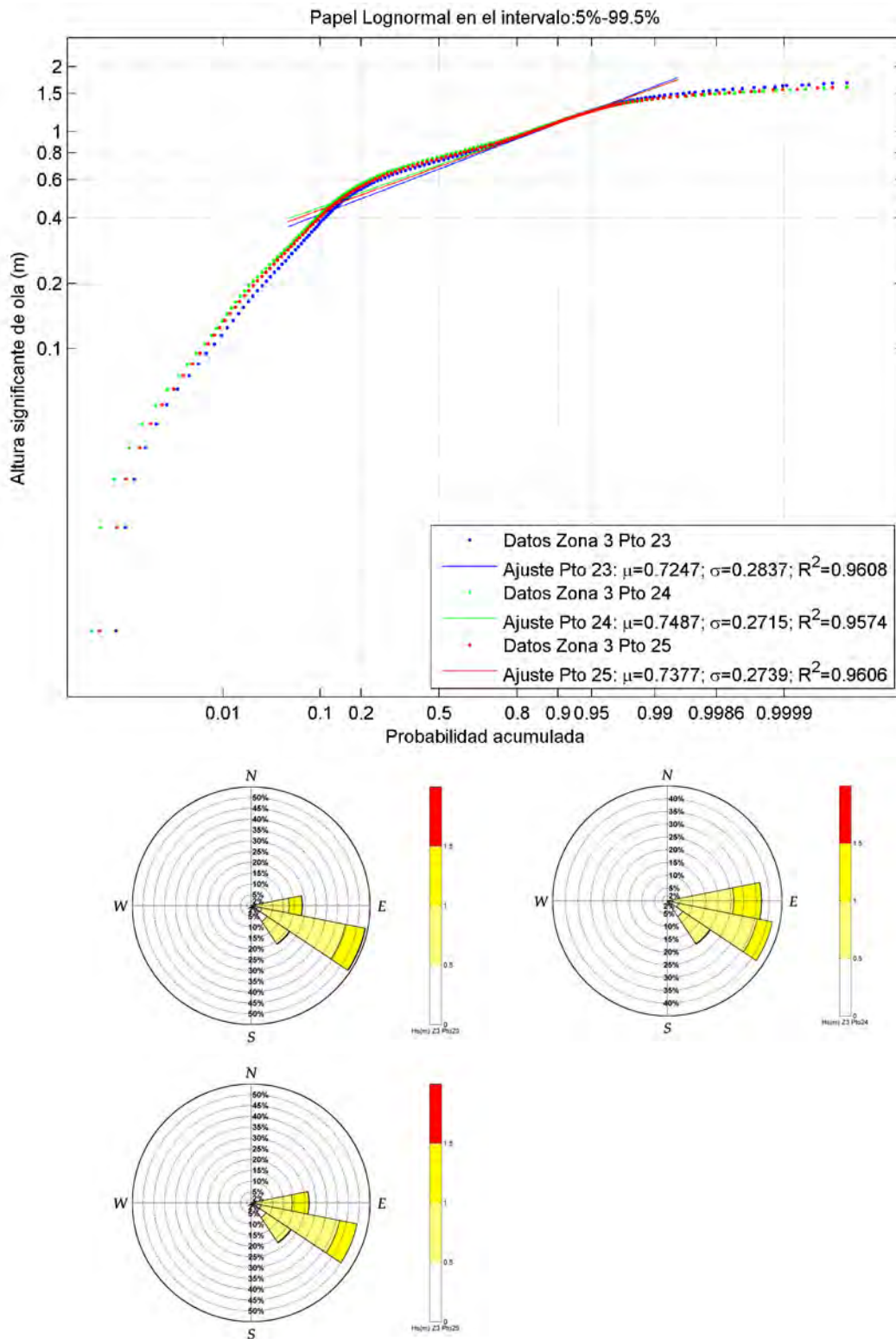


Figura IV.28 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 23, 24 y 25 de la zona 3.

DOCUMENTO FINAL

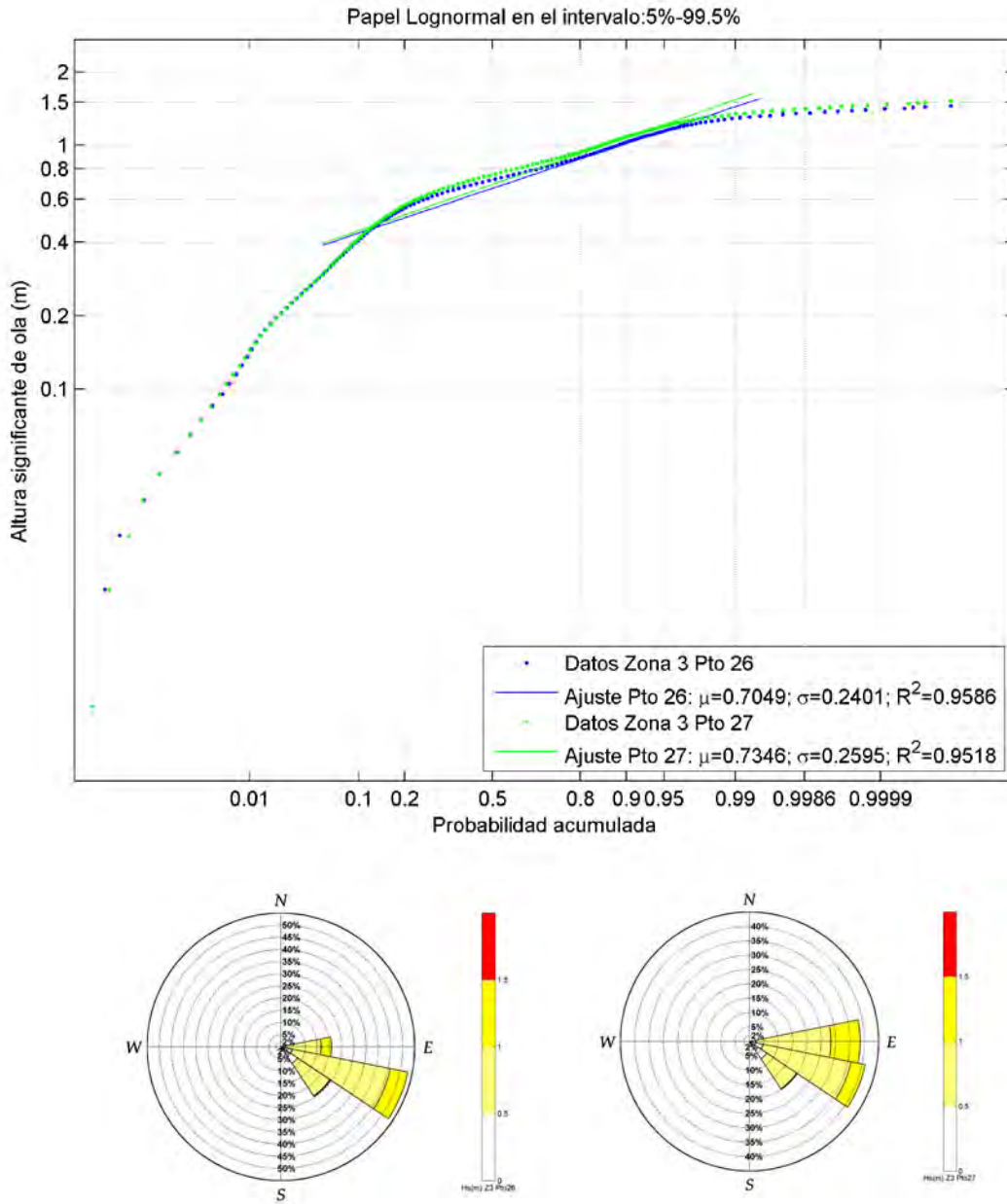


Figura IV.29 Regímenes medios y rosas de altura significante de ola en los puntos 26 y 27 de la zona 3.

DOCUMENTO FINAL

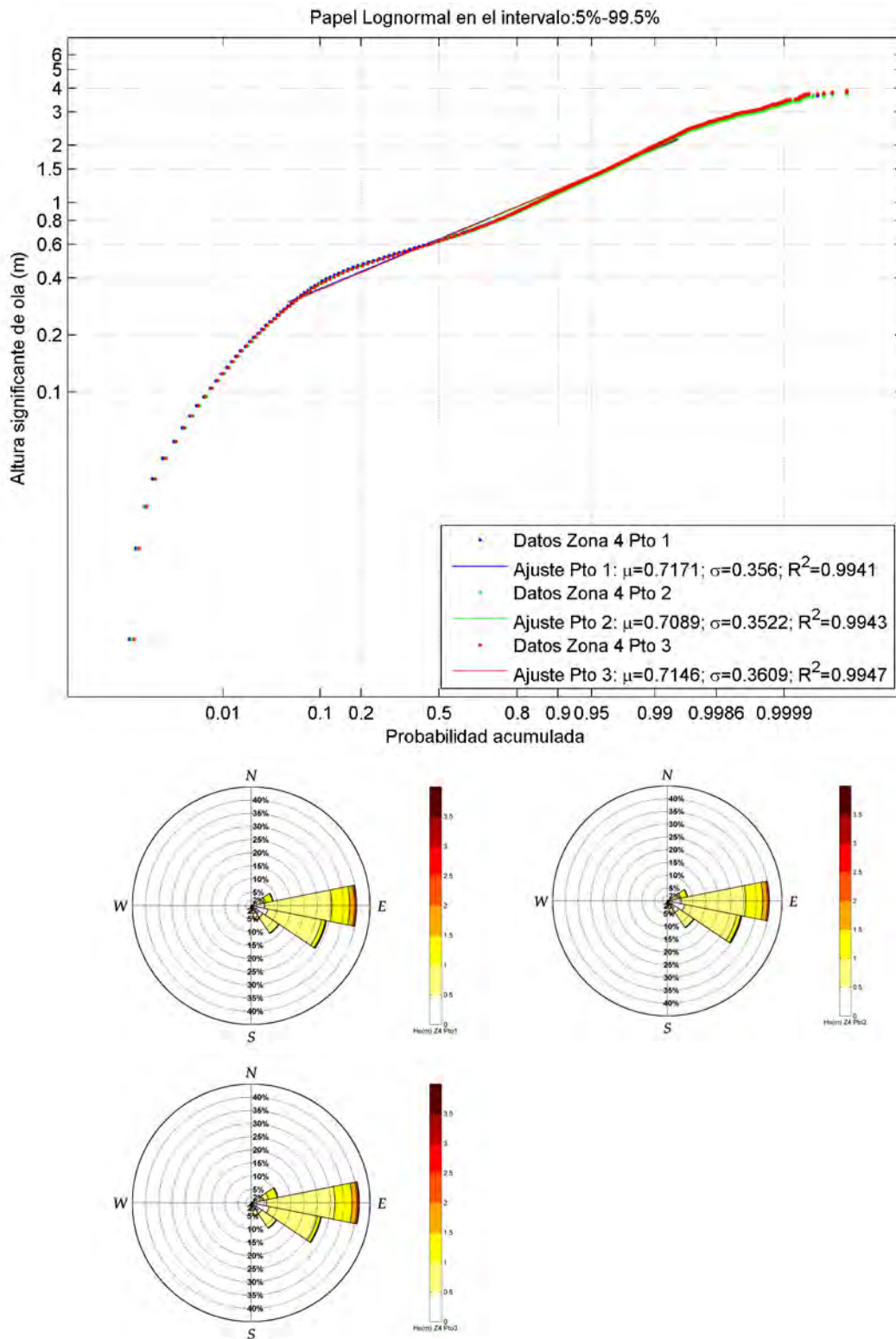


Figura IV.30 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 1, 2 y 3 de la zona 4.

DOCUMENTO FINAL

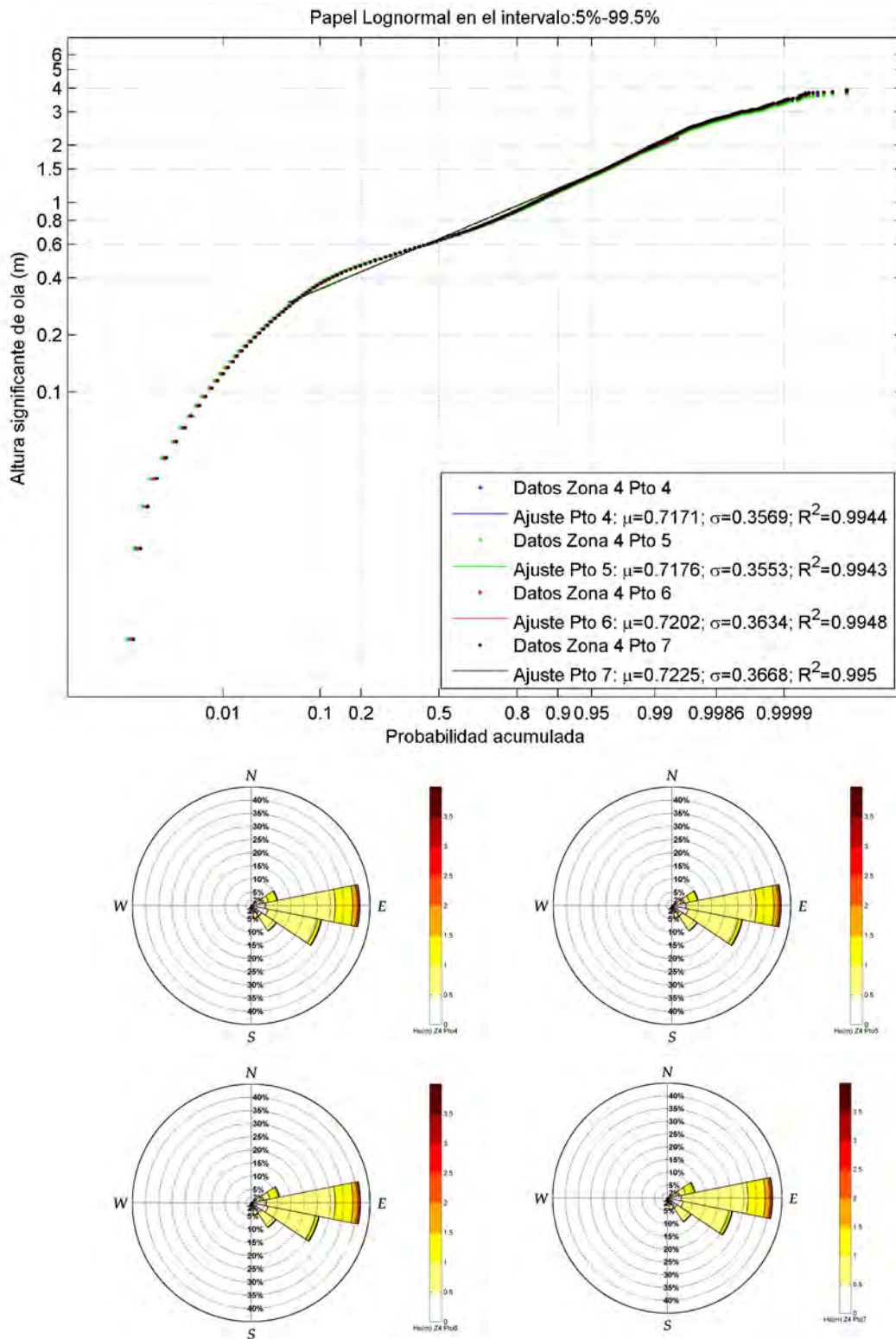


Figura IV.31 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 4, 5, 6 y 7 de la zona 4.

DOCUMENTO FINAL

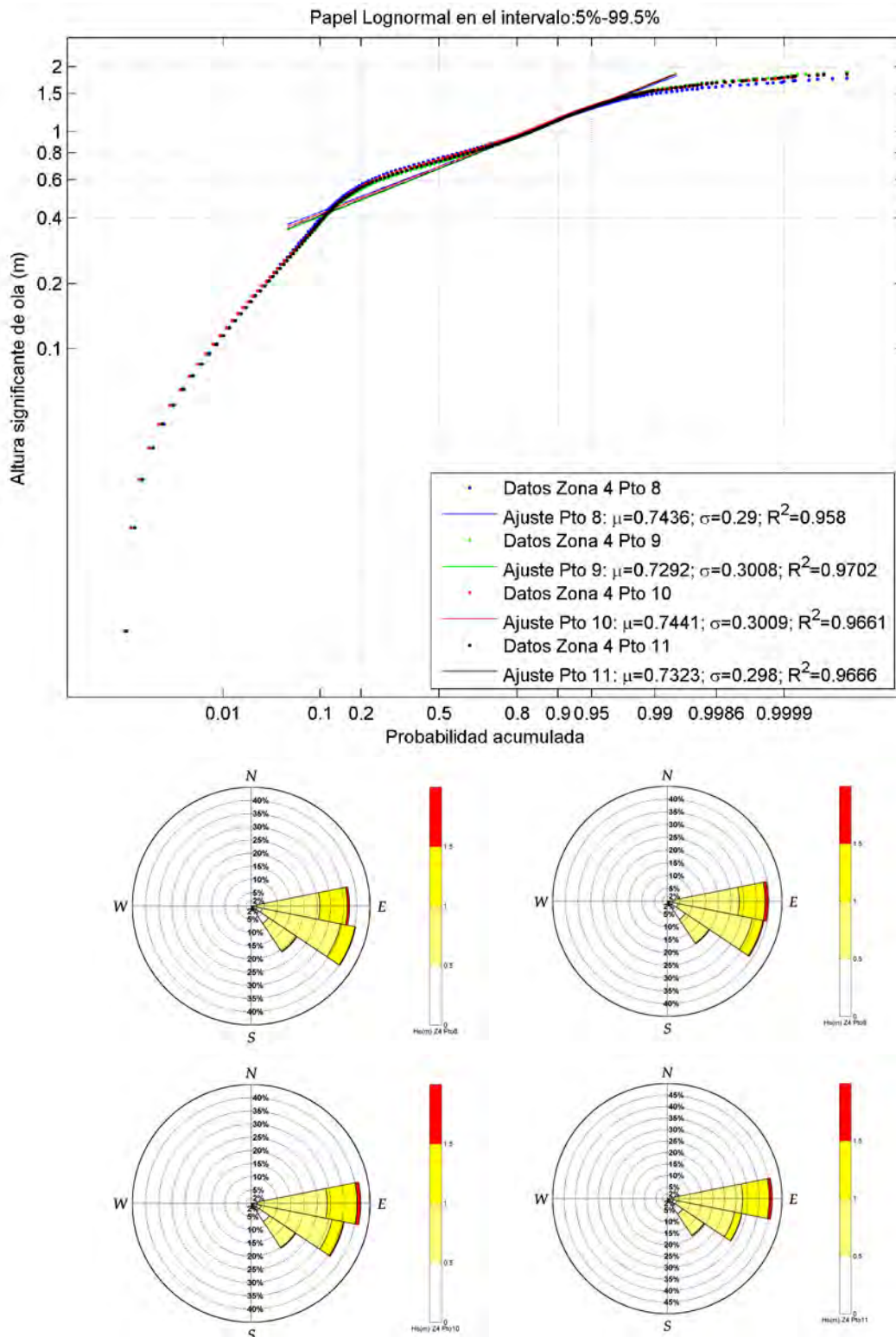


Figura IV.32 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 8, 9, 10 y 11 de la zona 4.

DOCUMENTO FINAL

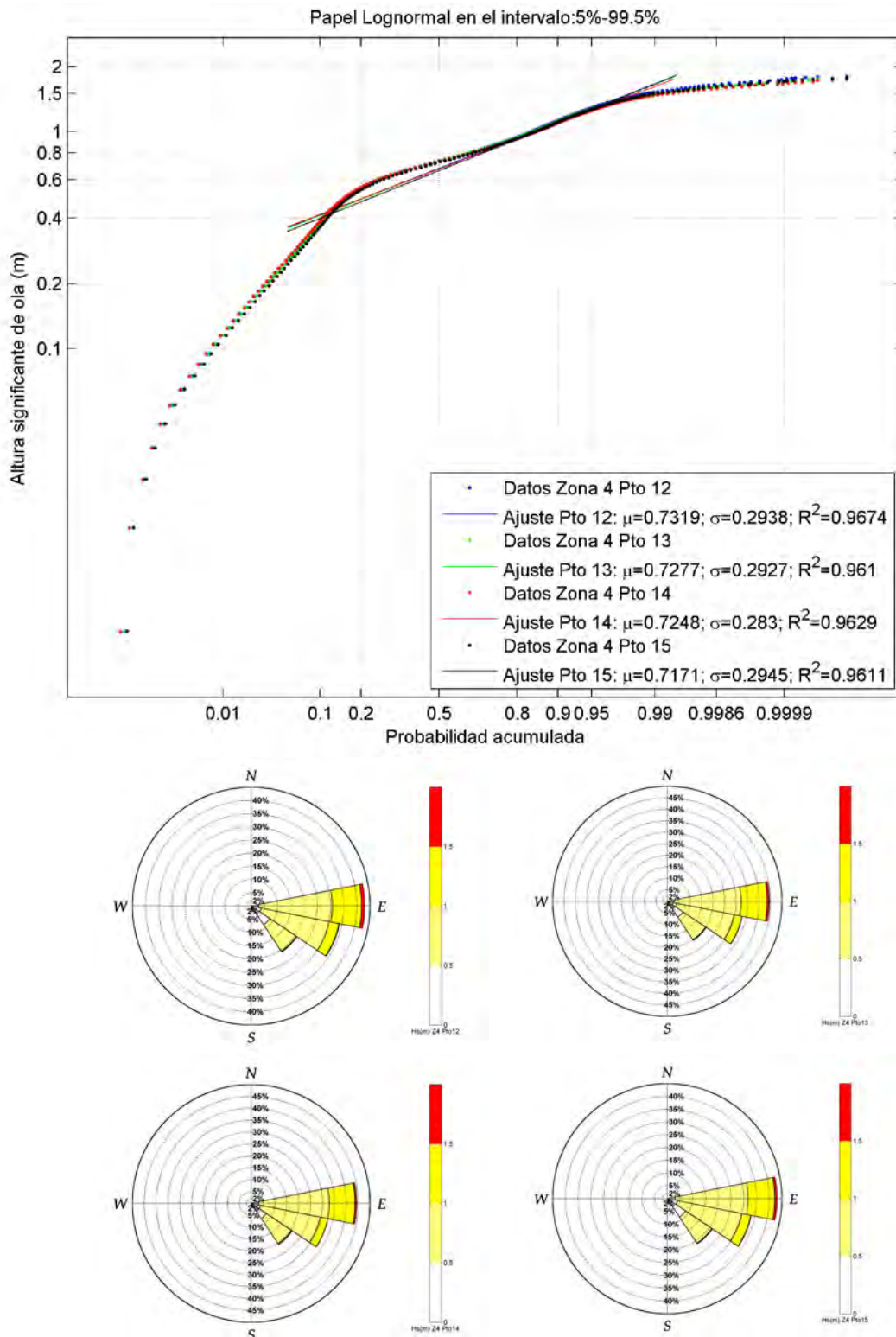


Figura IV.33 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 12, 13, 14 y 15 de la zona 4.



DOCUMENTO FINAL

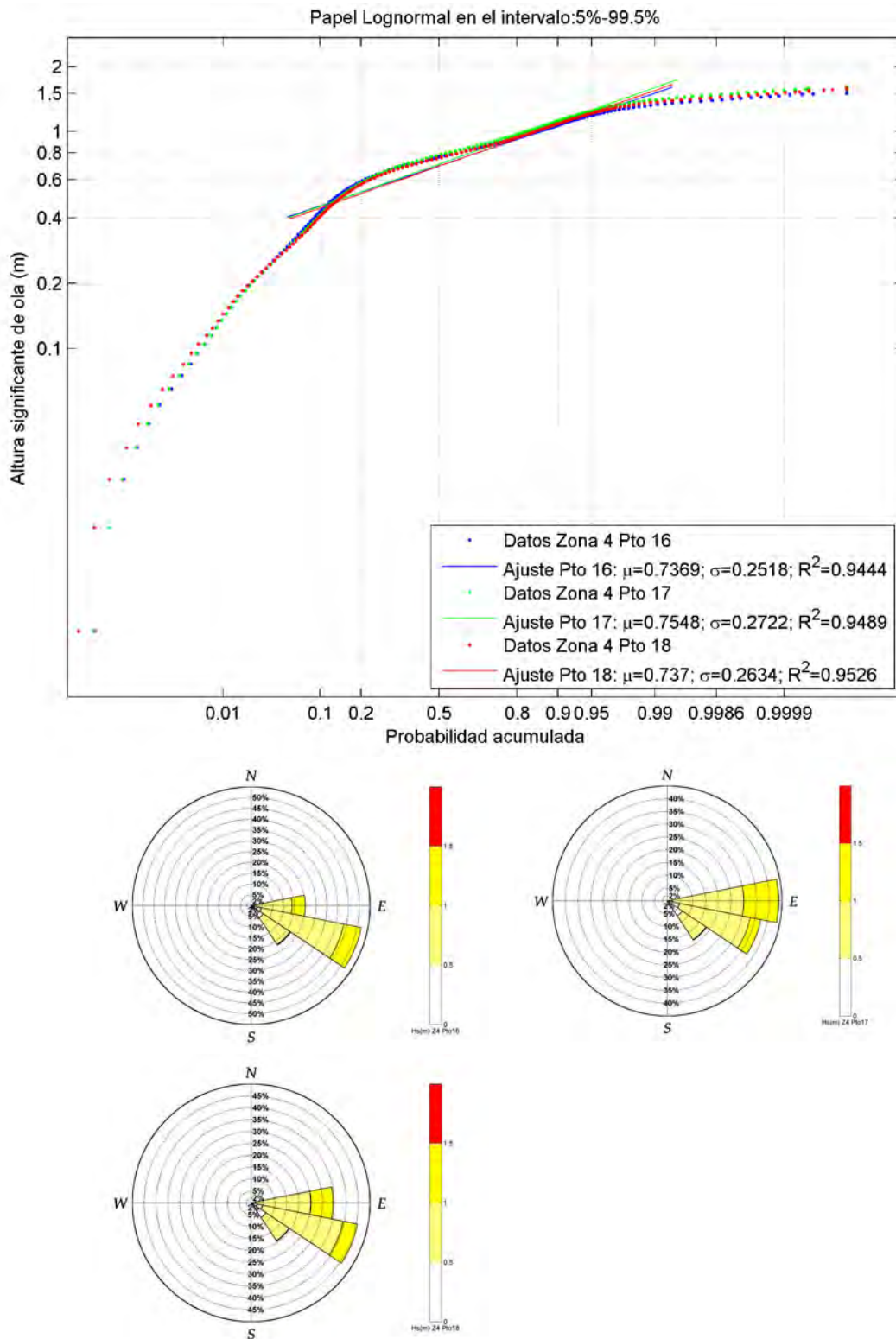


Figura IV.34 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 16, 17 y 18 de la zona 4.

DOCUMENTO FINAL

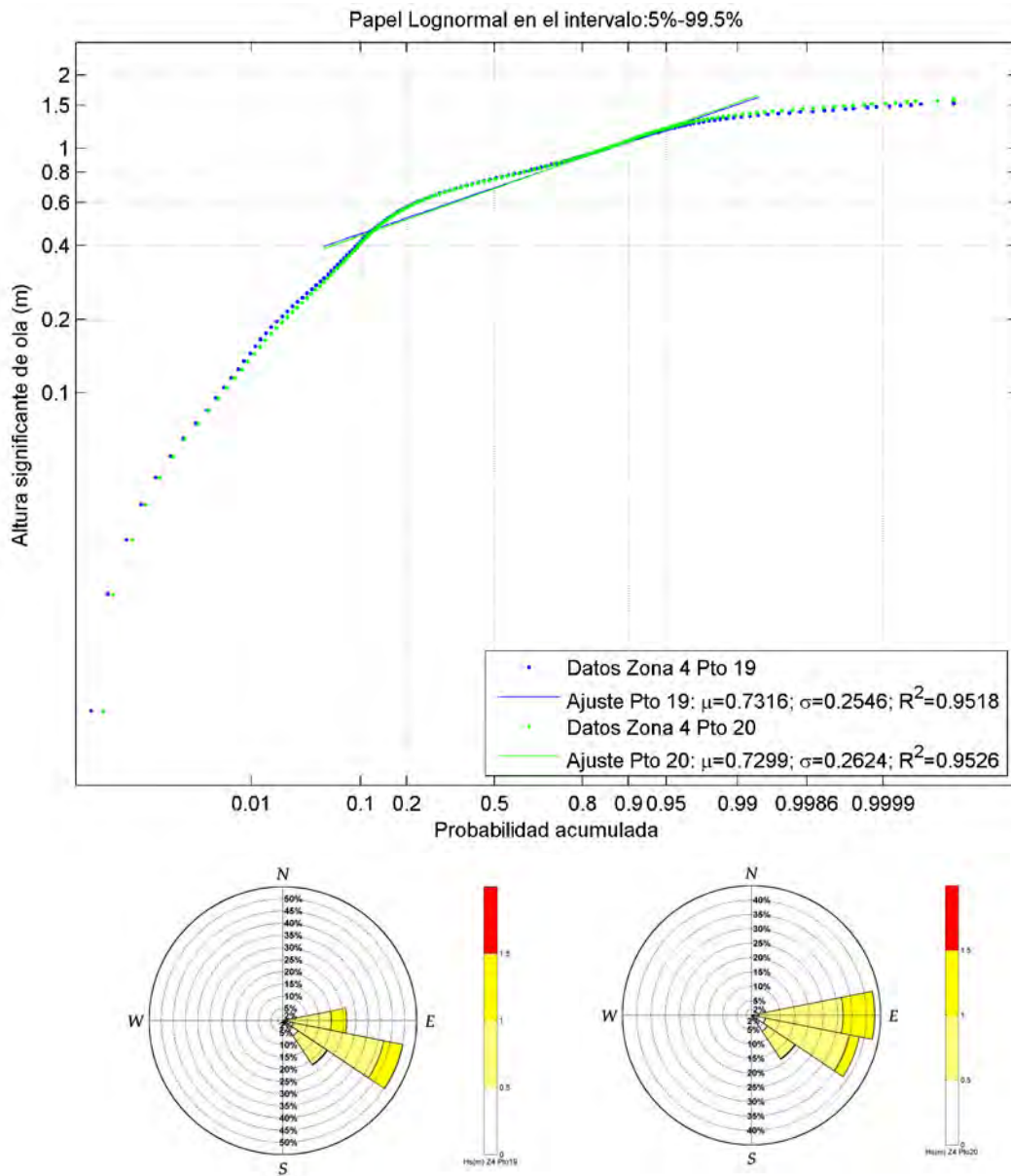


Figura IV.35 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 19 y 20 de la zona 4.

DOCUMENTO FINAL

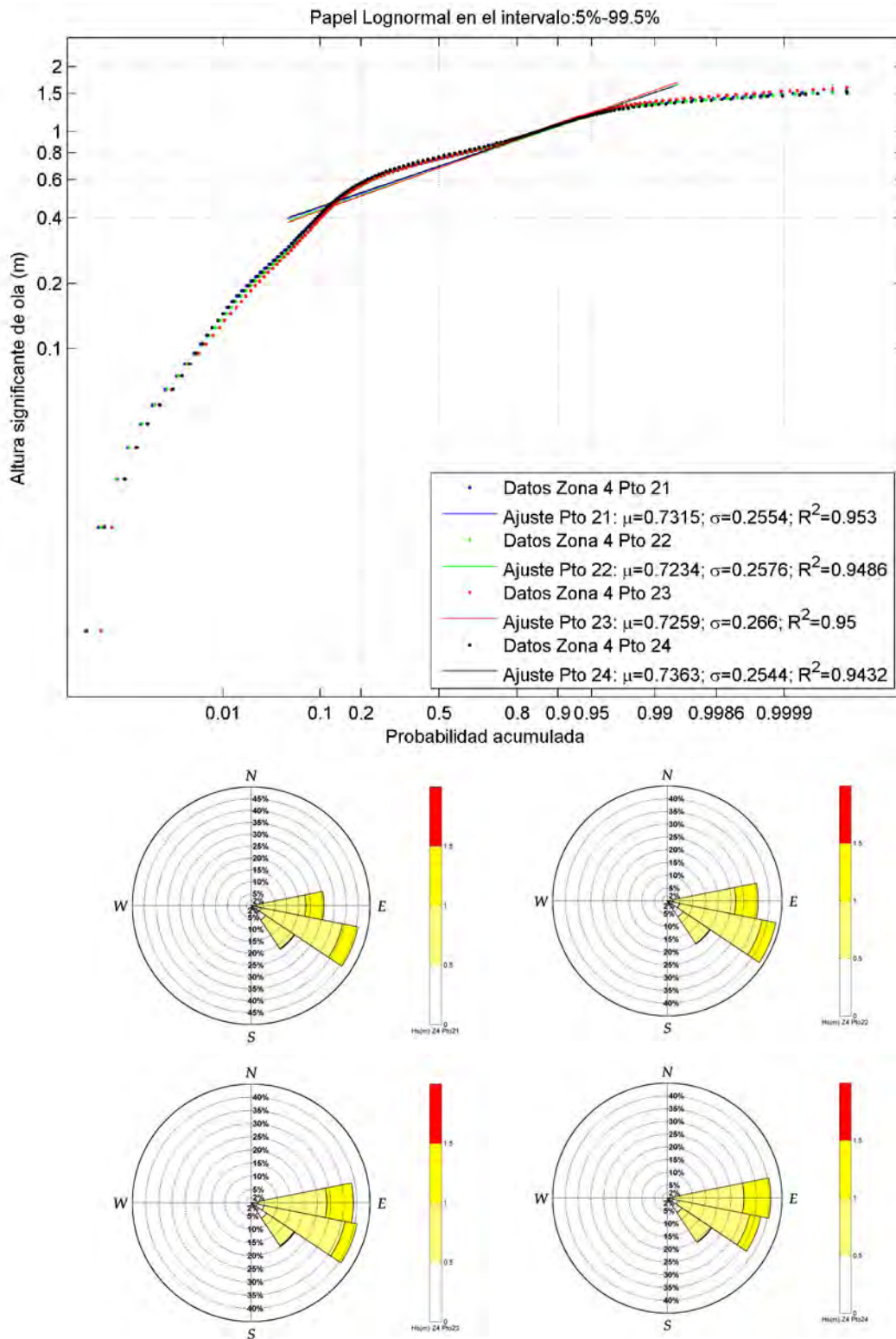


Figura IV.36 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 21, 22, 23 y 24 de la zona 4.

DOCUMENTO FINAL

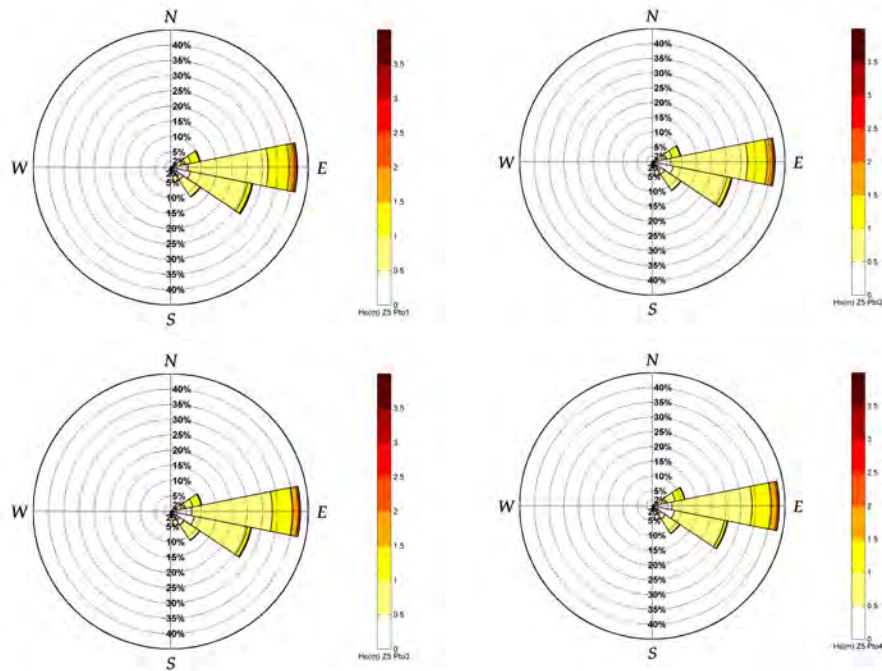
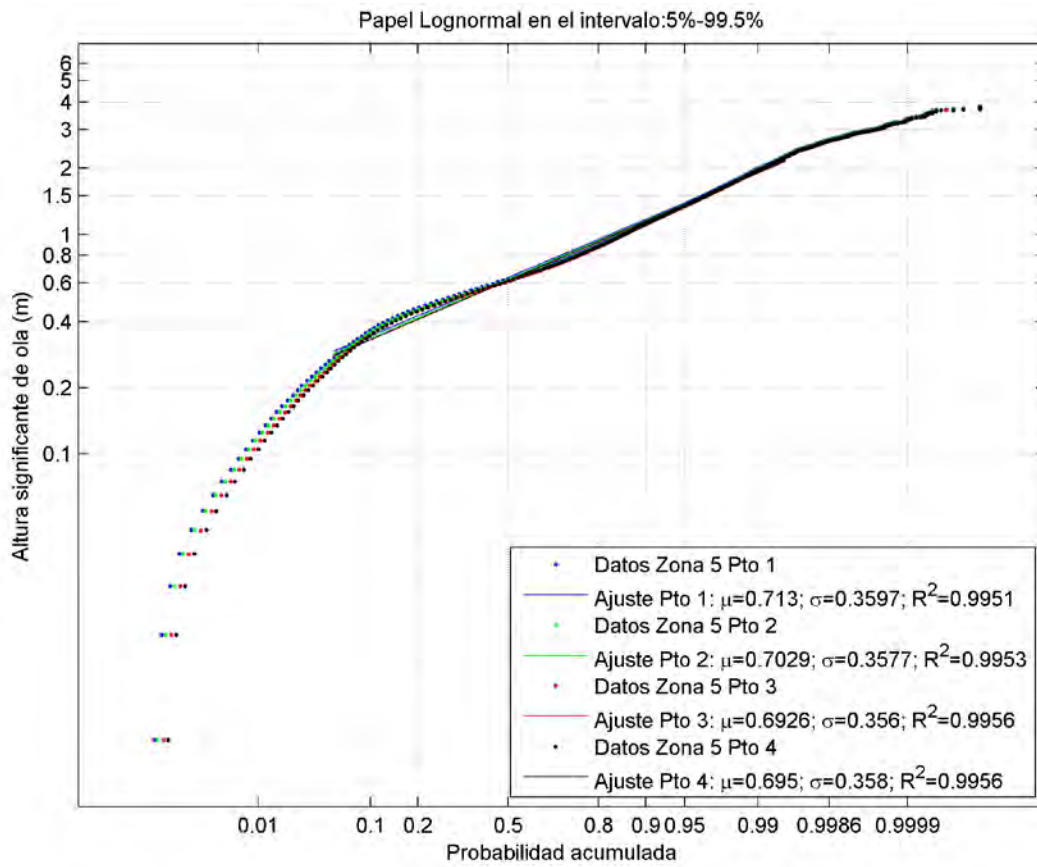


Figura IV.37 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 1, 2, 3 y 4 de la zona 5.

DOCUMENTO FINAL

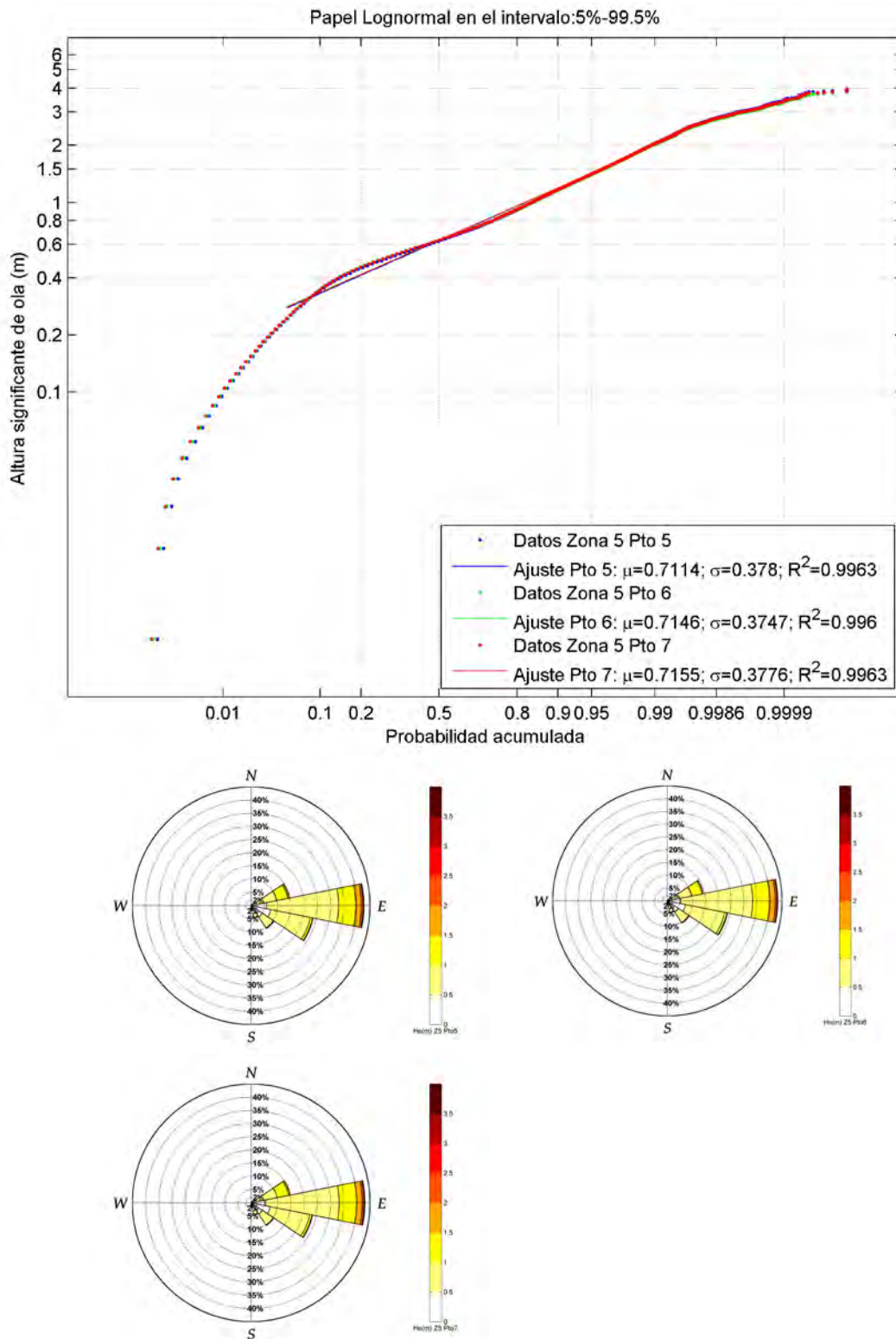


Figura IV.38 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 5, 6 y 7 de la zona 5.

DOCUMENTO FINAL

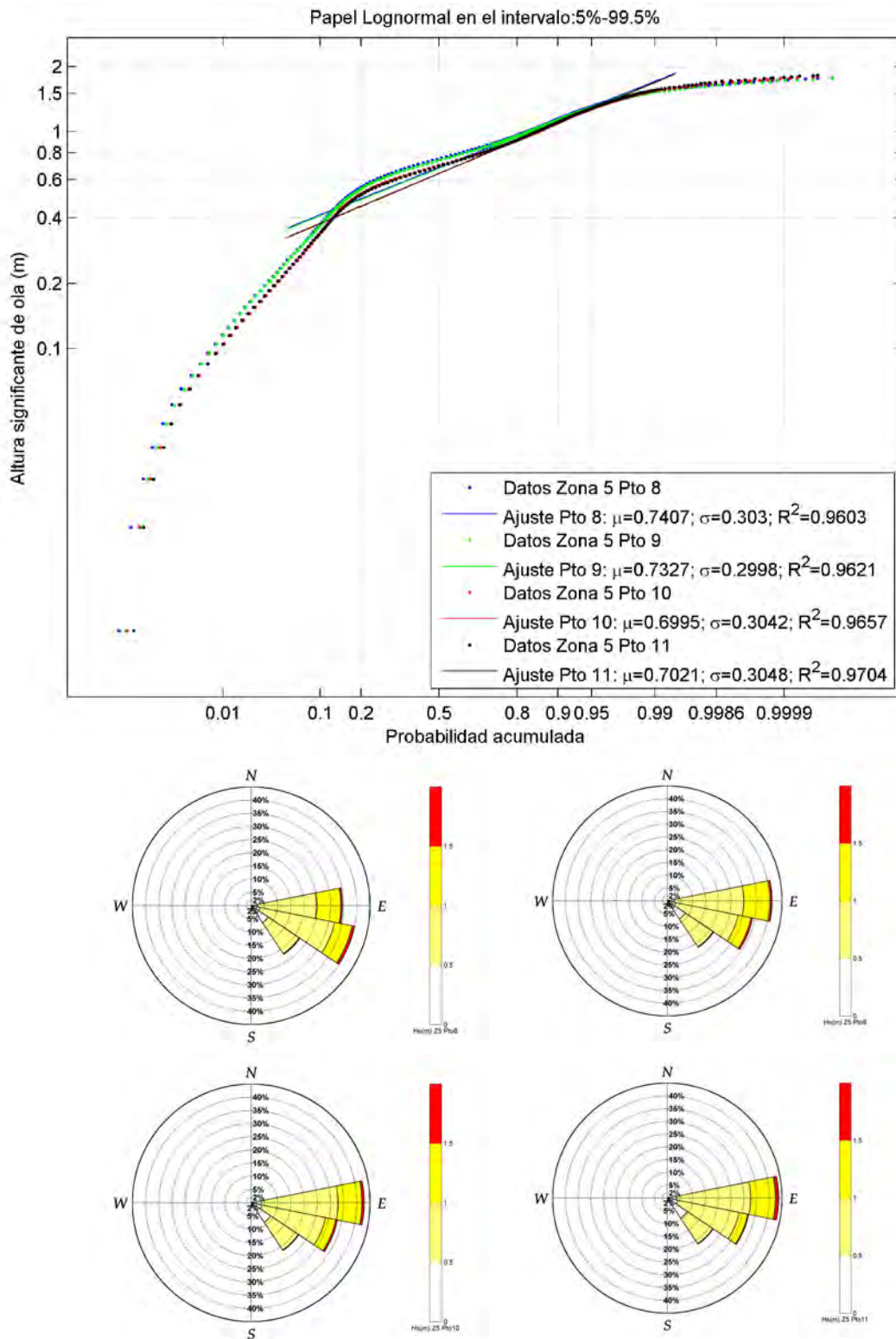


Figura IV.39 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 8, 9, 10 y 11 de la zona 5.

DOCUMENTO FINAL

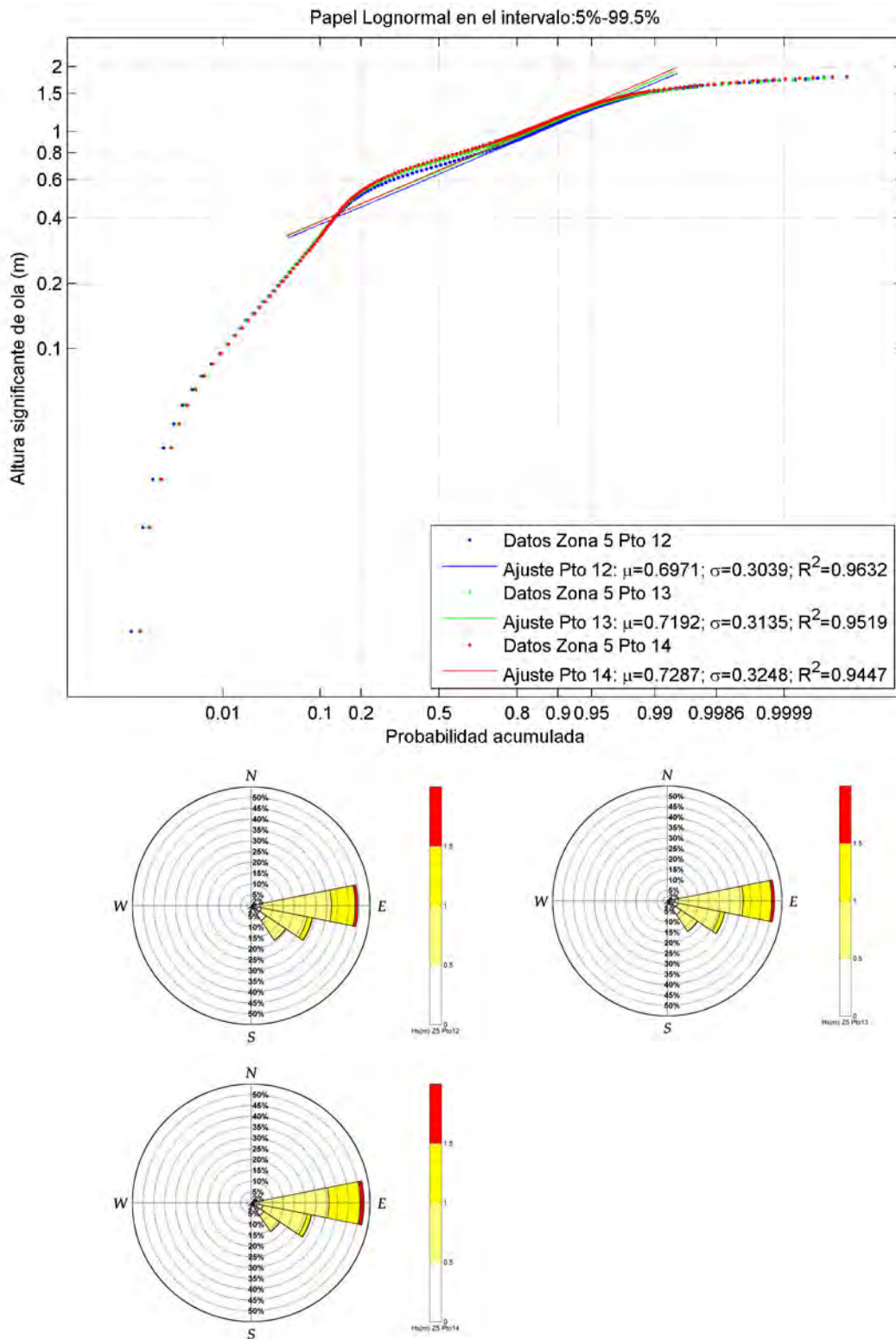


Figura IV.40 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 12, 13 y 14 de la zona 5.

DOCUMENTO FINAL

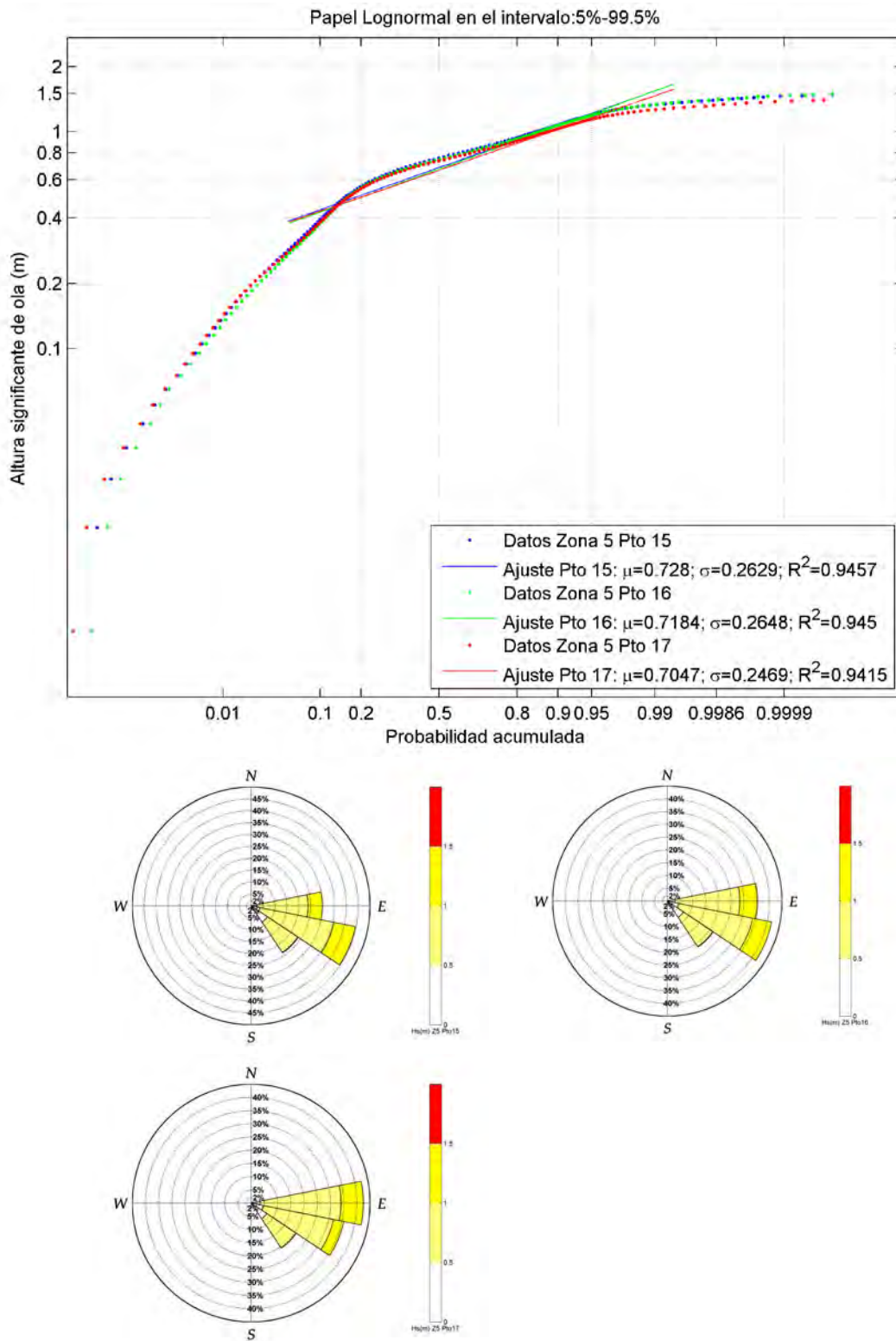


Figura IV.41 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 15, 16 y 17 de la zona 5.



DOCUMENTO FINAL

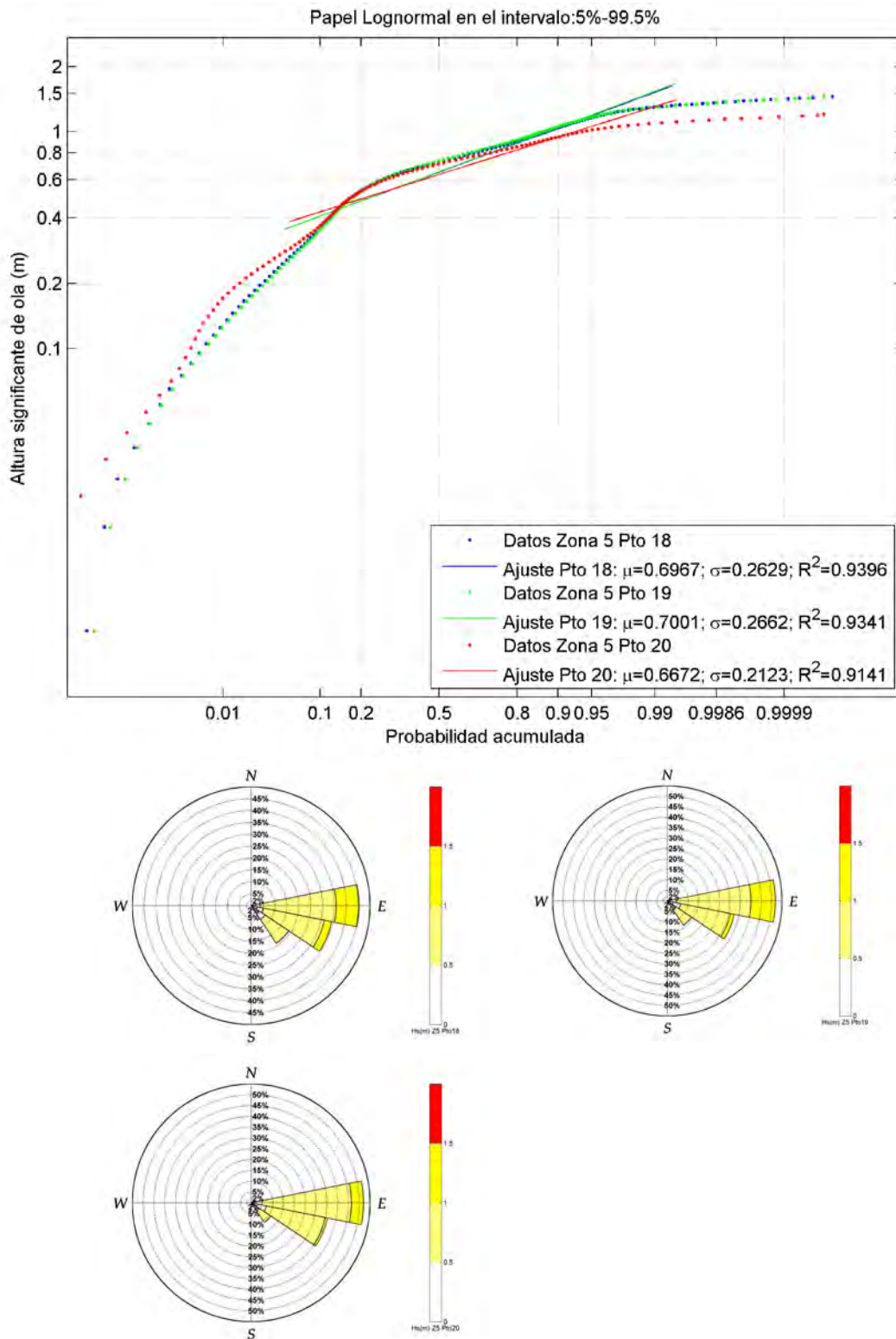


Figura IV.42 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 18, 19 y 20 de la zona 5.

DOCUMENTO FINAL

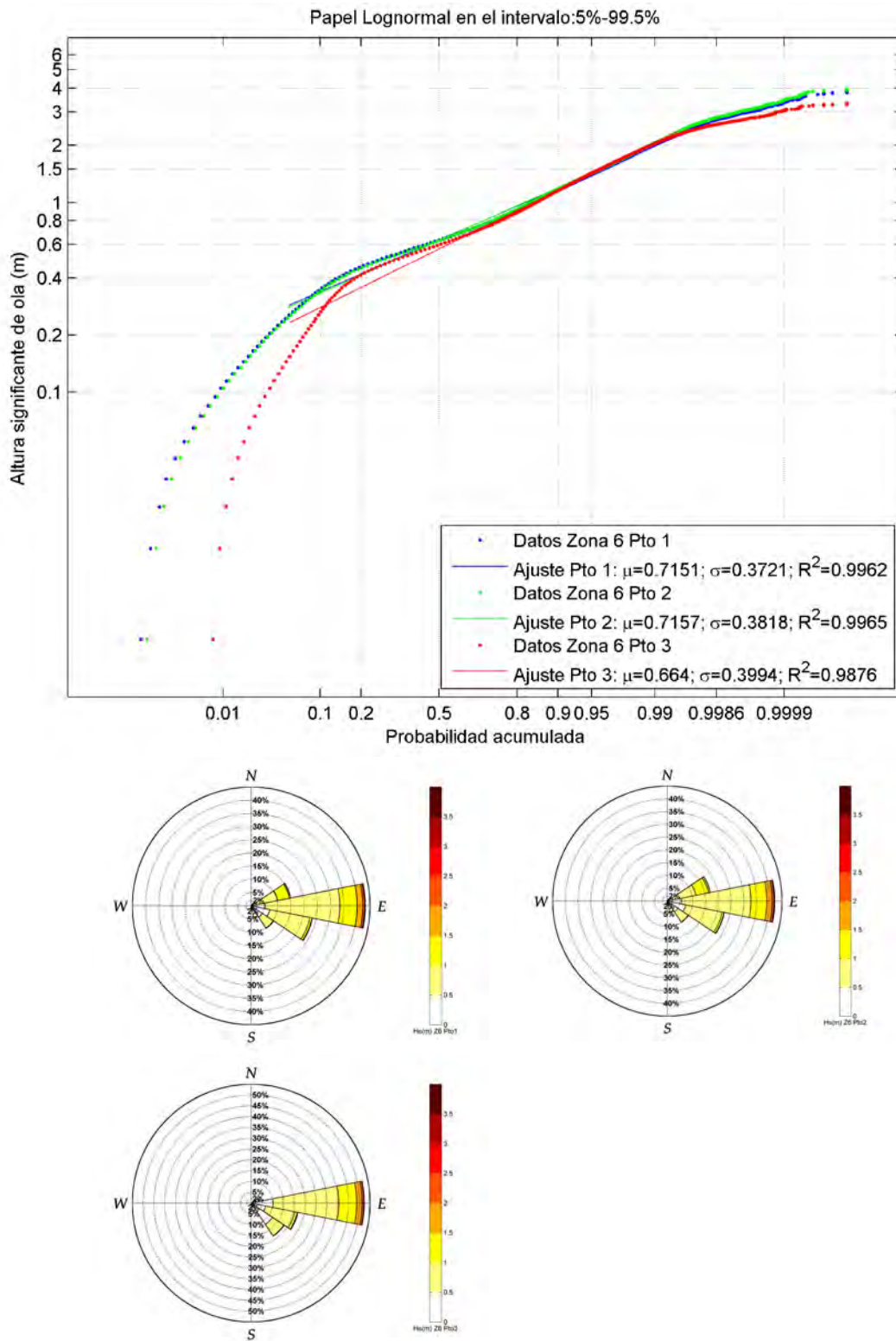


Figura IV.43 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 1, 2 y 3 de la zona 6.

DOCUMENTO FINAL

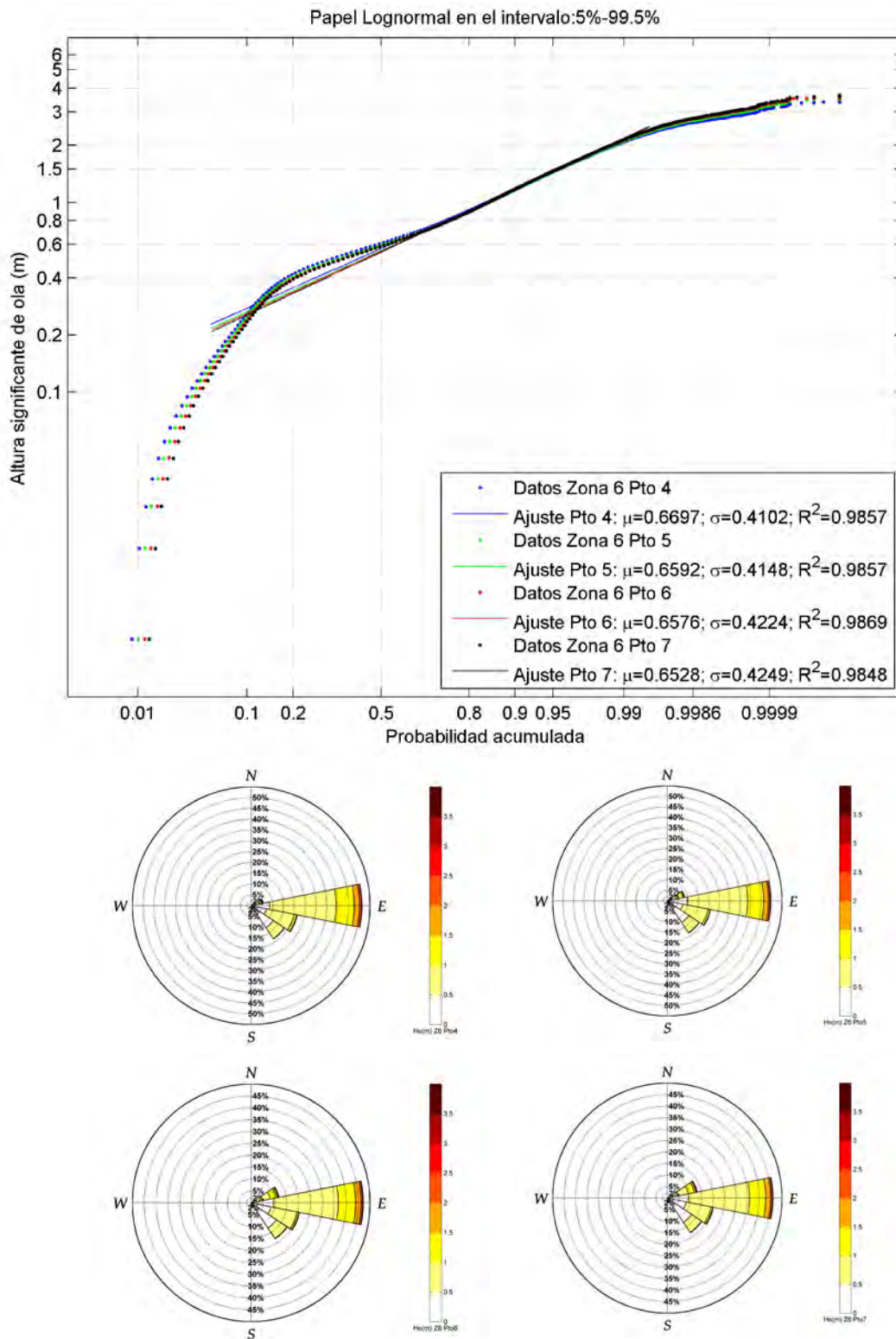


Figura IV.44 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 4, 5, 6 y 7 de la zona 6.

DOCUMENTO FINAL

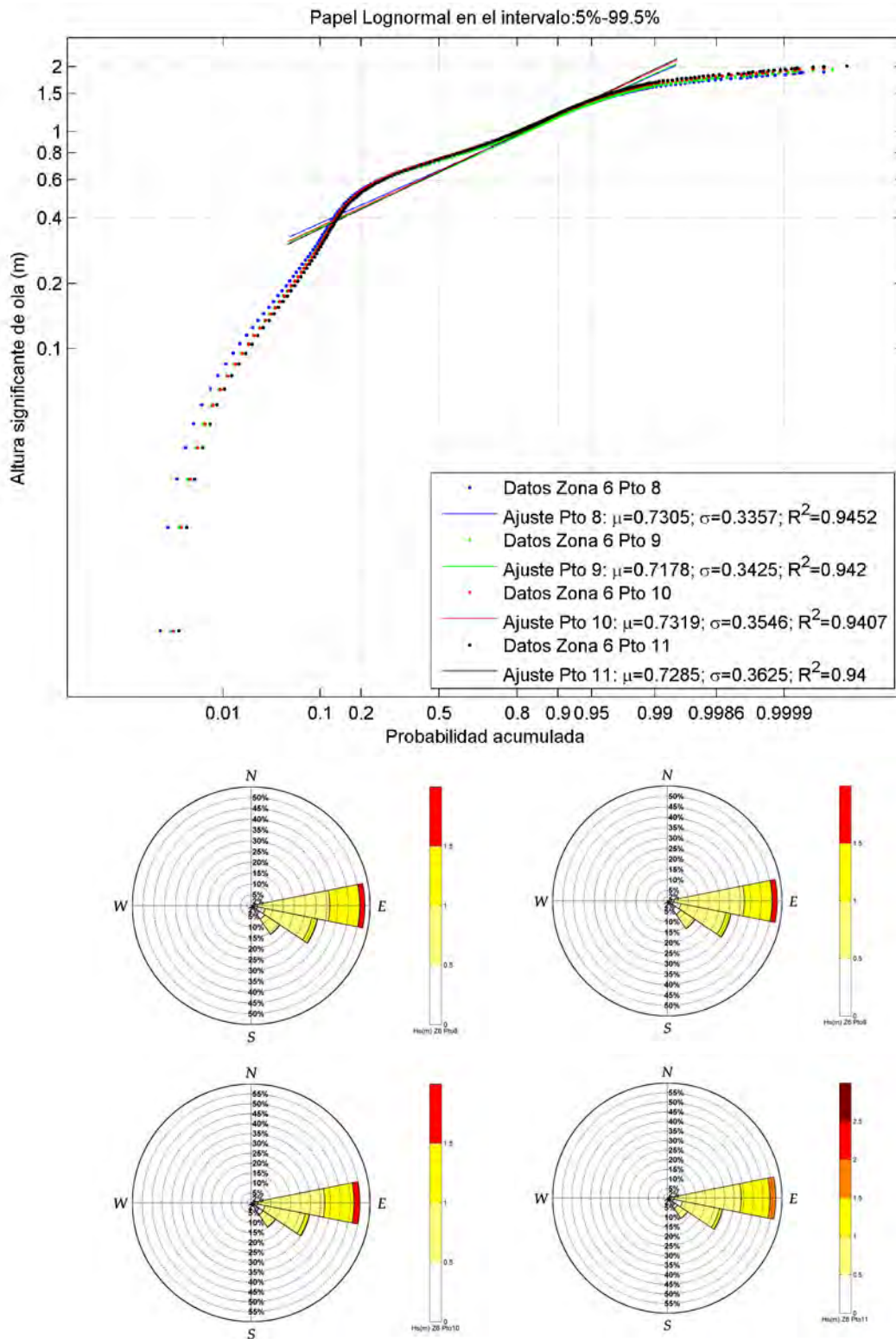


Figura IV.45 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 8, 9, 10 y 11 de la zona 6.

DOCUMENTO FINAL

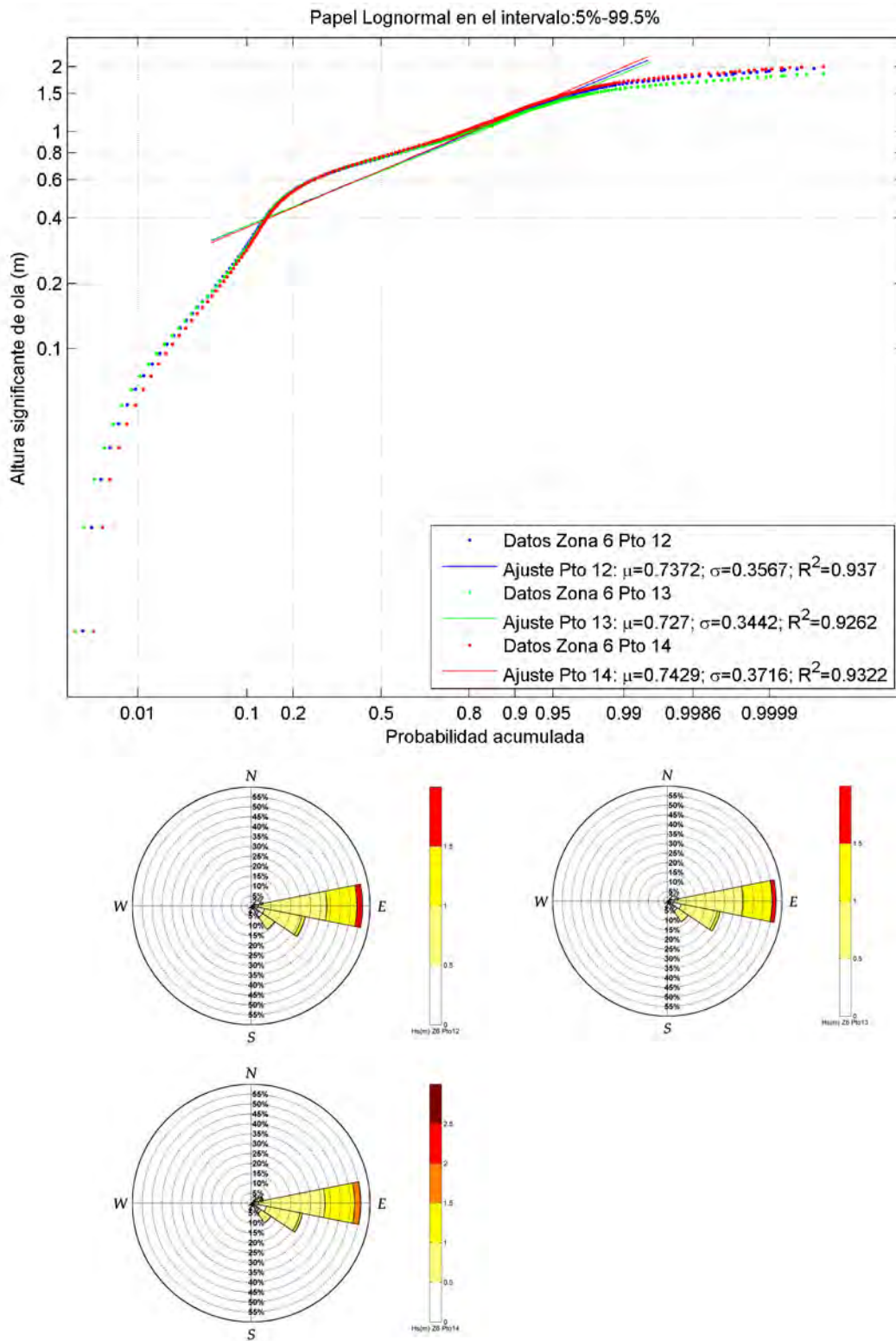


Figura IV.46 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 12, 13 y 14 de la zona 6.

DOCUMENTO FINAL

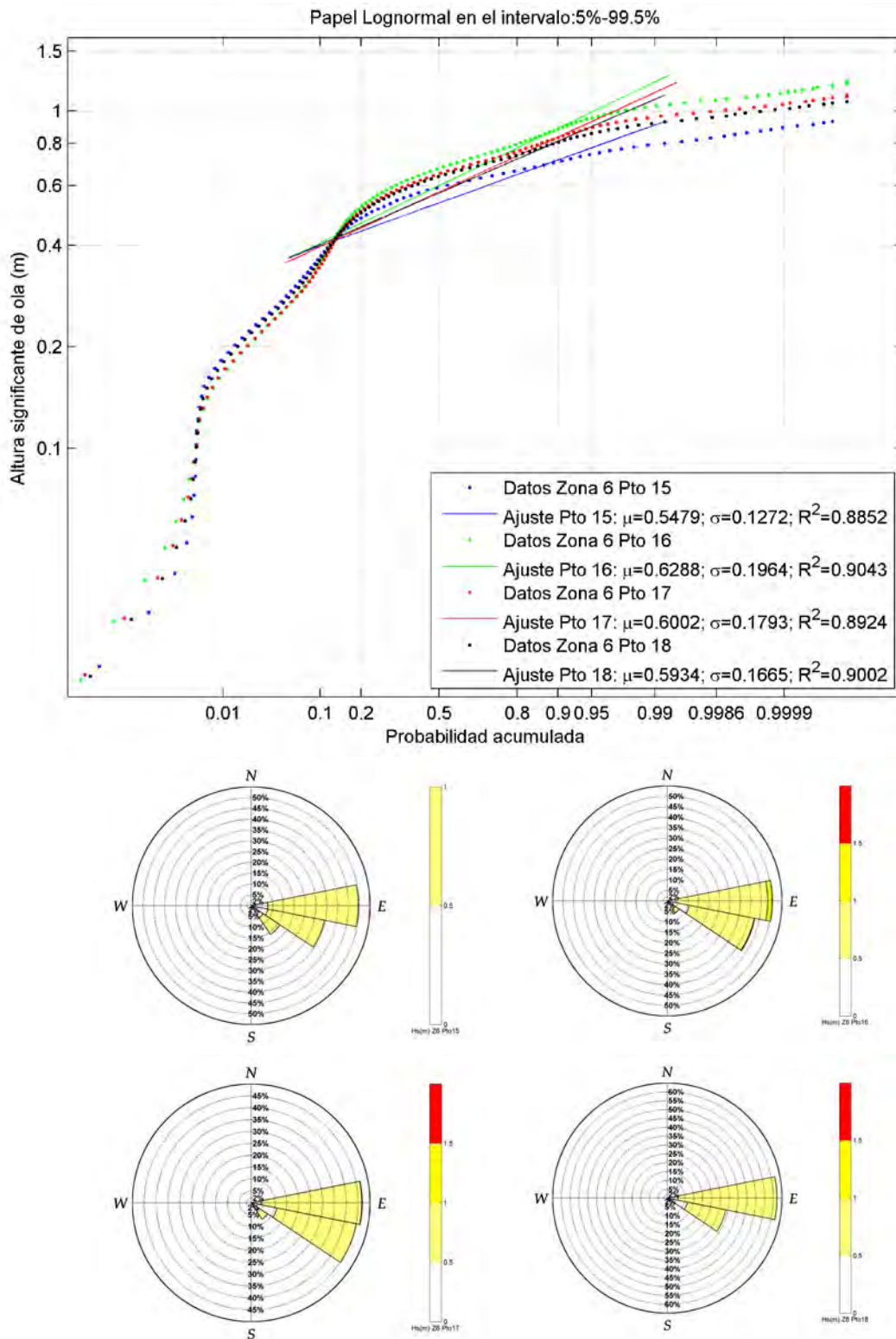


Figura IV.47 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 15, 16, 17 y 18 de la zona 6.

DOCUMENTO FINAL

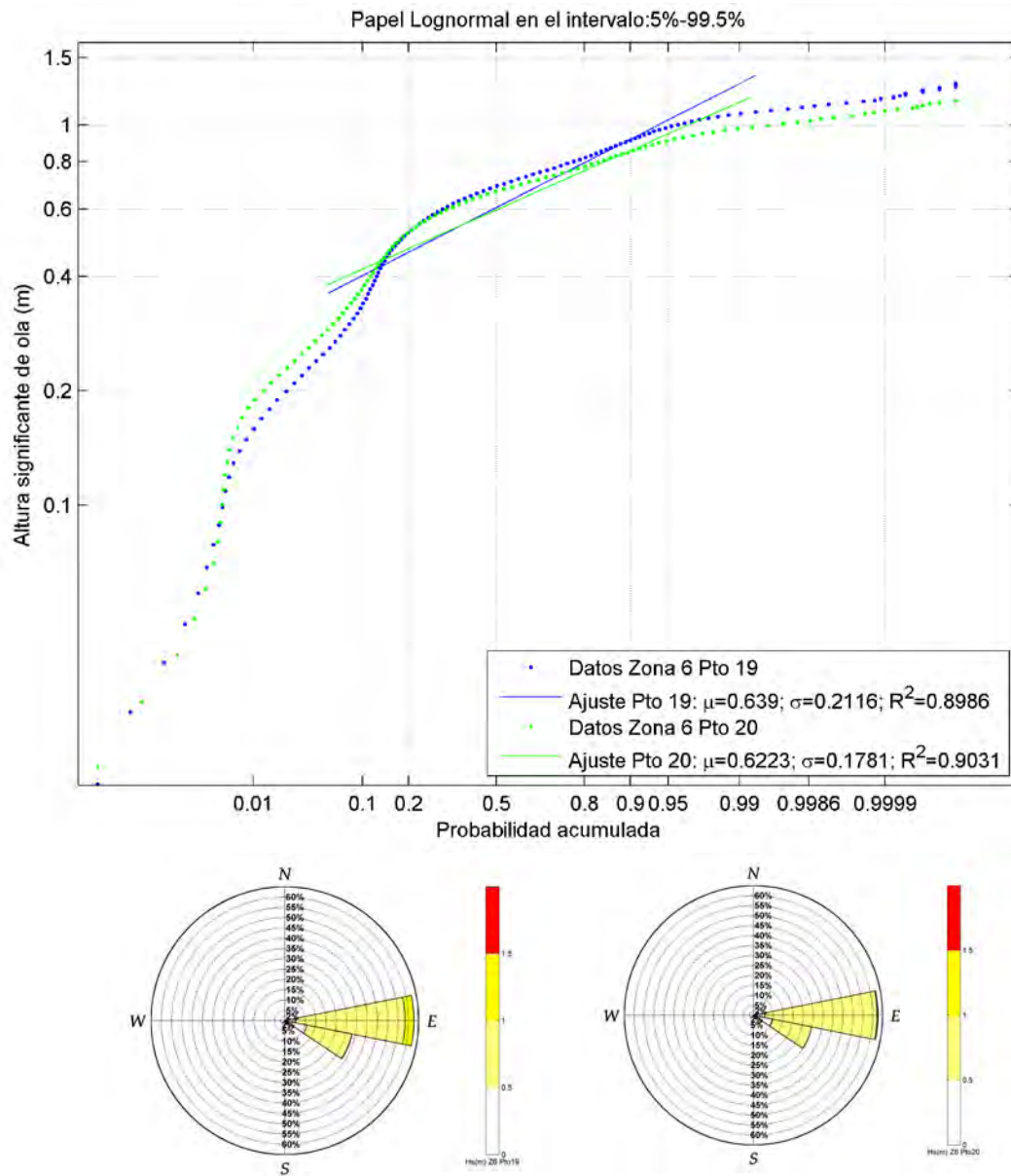


Figura IV.48 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 19 y 20 de la zona 6.

DOCUMENTO FINAL

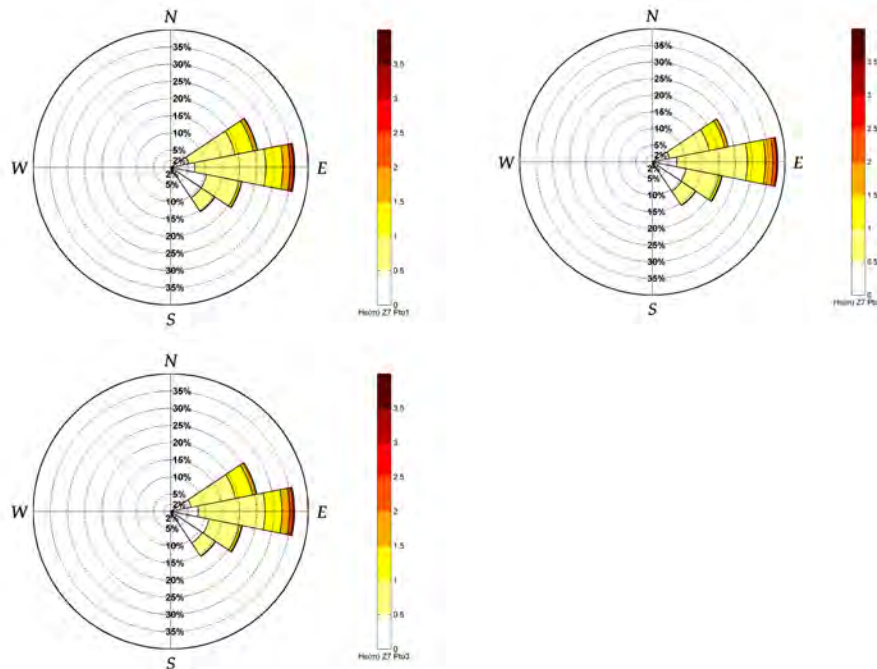
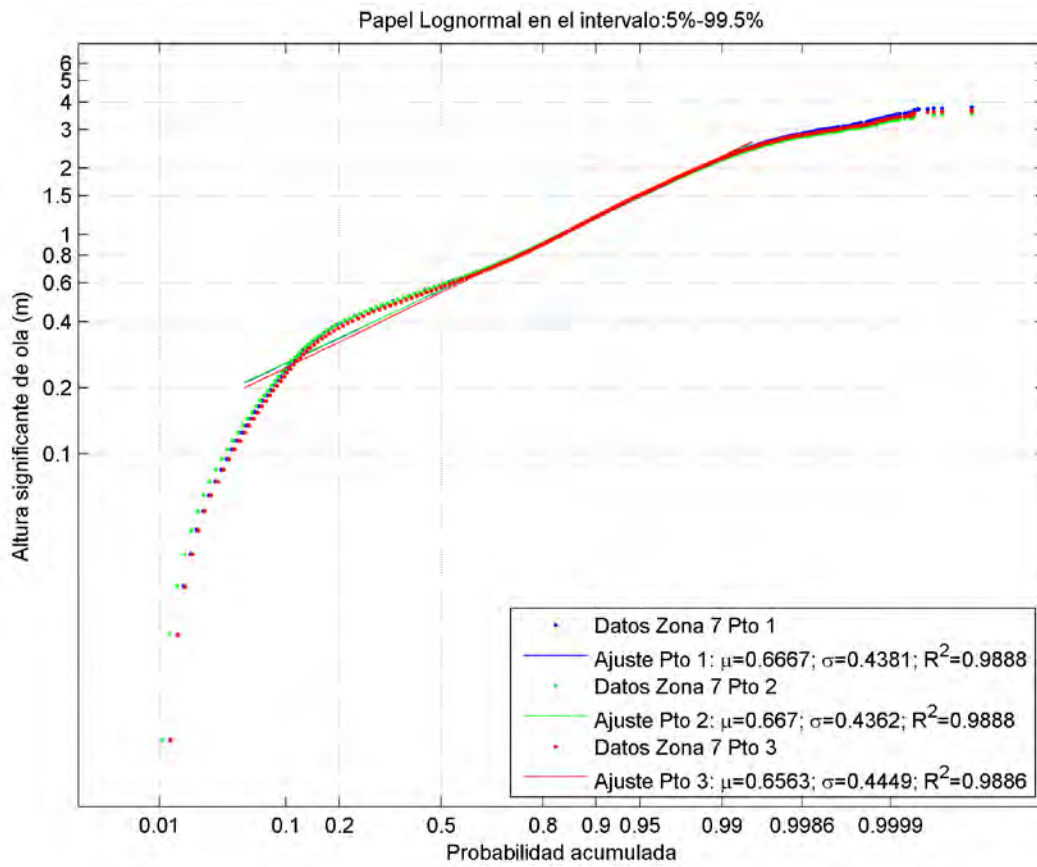


Figura IV.49 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 1, 2 y 3 de la zona 7.



DOCUMENTO FINAL

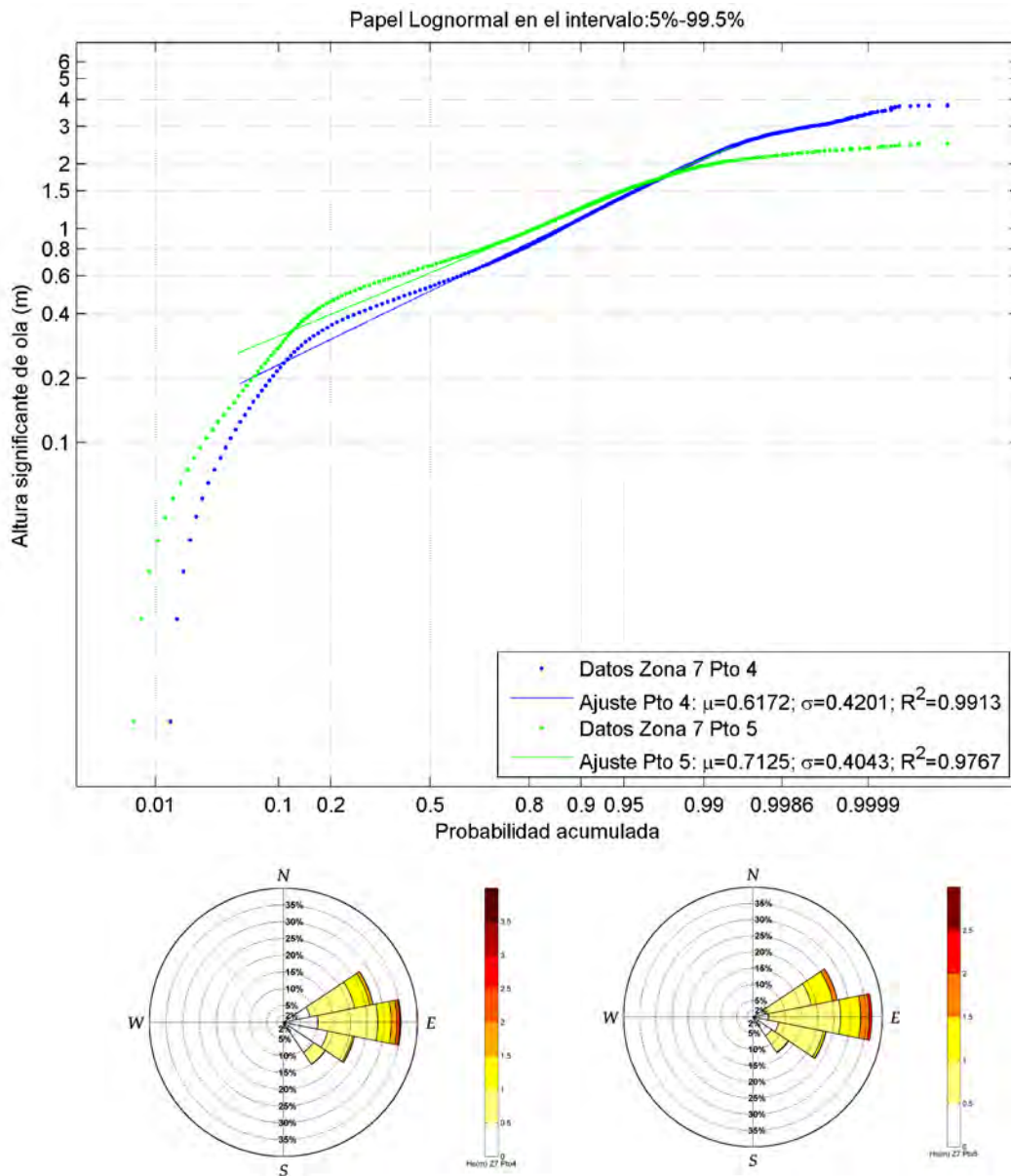


Figura IV.50 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 4 y 5 de la zona 7.

DOCUMENTO FINAL

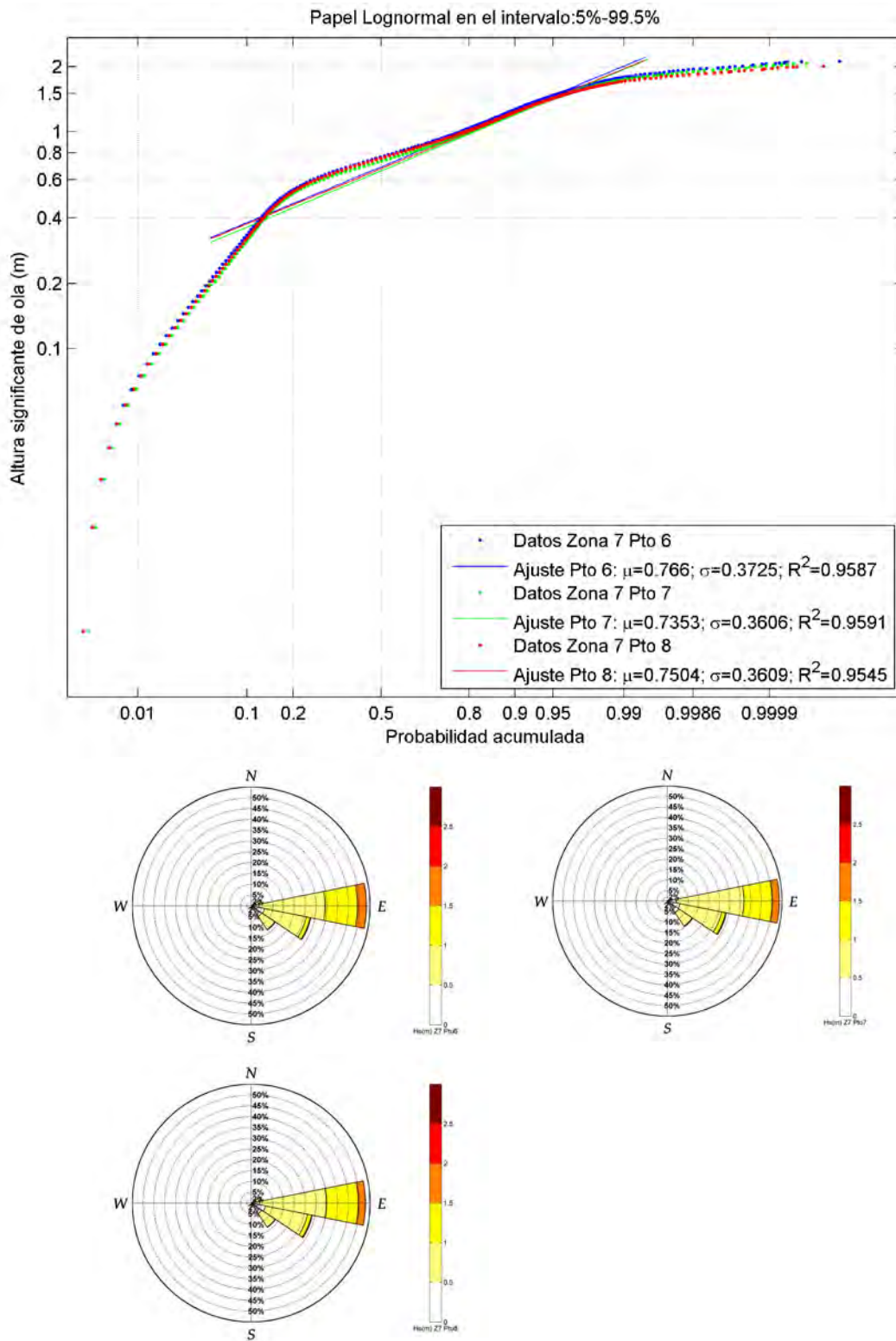


Figura IV.51 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 6, 7 y 8 de la zona 7.

DOCUMENTO FINAL

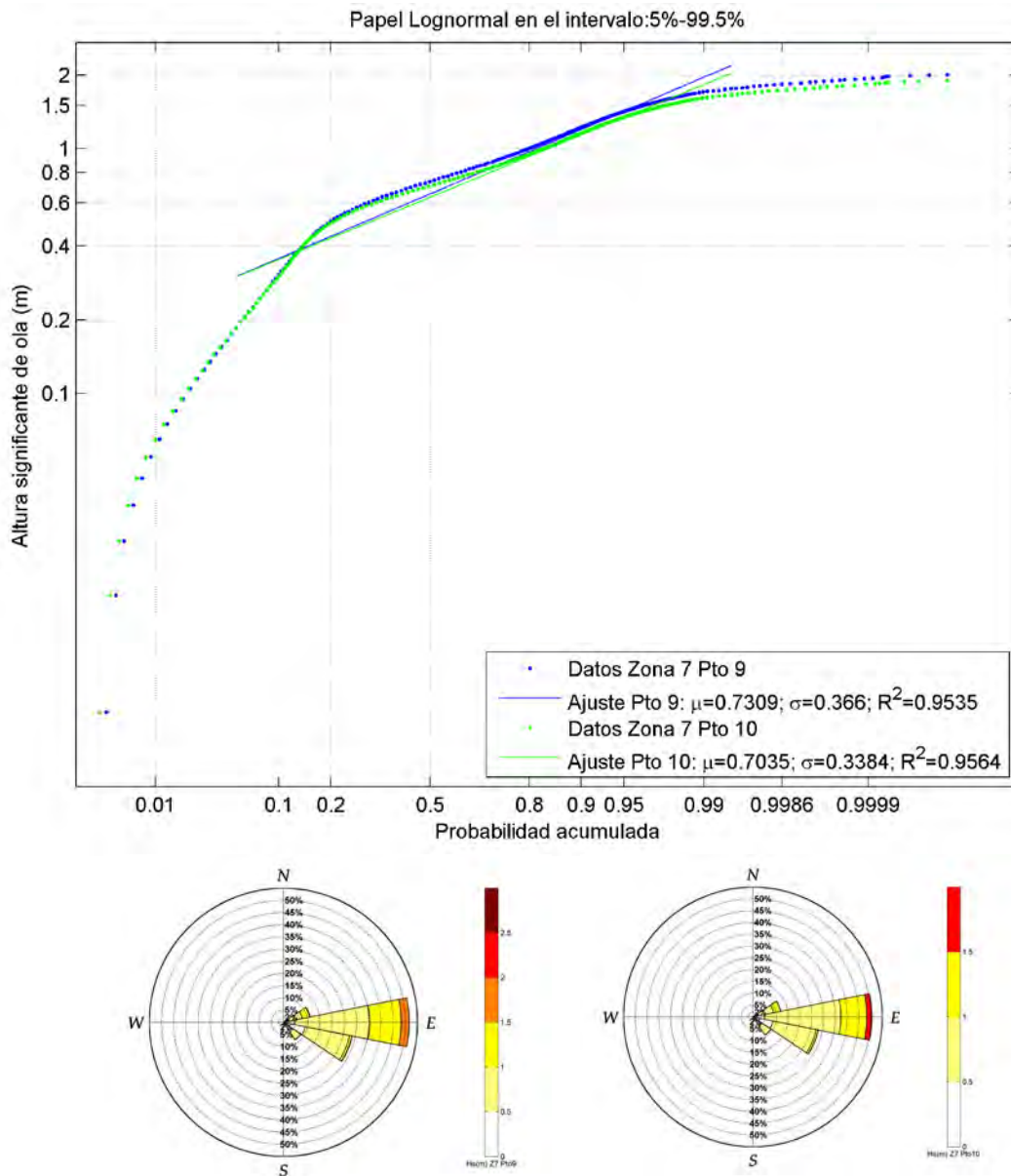


Figura IV.52 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 9 y 10 de la zona 7.

DOCUMENTO FINAL

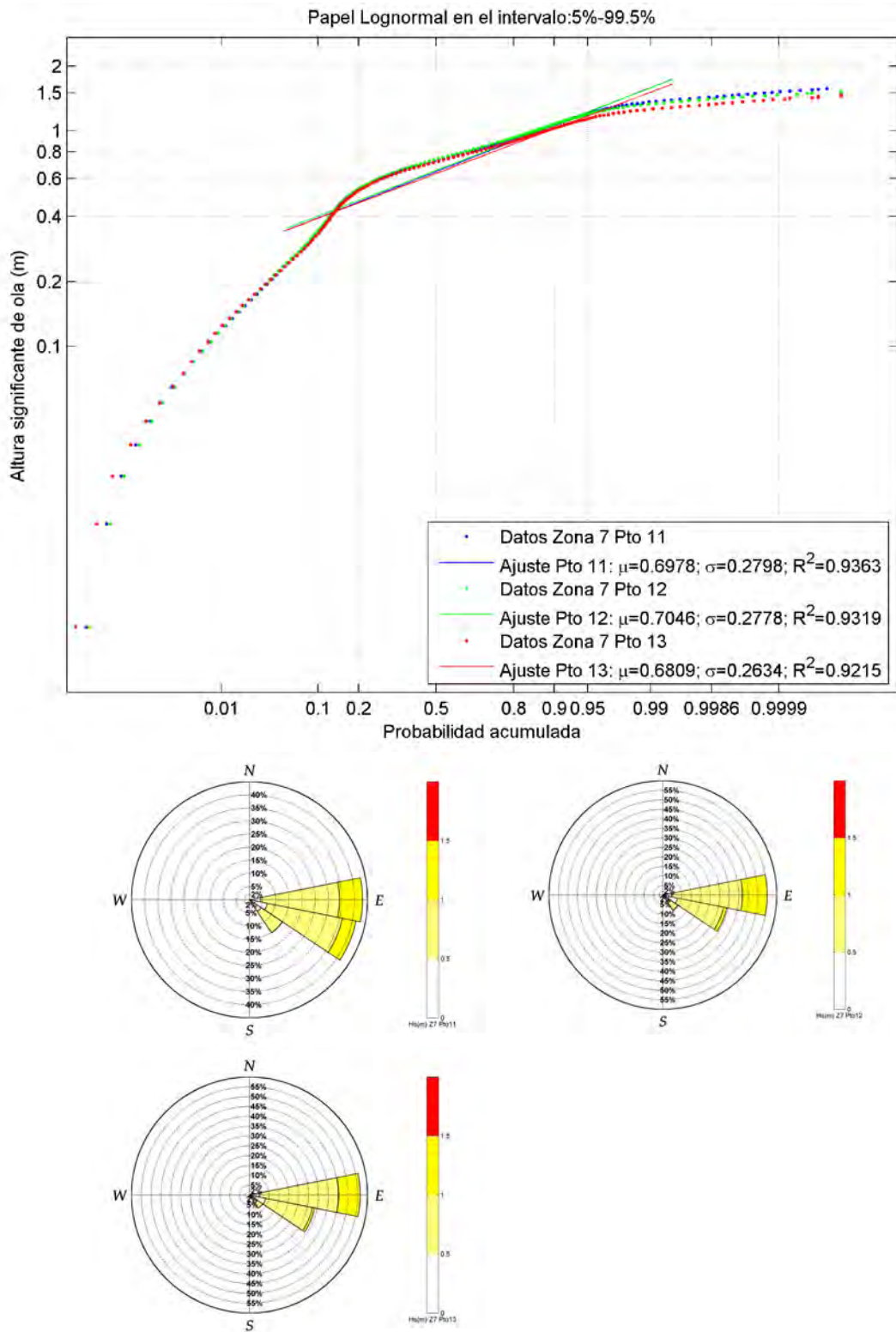


Figura IV.53 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 11, 12 y 13 de la zona 7.

DOCUMENTO FINAL

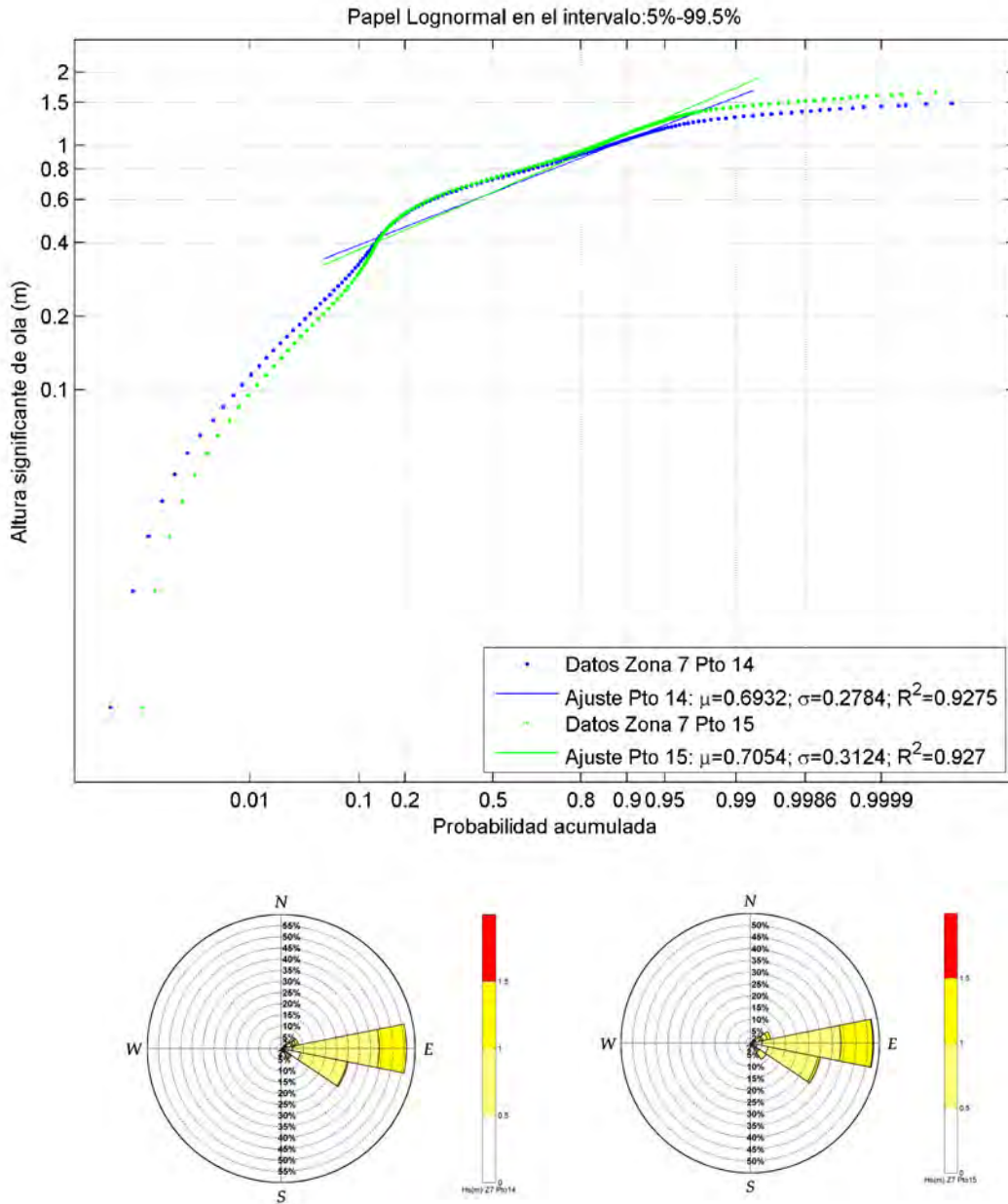


Figura IV.54 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 14 y 15 de la zona 7.

DOCUMENTO FINAL

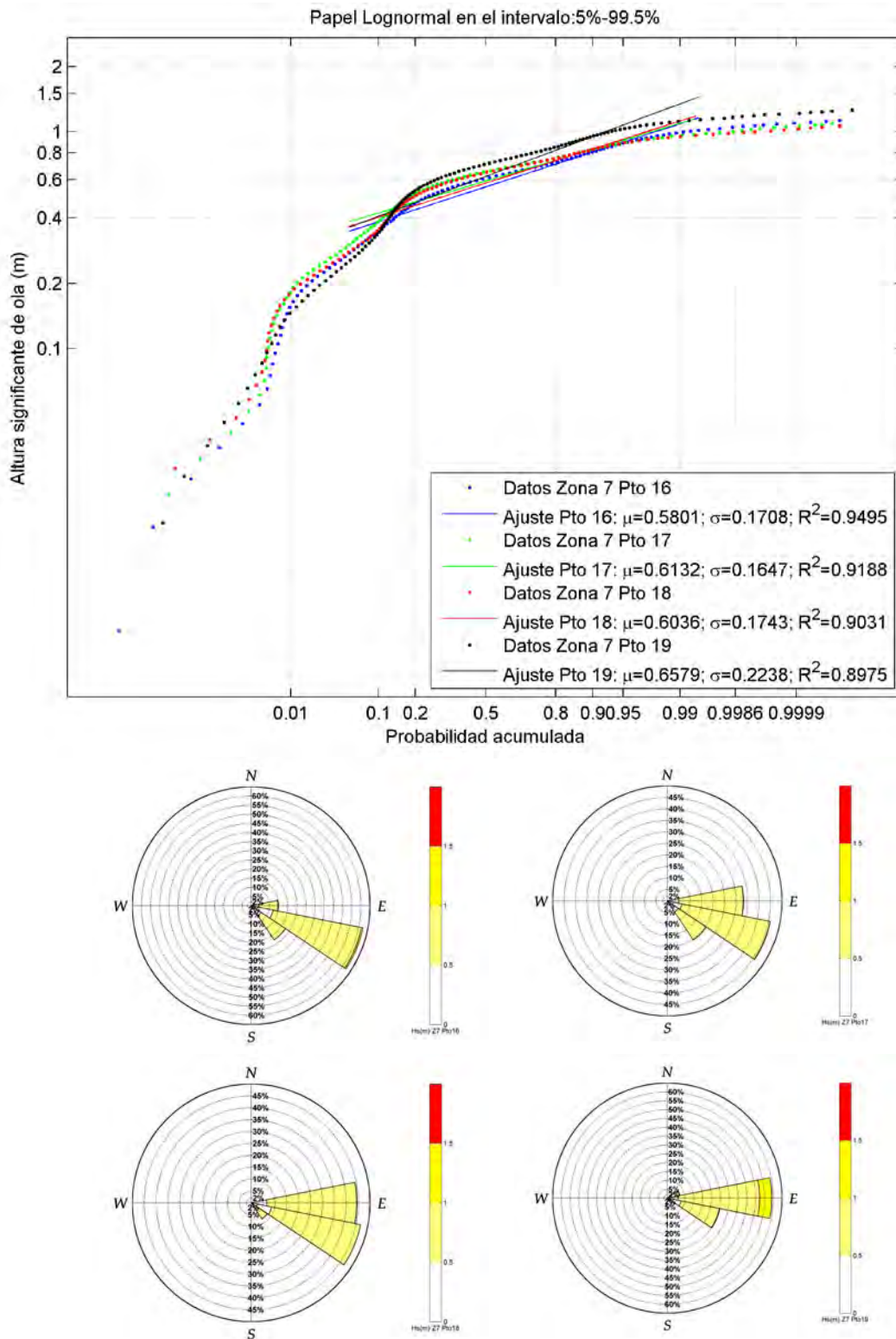


Figura IV.55 Regímenes medios y rosas de altura significativa de ola en los puntos 16, 17, 18 y 19 de la zona 7.



## **Anejo I Anejo V del Documento Preliminar**

### **FOTOGRAFÍAS TOMADAS EN CAMPO**







**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**





**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



DOCUMENTO FINAL



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**





**DOCUMENTO FINAL**



DOCUMENTO FINAL



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



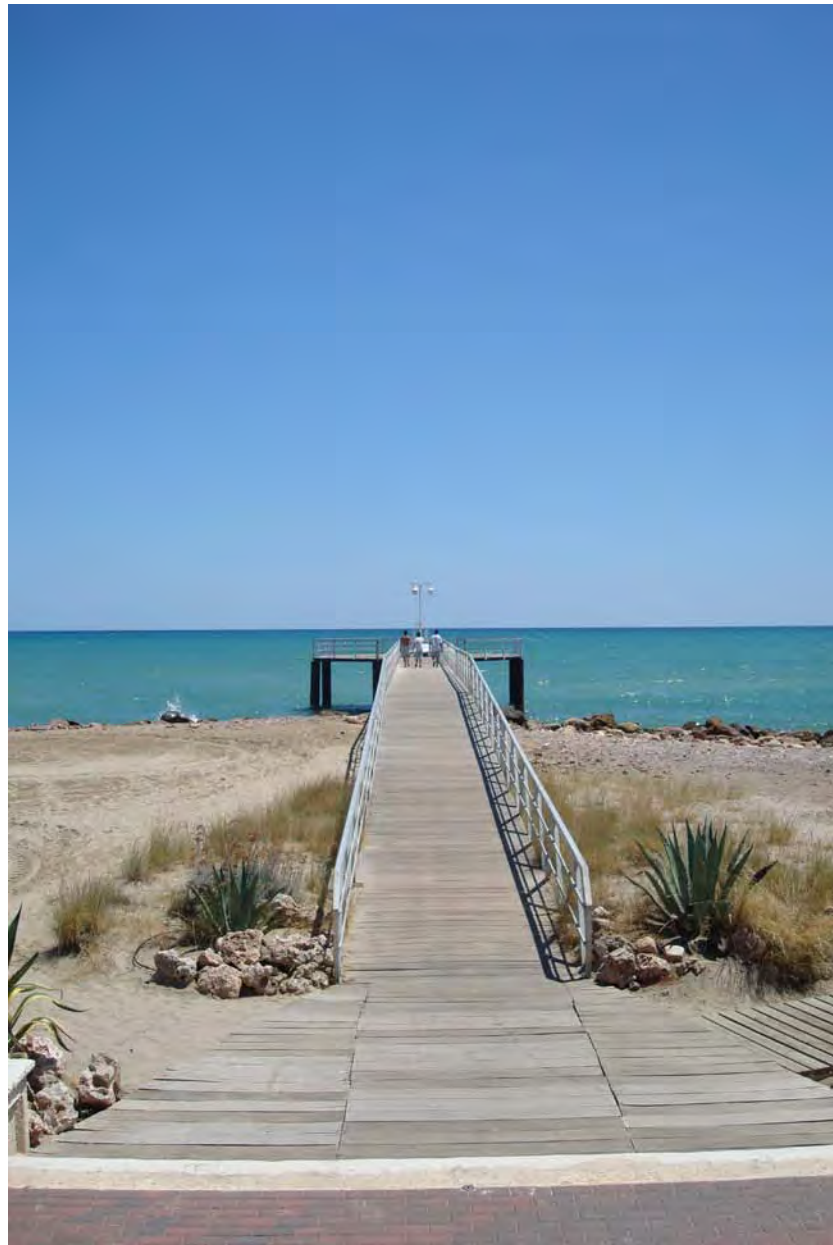
**DOCUMENTO FINAL**





DOCUMENTO FINAL





**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



DOCUMENTO FINAL



DOCUMENTO FINAL





**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



DOCUMENTO FINAL



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



DOCUMENTO FINAL



**DOCUMENTO FINAL**





**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**





**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**





**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



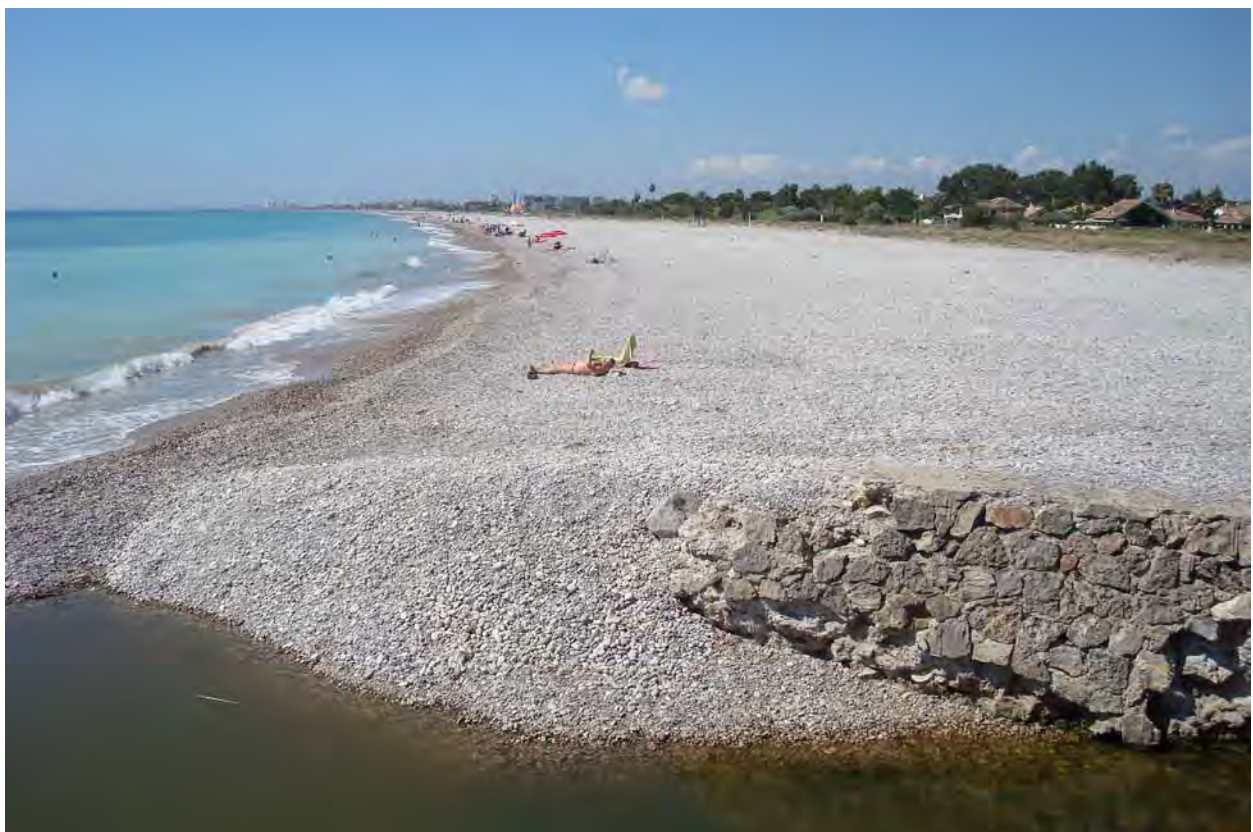
**DOCUMENTO FINAL**



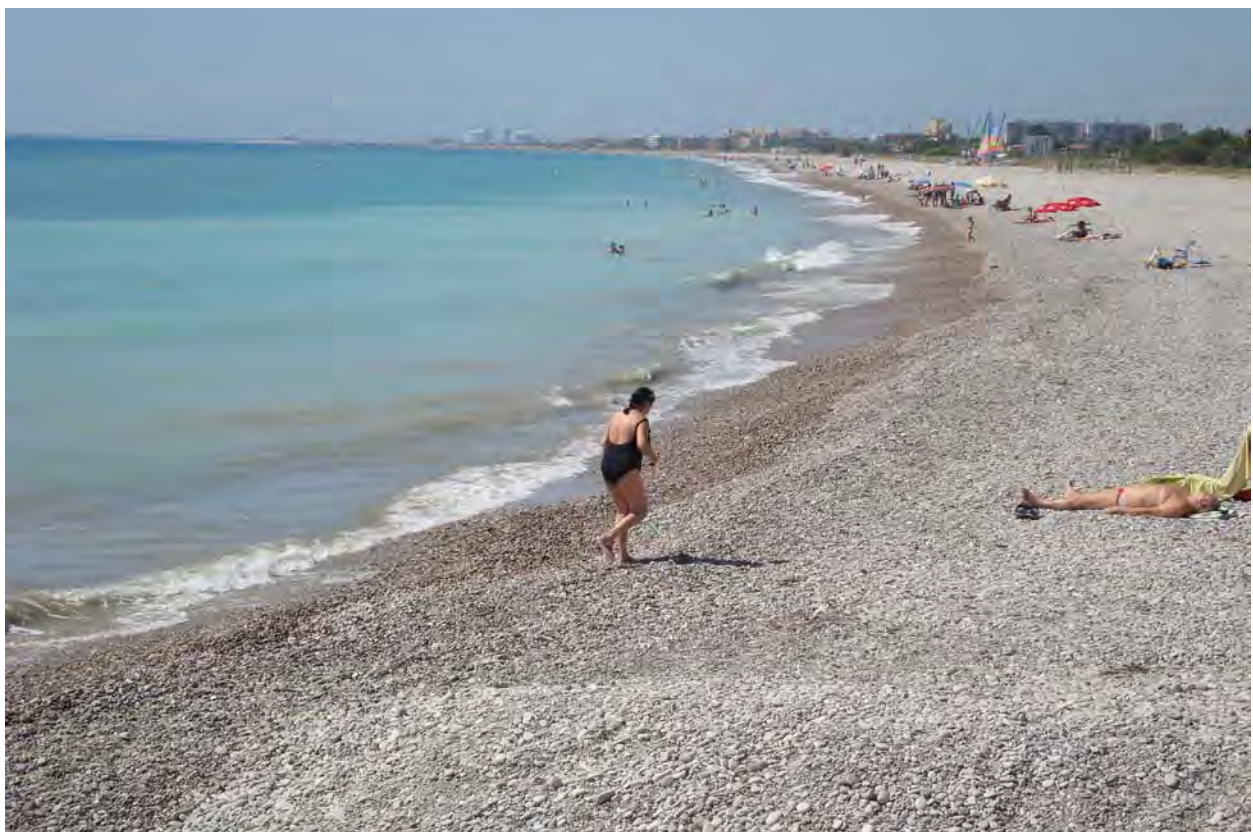
**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**





**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**





DOCUMENTO FINAL



DOCUMENTO FINAL



DOCUMENTO FINAL



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**





DOCUMENTO FINAL



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



DOCUMENTO FINAL



DOCUMENTO FINAL



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**





**DOCUMENTO FINAL**



**DOCUMENTO FINAL**



DOCUMENTO FINAL



**DOCUMENTO FINAL**





## **Anejo 1 Anejo VI del Documento Preliminar**

### **Estimación de aportes sólidos de origen fluvial**



## VI. ESTIMACIÓN DE APORTES SÓLIDOS DE ORIGEN FLUVIAL

### VI.1. Introducción.

Los ríos que desembocan en el tramo de costa Burriana-Sagunto han constituido históricamente el aporte de sedimentos más importante al sistema litoral.



Figura VI.1. Localización de ríos y embalses de la zona de estudio.

**DOCUMENTO FINAL**

Esta realidad se ha visto alterada como consecuencia de varios procesos relativamente recientes, entre los que destaca la construcción de numerosos embalses en los ríos más importantes, e l M ijares y e l P alancia, q ue d esde e l p unto d e v ista g eomorfológico conforman los extremos del tramo de litoral objetivo.

Este anejo se centrará en caracterizar, en el pasado y en la actualidad, el régimen de aportaciones sólidas a la costa de los principales cauces del tramo objeto de estudio. Este cálculo plantea numerosas incertidumbres, por lo que se abordará siguiendo varias metodologías alternativas, que posteriormente se valorarán y ponderarán en conjunto. No obstante, los resultados relativos al aporte sólido actual, muy condicionados por las intervenciones humanas en las cuencas, llevan a asociado un grado de incertidumbre moderado, lo que permitirá emitir conclusiones fiables relativas al efecto de las alteraciones en las cuencas en la dinámica costera.

## **VI.2. Datos de partida.**

### **VI.2.1 Descripción del sistema Mijares-Plana de Castellón.**

A continuación se presenta una descripción general del sistema Mijares-Plana de Castellón, que abarca el sector norte del tramo de estudio. La información está basada principalmente en el borrador del plan hidrológico de demarcación, disponible a fecha de junio de 2010 y el lector podrá comprobar que se trata más de un catálogo de obras hidráulicas, que de la descripción de una cuenca hidrográfica.

El sistema Mijares - Plana de Castellón incluye la totalidad de los ríos Mijares, Seco, Veo, Belcaire y las subcuencas litorales entre el límite de los términos municipales de Oropesa y Benicasim y el límite provincial entre Castellón y Valencia. La superficie total del sistema es de 5.466 Km<sup>2</sup>. Los recursos naturales del Sistema son de 416,9 Hm<sup>3</sup> de los que casi 293 Hm<sup>3</sup> se deben a aportes subterráneos y algo más de 124 Hm<sup>3</sup> a los aportes de escorrentía superficial. La demanda global del Sistema alcanza en la actualidad un valor de 30 5,47 H m<sup>3</sup> anuales, de los que 2 41 c orresponden a l u so a grícola, 4 9 a l abastecimiento urbano y 16 a la demanda industrial.

El Río Mijares, con una longitud de 156 Km y una superficie de cuenca de 4.028 Km<sup>2</sup>, es, con diferencia, el más extenso y el que lleva más caudal de todos los ríos que constituyen el sistema de explotación. Nace en la Sierra de Gúdar, en la provincia de Teruel, muy cerca del nacimiento del río Alfambra y de su principal afluente, el río Valbona. El caudal del río Valbona suele ser reducido a causa de los aprovechamientos para riego. Las aguas del mismo se regulan en los Embalses de Ibáñez Martín, también llamado Embalse de Valbona.

Aguas abajo, el Mijares recibe las aguas del río Albentosa. A partir de su confluencia el cauce del Mijares se sitúa por debajo del nivel freático, con lo que se produce una fuerte alimentación del mismo. Como consecuencia, el río mantiene un caudal alto a pesar de las presas y derivaciones que se encuentran en su cauce. Más adelante, las aguas del río

**DOCUMENTO FINAL**

Mijares se embalsan en la presa de Los Toranes. Se trata de un pequeño embalse de 0,5 Hm<sup>3</sup> y 8 hectáreas que aprovecha la diferencia de altitudes y el encajonamiento del río para la producción de energía eléctrica.



Figura VI.2. Presa de Arenós en el río Mijares.

Desde su nacimiento y hasta la cola del Embalse de los Toranes el régimen del Mijares es natural. A partir de este punto está muy regulado y modificado por tomas de hidroeléctricas y acequias de riego. En el río Mora, por encima de la población de Mora de Rubielos se ha previsto la construcción de una nueva presa que se utilizará en los regadíos, de la zona de regadíos del Tramo Alto del Mijares.

La desembocadura del Palomarejas se produce entre la toma de la central del Molino de la Hoz y la de Las Villanuevas. Las aguas de este río se regulan en el Embalse de Balagueras, siendo todo el caudal utilizado para riego, por lo que el aporte de este afluente al Mijares es muy escaso, tan solo formado por pérdidas y aguas recogidas de fuentes y barrancos desde el embalse hasta la desembocadura.

A partir de la confluencia con el Palomarejas comienza el tramo medio del Mijares. En este tramo se sitúan las presas más importantes, así como la mayor parte de las centrales hidroeléctricas: Molino de la Hoz, Las Villanuevas y Los Cantos. A la altura de la Puebla de Arenós, se encuentra el embalse de Arenós. Fue construido para la regulación de caudales del río Mijares. La presa es de escollera, con una altura de 108 metros y una longitud de coronación de 428 metros. En la actualidad se están acometiendo en el mismo una serie de obras, entre otras, la remodelación del aliviadero. La capacidad de



**DOCUMENTO FINAL**

embalse será de 130 Hm<sup>3</sup> y la lámina de agua se calcula en 418 hectáreas. Su destino es el riego.

Más adelante, se encuentra el embalse de Cirat que deriva sus aguas hacia la central del mismo nombre. A partir de este punto, aparece un tramo en el que el caudal de río sufre una gran disminución, llegando a estar seco en ocasiones. Al llegar a Montanejos, la Fuente de Baños incorpora un caudal considerable de aguas. Aquí existe una excelente zona de baño que es utilizada por la población de los alrededores en los meses de verano. Sus aguas, siempre limpias, albergan poblaciones de barbos y otras especies piscícolas. Más adelante, confluyen el Barranco de la Maimona y el río Montán.

A la altura de la población de Arañuel, existen una serie de derivaciones de agua para riego: acequia nueva de Arañuel, acequia vieja de Arañuel, acequia Edua, acequia del Bajo Lugar, acequia del Molino. Sus retornos se realizan directamente a cauce o bien a través de barrancos que desembocan en el río Mijares. El río llega a la población de Cirat donde se encuentra la central del mismo nombre, también llamada El Collado Blanco.

El retorno de las aguas de la central se realiza en la cola del embalse de Vallat. Este embalse deriva sus aguas a dos centrales, a la de Vallat y a la de Ribesalbes. Tiene una capacidad de 0,6 hectómetros cúbicos y su destino es la producción de energía hidroeléctrica. Aguas abajo confluyen las aguas del río Linares o Villahermosa. En su tramo medio, a la altura de Villahermosa del Río y como consecuencia de la erosión producida en las sierras de Espadán y Maestrazgo, existen problemas de aterramiento en los cauces y azudes de uso hidroeléctrico. El río Linares es el afluente más importante del Mijares en cuanto a caudal y uno de los mayores si consideramos la extensión de su cuenca vertiente (449 Km<sup>2</sup>).

El retorno de las aguas turbinadas se produce en la cola del embalse de Ribesalbes. El Embalse de Ribesalbes, en el término municipal de Vallat - Fanzara, fue construido en los años 40. A partir del Embalse de Ribesalbes, se produce la toma y conducción de agua a la Central Hidroeléctrica de Ribesalbes, cuyas aguas turbinadas pueden desaguar en el Embalse de Sichar o bien ser conducidas directamente a la Central de El Colmenar, situada aguas abajo. En la conducción a esta Central se sitúa la toma de la acequia Madre Fanzara.



Figura VI.3. Presa de Siechar en el río Mijares.

Asimismo, por la margen derecha del Mijares se encuentra la toma para la acequia de riego de Onda y Bechí o Canal de la cota 220. Tiene una longitud de 9 Km y una capacidad de 5 m<sup>3</sup>/s. A continuación se encuentra el Embalse de Siechar. Está situado en el término municipal de Onda a 164 m de altitud. Se trata de un embalse de aguas subsalinas, aunque con escasos vertidos, por lo que sus aguas mantienen una calidad aceptable. La presa es de gravedad con una altura de 58 metros y una longitud de coronación de 581 metros. Su capacidad es de 52 Hm<sup>3</sup> y abarca una superficie de 317 hectáreas. El uso al que está destinado el embalse es el riego y la producción de energía hidroeléctrica.

Aguas abajo se deriva el caudal circulante hacia otras centrales hidroeléctricas: Onda, Hidro y Villarreal. Con anterioridad a las centrales se encuentra la toma de la acequia de riego Canal del Tramo Común del Mijares. Las aguas sobrantes se acumulan en el azud o Pantanet de Santa Quiteria, desde el que se suministran caudales a otras tomas para riego.

El río Mijares entra en la zona de la Plana recibiendo las aportaciones por su margen izda. de la Rambla de la Viuda. Su régimen está totalmente modificado y su caudal es muy variable en función de las demandas de las acequias y los retornos de las mismas. Alrededor de los regadíos tradicionales, regados con el caudal del río, se ha desarrollado una amplia zona de riegos con aguas subterráneas cuyas extracciones han provocado que el río quede descolgado del acuífero, de modo que pierde gran parte de su caudal para alimentarlo.

## DOCUMENTO FINAL

La Rambla de la Viuda recibe esta denominación a partir de la unión del río Monleón con la Rambla Carbonera, desembocando en el río Mijares en el término municipal de Almazora. Su cuenca hidrográfica es muy amplia (1.510 Km<sup>2</sup>), discurriendo en dirección norte - sur a través de la parte posterior de la serranía litoral. En la cuenca de esta Rambla el nivel freático general queda más bajo que su cauce, por lo que se produce una fuerte infiltración que deja el cauce seco salvo en los grandes temporales del otoño.

El río Lucena, afluente de la Rambla de la Viuda, incorpora a ésta bajos caudales de agua al haberse acumulado la mayor parte en el Embalse de Alcora, que suministra el agua para la Comunidad de Regantes y la actividad industrial de la zona. Se trata de un pequeño embalse bien conservado, de 2 Hm<sup>3</sup> de capacidad con una lámina de agua que abarca una superficie de 14 hectáreas.

Las aguas superficiales de la Rambla de la Viuda se regulan en el Embalse de María Cristina, situado en el término municipal de Alcora. Tiene una presa de gravedad con una altura de 59 metros y una longitud de coronación de 318 metros. El volumen total es de 28 Hm<sup>3</sup> y tiene una superficie de lámina de agua de 2 65 hectáreas. Las aguas del embalse contribuyen a la recarga de los acuíferos de La Plana. Por este motivo, desde la presa de María Cristina hasta su desembocadura en el río Mijares, el cauce de la Rambla de la Viuda permanece seco.

Pese a la elevada densidad de población y a las 35.710 Ha de huerta que lo rodean, el Delta del Mijares no está demasiado deteriorado. Está formado por una zona de marjal temporalmente inundada y dos lagunas de salinidad variable. Sus problemas más importantes se producen por extracciones de áridos y una excesiva presión cinegética.

El **río Veo**, llamado así mismo Río Seco, debido probablemente a que su régimen pluvio - mediterráneo lo mantiene seco gran parte del año, está situado al sur del río Mijares. Su cuenca abarca 238,7 Km<sup>2</sup> y su longitud es de 42 Km. Tiene sus fuentes en la Sierra del Espadán, que hace de divisoria de aguas con el río Palancia y es una zona de alto valor ambiental. En alguno de sus valles perviven algunos de los rodales mejor conservados de toda la cuenca mediterránea.

En el término municipal de Alcuña de Veo sus aguas se recogen en el Embalse de Onda o Benitandús, a 306 m. de altitud. Se trata de un pequeño embalse de 1 Hm<sup>3</sup> de volumen utilizado para riego que ocupa una superficie de 0,1 hectáreas. Su entorno está bien conservado, con poca presión humana y vegetación arbórea. Aguas abajo del embalse de Onda, el río Veo pasa por las poblaciones de Betejí y Burriana, para desembocar finalmente en la zona del Grao de Burriana.

El **Río Belcaire** es el curso de agua que se encuentra situado más al sur de todos los ríos que pertenecen a este sistema de explotación. Con una longitud de tan solo 18,2 Km drena una cuenca de unos 1 03 Km<sup>2</sup>. El rasgo más importante de este curso es su situación, en la zona de Vall d'Uixó. En esta comarca el acuífero de la Plana de Castellón ha propiciado la presencia de campos de pozos, cuyas aguas se destinan al abastecimiento y al riego.

**DOCUMENTO FINAL**

La circulación subterránea en el acuífero se produce desde el interior hacia el mar, excepto en áreas localizadas (Moncófar, Villarreal, Bechí, Onda) donde las fuertes extracciones provocan una inversión del gradiente hidráulico y problemas de intrusión salina. En el área situada entre este río y el Palancia aparecen una serie de fuentes: la Fuente de La Llosa, la Fuente de Quart, y la Fuente de San José. Debido a que los riegos tradicionales del Mijares presentan deficiencias graves en la red de distribución y en la aplicación y gestión del agua, alrededor de estos ha ido creciendo una amplia zona de riegos con aguas subterráneas.

Se trata del área sur de la Plana de Castellón que ha sufrido una intensa transformación agraria. Actualmente se están poniendo en regadío terrenos asentados directamente sobre los afloramientos de las formaciones geológicas que constituyen el área de alimentación del acuífero, con lo que se agudiza la contaminación por fertilizantes. En el sur de la Plana este problema, unido a la salinización del acuífero, está provocando el abandono de numerosos pozos.



Figura VI.4. Presa de María Cristina en la Rambla de la Viuda, de tipo gravedad.

En esta zona de la Vall d'Uixó, el uso de aguas residuales para regadíos constituye un aporte adicional de contaminantes nitrogenados. Otro problema añadido son las altas cargas contaminantes debidas a las industrias de curtido y la contaminación por metales pesados como consecuencia del crecimiento industrial en la zona de Castellón. Con el fin de racionalizar el uso del agua y corregir el déficit hídrico, se pretende mejorar y modernizar los riegos tradicionales de la Plana de Castellón y la recarga artificial en Vall d'Uixó - Almenara Moncófar.

## DOCUMENTO FINAL

Hay que tener en cuenta que, tanto Castellón como el resto de núcleos de población de la Plana Baixa (Villareal, Burriana, etc.), se abastecen en la actualidad exclusivamente con aguas subterráneas. Los problemas de carácter local que han ido apareciendo como consecuencia de las intensas extracciones han podido resolverse con una reubicación de captaciones. Esta medida no puede ser repetida indefinidamente, por lo que está previsto realizar una toma en el cauce del Mijares (Villareal), mediante intercambio con los regantes, con el fin de compensar el déficit existente. Se pretende, así mismo, reutilizar las aguas depuradas de toda la zona de La Plana y ampliar el sistema de depuración de la ciudad de Castellón.

El **Marjal de Almenara** se encuentra situado entre los ríos Palancia y Belcaire, en el Término Municipal de Almenara (Castellón). Se trata de una franja de 4,29 hectáreas situada en el cordón litoral con una serie de lagunas denominadas de La Tayola. En ella se encuentra la típica vegetación halófila de los marjales. En invierno aparecen gran número de aves migratorias.

Es un espacio de gran interés cultural y con una gran diversidad ambiental, siendo una zona representativa de las lagunas asociadas a marjales y un importante enclave de invernada de aves. Está catalogada como Reserva Natural y está en fase de estudio su declaración como Paraje Natural. Las principales agresiones a las que se ve sometida son la desecación de grandes áreas para el cultivo de arroz, la explotación intensiva que ha provocado problemas de intrusión salina, la extracción de áridos, la contaminación orgánica y química y la urbanización.

El **Marjal de Sagunto** se trata de una zona húmeda costera tipo marjal. Con una superficie de 15,34 Ha., se trata de los restos de un antiguo marjal muy extenso. Se asienta sobre el acuífero costero de Sagunto. Presenta un régimen temporal en el que el volumen de agua depende del uso de las acequias de riego. Posee una importancia regional debido en parte a su bien conservada y madura comunidad vegetal, aunque no cuenta con figuras de protección ambiental. Los usos actuales del terreno son de caza, pesca y riegos. Los cultivos circundantes alteran en gran medida este humedal.

## Embalses del sistema

Desde el punto de vista de los objetivos de este estudio, merece la pena tener en consideración dentro del sistema los siguientes embalses:

**DOCUMENTO FINAL**

<b>Río Mijares</b>	<b>Volumen (Hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Cota (MSNM)</b>	<b>Fecha construcción</b>
MARIA CRISTINA	18,45	124,11	1920
RIBESALBES	0,3	-	1948
TORANES	1	-	1954
BALAGUERAS	0,1	-	1957
ALCORA	2	-	1958
SICHAR	49,29	162,66	1960
CIRAT	2	-	1962
VALLAT	1	-	1968
ARENOS	136,94	571,28	1980
<b>Río Veo</b>	<b>Volumen (Hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Cota (MSNM)</b>	<b>Fecha construcción</b>
ONDA	1	306	1954

Tabla VI.1. Embalses del sistema Mijares-Plana de Castellón.

El resto, aunque numerosos, tienen un volumen despreciable a efectos de los cálculos que se llevarán a cabo.

## VI.2.2 Sistema Palancia-Los Valles.

El Sistema Palancia y Los Valles comprende la totalidad de la cuenca del río Palancia y las subcuencas litorales comprendidas entre el límite provincial de Valencia y Castellón y el municipal entre Sagunto y Puzol. Abarca una superficie de 1.159 Km<sup>2</sup>. El único curso fluvial importante de la cuenca es el propio río Palancia. Los recursos naturales del sistema ascienden a 133,84 Hm<sup>3</sup>/año. De los cuales, 89,7 Hm<sup>3</sup> proceden de la descarga de acuíferos, 16,1 Hm<sup>3</sup> de aportes superficiales y 28 Hm<sup>3</sup> de bombeos netos. En cuanto a la demanda del sistema, actualmente alcanza un valor de 110,23 Hm<sup>3</sup>/año, siendo la demanda para uso agrícola la más importante, con 85,35, seguida de la industrial y la urbana con 13,08 y 11,88 respectivamente.

El río Palancia tiene una longitud de 85 Km, desde su nacimiento en las estribaciones de la sierra de Toro a 1.618 metros de altitud hasta su desembocadura cerca de la población de Sagunto. En su nacimiento la orografía es muy agreste, con fuertes pendientes, en la que tanto él mismo como sus afluentes de cabecera discurren muy encajonados. Es alimentado por numerosas fuentes y barrancos que le aportan un caudal continuo. En esta zona, la vegetación predominante es el matorral mediterráneo con zonas de bosque de pino carrasco. Estas características, junto con la ausencia de vertidos, condicionan una buena calidad de las aguas, como lo demuestra la existencia de varios cotos de pesca y de una planta embotelladora de aguas minerales situada aguas arriba de la

**DOCUMENTO FINAL**

población de Bejís ( Los C loticos). A partir de Bejís, el río a traviesa una zona muy permeable, perdiendo por ello, parte de su caudal. Con el fin de asegurar las aportaciones al Embalse del Regajo, situado aguas abajo, en 1968 se llevaron a cabo las obras de canalización del tramo comprendido entre las poblaciones de Teresa y Jérica. En esta parte, el río presenta formaciones de terrazas constituidas por materiales cuaternarios que actualmente se encuentran sometidas a cultivos de regadío ( se trata, en general, de cultivos a pequeña escala: huertas, frutales y cítricos).

Aguas abajo de Bejís el río pierde parte de la calidad que poseía en su nacimiento, debido a los vertidos de las poblaciones situadas en sus márgenes, las cuales vierten sus aguas residuales sin tratamiento alguno: Ríos de Abajo, Teresa, Viver, Caudiel, Jérica... Se trata en su mayor parte de las aguas residuales urbanas a las que se añaden las de varias almazaras, granjas porcinas y varias fábricas de conservas de pescado. En las poblaciones de Teresa y Viver nos encontramos con el Canal Teresa - Viver. Las zonas regables que se observan a ambos lados del río corresponden a pequeñas huertas y cultivos de árboles frutales y cítricos. Todos estos cultivos del alto Palancia totalizan 1.970 has. y toman el agua del río y de la unidad hidrogeológica del Alto Palancia.

Siguiendo el curso del río, nos encontramos con la primera obra de regulación importante llevada a cabo en el río Palancia. Se trata del Embalse del Regajo. La construcción del mismo comenzó en diciembre de 1.951 finalizando en octubre de 1.959. Recibe las aguas de una cuenca de unos 450 Km<sup>2</sup> siendo la aportación media anual de unos 82 Hm<sup>3</sup>. La capacidad de embalse actual se sitúa en torno a los 6,60 Hm<sup>3</sup>.

Es, en la actualidad, la única obra de regulación del río Palancia, hasta que sea operativa la presa de Algar, situada varios kilómetros aguas abajo. Más adelante, una vez superado el Embalse del Regajo, existe un tramo en el que se producen importantes surgencias como son las de Navajas y Segorbe. A partir de esta última población, existe una conexión entre el río y los acuíferos de Estivella, Segorbe - Soneja, Algar - Quart y Salto del Caballo que son alimentados por el río. En esta zona existen 900 has de regadío que toman sus aguas del río y de las unidades hidrogeológicas Alto Palancia y Medio Palancia.

En las cercanías de Segorbe se localiza un área de karst en la que destaca un polje de aproximadamente 2 Km de largo y 1,5 Km de ancho, conocido como Prado de las Lagunas, cuya disposición es paralela al río. En este tramo se producen fenómenos erosivos, por lo que se hace necesario llevar a cabo actuaciones de corrección y reforestación en las cuencas que drenan la Sierra de Espadán y la depresión de Segorbe-Soneja.

Al pasar Sot de Ferrer se encuentra la toma de la Acequia Mayor de Sagunto, que alimenta numerosas acequias de riego existentes a ambos lados del cauce (acequia Nueva, Amara, Consal, Sargal, Artel III, ... ). La acequia discurre paralela al río Palancia hasta Petrés. A partir de esta población se dirige hacia Sagunto y la amplia zona regable existente. Se trata de un regadío de 5.010 has que toma el agua del río y de la unidad hidrogeológica Plana de Sagunto. Esta derivación de caudales y las características

**DOCUMENTO FINAL**

endorreicas de la cuenca hacen que el cauce quede prácticamente seco, lo que origina una sobreexplotación en los acuíferos en la cuenca baja del río.

A pocos kilómetros aguas abajo de Sot de Ferrer, en los límites de las provincias de Castellón y Valencia, se ha llevado a cabo la construcción de la Presa de Algar, aguas arriba de la población que le da nombre. La justificación para la ejecución de estas obras es la insostenible situación del sistema del río Palancia originada por la detección progresiva de aguas no renovables de los acuíferos de la cuenca baja, a razón de 7 Hm<sup>3</sup>/año, lo que está provocando graves problemas de intrusión salina.

Con la construcción de esta presa se pretende conseguir, por tanto, tres importantes objetivos:

En primer lugar, debido a la permeabilidad del vaso, se producirá una recarga de los acuíferos situados aguas abajo de la presa y que actualmente están sobreexplotados y con graves problemas de intrusión salina. Dicha recarga se estima en torno a los 13 Hm<sup>3</sup>/año, lo que eliminará el déficit. Esta característica de permeabilidad del vaso, que hizo abandonar el proyecto en otros momentos históricos, es precisamente la ventaja a aprovechar hoy día, dada la necesidad de inducir la recarga de excedentes superficiales.

Las poblaciones que se beneficiarán de esta actuación serán, además de las servidas por la Acequia Mayor de Sagunto, los municipios de Benifarló de les Valls, Benavites, Quart de les Valis, Quartell, Faura y Almenara (Castellón). En segundo lugar, con la construcción de la presa se pretende regular la cuenca media y baja del río Palancia, que actualmente sólo se regula en cabecera mediante el Embalse del Regajo. Permitirá aumentar, junto con el proyecto de recrecimiento de esta presa, los recursos regulados del sistema hasta 21 Hm<sup>3</sup>. Esto garantizará el suministro a la zona regable de la Acequia Mayor de Sagunto que afecta a diez municipios de la provincia. Eventualmente, apoyará al abastecimiento de la zona, aliviando la explotación del acuífero litoral. El tercer objetivo de la construcción de la presa será proteger de posibles avenidas a las poblaciones ribereñas de la comarca del Bajo Palancia, las cuales están sometidas a los fenómenos de gota fría.

La superficie de lámina de agua será de 69,4 Ha y la capacidad de embalse de 6,29 Hm<sup>3</sup>. Los órganos de desagüe estarán compuestos por el aliviadero de labio fijo sin compuertas, con 2.650 m<sup>3</sup>/seg de capacidad y dos desagües de fondo. Está previsto un caudal de riego de 2 a 4 m<sup>3</sup>/sg. Así mismo, se prevé un caudal ecológico de 4 m<sup>3</sup>/sg.

La obra civil de la presa de Algar terminó en el año 2.000. Sin embargo eran necesarias unas compuertas en la base del embalse que no se pusieron hasta 2005 y hacían inservible el embalse.

Desde 2005 se utiliza solo 0.1 Hm<sup>3</sup> de los 6,29 Hm<sup>3</sup> que tiene de capacidad total, debido a que la Acequia Mayor de Sagunto tiene 3 kilómetros de la misma en zona del embalse, y mientras no se entubee o soterree no se puede llenar el embalse.



**DOCUMENTO FINAL**

Una vez superada la Presa de Algar, el río entra en su tramo bajo, discurriendo por la Plana de Sagunto y a travessando diversas poblaciones hasta desembocar en el Mar Mediterráneo donde el gran abanico aluvial se ha desarrollado en un delta que ha llegado a formar un pequeño saliente en la zona de costa en las inmediaciones de la ciudad de Sagunto.

Los embalses que tienen interés en este caso son:

Sistema Palancia	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Cota (MSNM)	Fecha construcción
REGAJO	5,97	404,41	1959
ALGAR	6,30	184,04	2005 (No operativa al 100%)

Tabla VI.2. Embalses del sistema Palancia-Los Valles.

## VI.3. Estimación del régimen de aportes sólidos por cuencas.

### VI.3.1. Métodos basados en formulaciones de pérdida de suelos.

El ICONA editó en 1988 un estudio con mapas de estados erosivos por cuencas, llegando a la conclusión de que la erosión media en la cuenca del Júcar es de 2880 t/Km<sup>2</sup>·año, un valor que se puede calificar como alto en el contexto español, lo que la convierte en una cuenca con peligro de desertificación.

Con el fin de ampliar el conocimiento de la erosión que se produce en la cuenca del Júcar, el "Plan General de Defensa contra Avenidas", utilizando el método de Fournier, calcula la degradación específica es decir, los sedimentos que llegan a la sección determinante. El resultado de esta investigación es el que se indica en la tabla VI.3.

**DOCUMENTO FINAL**

Tramos fluviales	P > 12%		P < 12%		Degradación total (Tm/año)
	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Degradación específica (Tm/Km <sup>2</sup> /año)	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Degradación específica (Tm/Km <sup>2</sup> /año)	
Valdemembra: Tramo Alto y Medio	17	740	1.074	170	195.300
Cabriel: Contreras - Júcar	719	740	437	170	606.900
Júcar: Cabriel - Magro	1.416	2.370	230	1.010	3.588.300
Sierra de Alcaraz	1.295	1.010	158	310	1.357.100
Júcar: Valdemembra-Embarcaderos	1.278	900	1.453	250	1.513.000
Cañoles + Albaida	1.754	4.630	728	2.180	9.707.100

Tabla VI.3. Caudales sódilos de la Cuenca de Jucar.

De estos datos se puede obtener un valor de degradación media del orden de 1.600 t/Km<sup>2</sup>/año, lo que hace que la cuenca se pueda clasificar como de erosión fuerte.

Según un artículo de Liquete et al.<sup>1</sup>, la producción media de sedimentos en diversas cuencas mediterráneas españolas en la zona sur (con litología y clima variables) se sitúa entre 10 y 200 tn/ Km<sup>2</sup>·año. En general, existe correlación entre la precipitación media anual y la producción de sedimentos, siendo mayor con climas más secos.

<sup>1</sup> C. Liquete, P. Arnau, M. Canals, S. Colas, Mediterranean river systems of Andalusia, southern Spain, and associated deltas: A source to sink approach, Marine Geology, Volumes 222-223, Mediterranean Prodelta Systems, 15 November 2005, Pages 471-495.

**DOCUMENTO FINAL**

No. in Fig.1	River system	Mean precipitation (mm yr <sup>-1</sup> )	Mean annual temperature (°C)	Mean actual evapotranspiration (mm yr <sup>-1</sup> )	Mean discharge (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Mean runoff (l km <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Discharge historical maximum (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Runoff historical maximum (l km <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Mean sediment load (kg s <sup>-1</sup> )	Mean sediment yield (t km <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> )
1	Andarax	318.9	13.5	273.4	0.4	0.2	4.1	1.9	5.7	81.5
2	Adra	445.1	16.7	375.4	1.0	1.3	16.3	21.7	4.8	201.4
7	Guadalfeo	717.3	17.2	536.9	0.6	0.4	6.9	5.3	2.7	65.1
8	Verde	747.5	19.4	578.5	0.3	2.8	5.3	52.2	0.4	120.9
11	Patalamara	657.3	19.4	531.9	0.2	3.9	0.6	12.2	0.1	66.5
12	Algarrobo	657.3	18.9	523.7	0.3	4.6	3.8	58.1	0.4	176.0
13	Guaro	593.9	18.3	482.0	0.8	1.3	11.6	18.9	1.6	84.1
14	Guadalmedina	562.0	18.3	459.8	0.2	1.0	5.0	27.1	0.4	62.5
15	Guadalhorce	497.5	14.8	393.5	7.4	2.3	130.3	41.0	2.8	28.3
24	Guadiaro	613.7	16.5	477.4	10.8	7.2	104.5	70.2	1.1	23.9
25	Guadarranque	1035.9	19.3	666.4	2.6	9.5	26.6	99.0	0.1	11.7
26	Palmones	1049.6	19.3	678.2	0.3	1.1	6.3	19.8	0.1	10.2

Tabla VI.4. Aportes sedimentarios medios de varios ríos mediterráneos españoles. Tomado de Liqueete et al. (2003)

La dispersión de los datos es muy alta. Es probable que los datos basados en criterios agronómicos sobrestimen la capacidad de transporte de los ríos, ya que pueden incluir fenómenos de redistribución de suelos dentro de una cuenca. Sin embargo, los datos del último artículo referido sí se basan en datos de descarga de sedimentos en cauces, por lo que se consideran más adecuados para los fines de este estudio. Extrapolando los datos del artículo a la cuenca del río Mijares, teniendo en cuenta los datos disponibles para cuencas medianas de clima similar (es decir, entre 400 y 800 mm/año de precipitación media) resulta una producción de sedimentos media entre 90.000 y 270.000 m<sup>3</sup>/año (40-120 tn/Km<sup>2</sup>·año).

### VI.3.2. Estimación directa a partir de la tasa de sedimentación de embalses.

Según datos recopilados por el CEDEX en la base de datos HIDRIA, el embalse de Sichar en el río Mijares tiene acumulado un volumen de sedimentos de 2.73 Hm<sup>3</sup>, mientras que el de María Cristina en la rambla de la Viuda alcanza 3.75 Hm<sup>3</sup>, de los cuales el volumen de arenas frente es del 8% (0,3 Hm<sup>3</sup>); el resto, es decir, la mayor parte, serían finos (arcillas y limos). El embalse de Sichar se encuentra situado aguas abajo del embalse de Arenós, por lo que la tasa de erosión que se ha indicado probablemente se produjera principalmente en el periodo 1960-1980, es decir, entre la construcción del primero y del segundo. Esta hipótesis implicaría una aportación media anual de sedimentos en este periodo de 136.500 m<sup>3</sup>/año, con una cuenca vertiente de 1500 km<sup>2</sup>, lo que daría una estimación para la cuenca total (4025 Km<sup>2</sup>) de 364.000 m<sup>3</sup>/año, de los cuales la mayor parte serían arcillas y limos.

**DOCUMENTO FINAL**

Por otra parte, Joan Mateu Bellés, en un artículo sobre la rambla de la Viuda<sup>2</sup>, estima la tasa de erosión en la cuenca vertiente al embalse de Alcora en 0.03 mm/año, mientras que en el de María Cristina oscila entre 0.05 y 0.07 mm/año. Considerando una densidad de conjunto para el suelo de 1.8 t/m<sup>3</sup>, estos valores representan una aportación específica entre 72 y 126 tn/Km<sup>2</sup>·año o, en términos de volumen y extrapolando a toda la superficie de la cuenca, entre 160.000 y 280.000 m<sup>3</sup>/año. Nuevamente, estas cifras incluyen todas las fracciones de sedimentos, predominando los finos.

Verstraeten et al.<sup>3</sup> analizaron la aportación de sedimentos en 60 cuencas españolas a partir de la tasa de acumulación en embalses. En su base de datos, tomada de Avendaño Salas et al.<sup>4</sup>, se encuentran dos embalses de la cuenca del Júcar, Buseo y Forata, con tasas de sedimentación de 64 y 109 t/km<sup>2</sup>·año, respectivamente.

La expresión de mejor ajuste para la totalidad de las cuencas fue  $SSY=4139 * A^{-0,43}$ , lo que para una cuenca de 4025 Km<sup>2</sup> como es la del río Mijares, da un valor estimado de 117 t/Km<sup>2</sup>/año. Tomando una banda superior e inferior de la nube de puntos de la figura VI.5 donde se presentan la totalidad de los datos, se llega a que una cuenca de este tamaño tendría una producción específica comprendida entre 30 y 300 t/Km<sup>2</sup>/año. Por lo tanto, las cifras totales se encuentran entre 67.000 y 667.000 m<sup>3</sup>/año, con un valor más probable de 260.000 m<sup>3</sup>/año.

Como se puede observar, la dispersión de los datos es alta. No obstante, los datos de acumulación de sedimentos en la cuenca del río Mijares permiten estimar la producción total de sedimentos en la cuenca en un valor en torno a 233.000 m<sup>3</sup>/año, obtenido como promedio de los valores disponibles para la Rambla de la Viuda y el valor medio del artículo de Verstraeten et al.

<sup>2</sup> La Rambla de la Viuda. Clima e hidrología. Cuadernos de geografía, ISSN 0210-086X, Nº 15, 1974, pags. 47-68.

<sup>3</sup> Gert Verstraeten, Jean Poesen, Joris de Vente, Xenia Koninckx, Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semi-qualitative analysis using reservoir sedimentation rates, Geomorphology, Volume 50, Issue 4, 1 March 2003, Pages 327-348.

<sup>4</sup> Avendaño Salas et al., 1997. C. Avendaño Salas, E. Sanz Montero, C. Rayán and J.L. Gómez Montaña, Sediment yield at Spanish reservoirs and its relationship with the drainage basin area. In: Proceedings of the 19th Symposium of Large Dams, Florence, ICOLD (International Committee on Large Dams), Paris (1997), pp. 863-874.

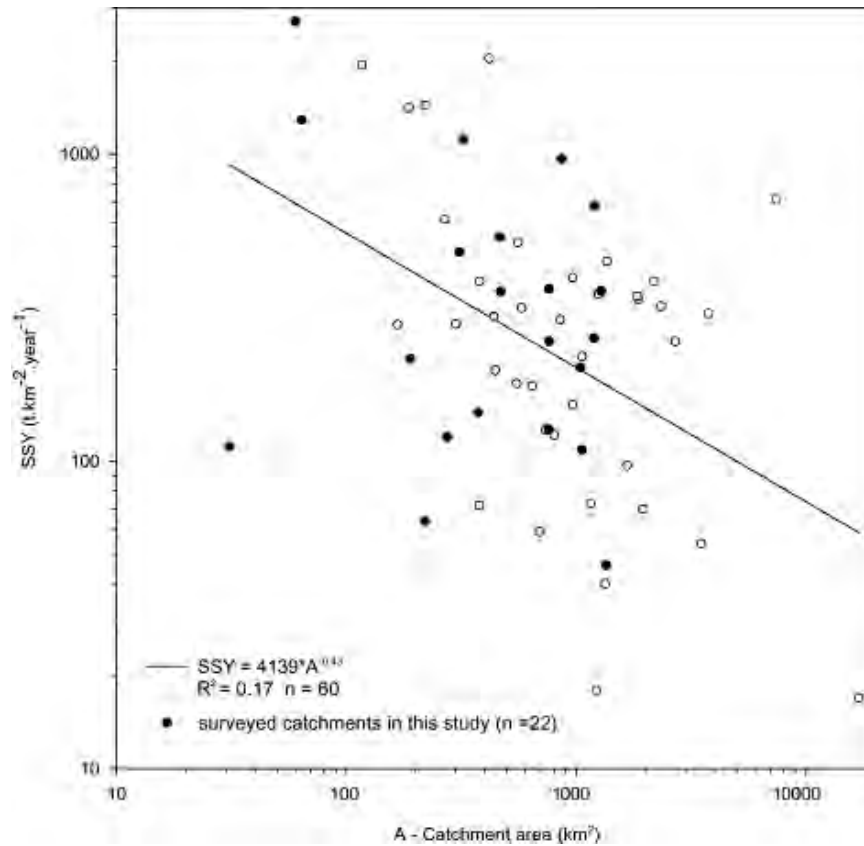


Figura VI.5. Relación entre el área y la producción de sedimentos en diversas cuencas españolas. Tomado de Vertraeten et al.

### VI.3.3. Reducción histórica del aporte anual de sedimentos fluviales.

Se dispone de datos de caudales diarios en la estación de aforos de Villarreal en el río Mijares, con una cuenca vertiente de 1520 km<sup>2</sup>, durante el periodo 1919-2007; como es de esperar, la serie presenta varios huecos, aunque aún así resulta de gran interés. Esta estación recoge la práctica totalidad de la cuenca antes de que se incorpore la Rambla de la V iuda, p or lo q ue el a nálisis d e la s series d isponibles p uede d ar u na id ea d e la variabilidad de los caudales en varias condiciones:

- Régimen natural, antes de la construcción del embalse de Schar (1960)
- Régimen modificado I, previo a la construcción de nuevos embalses
- Régimen modificado II, tras la construcción del embalse de Arenós (1980)

No se considera el efecto que el resto de embalses menores de la cuenca pueda tener el régimen d e c audales. L a t abla VI.5 y f igura VI.6 recogen algunos e stadísticos representativos de las series para los tres periodos considerados:

**DOCUMENTO FINAL**

	<b>1919-1957</b>	<b>1960-1979</b>	<b>1980-2007</b>
Media	9,45	8,09	4,68
Desv:	13,31	4,90	6,00
Perc 90%	15,44	12,30	9,06
Perc 95%	22,36	16,51	11,53
Perc 98%	36,36	20,82	17,84

Tabla VI.5. Estadísticos de la series de caudales en Mijares-Villarreal para tres periodos históricos (cifras en m<sup>3</sup>/s).

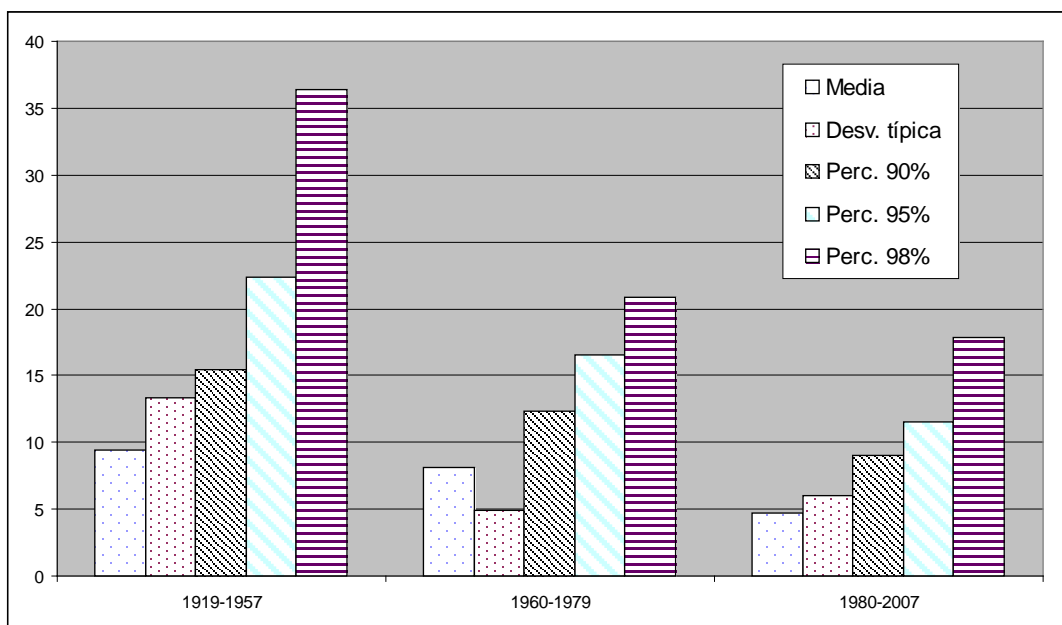


Figura VI.6. Evolución de estadísticos representativos de las series de caudales por periodos.

Se observan, entre otros fenómenos, una drástica reducción del caudal medio a partir de la década de 1980, y una reducción progresiva de los caudales máximos y de la desviación típica de las series, a partir de la construcción del primer embalse en 1960. En concreto, los caudales del percentil del 98%, los que se superan una media de 7 días al año aproximadamente, se han reducido a la mitad por los efectos de laminación de los embalses.

Dado que el transporte de sedimentos está ligado al régimen de aportaciones y, en particular, a la magnitud y frecuencia de las avenidas, es de esperar que la reducción y estabilización de caudales haya tenido, junto con la acumulación en embalses, un efecto directo en la aportación de sólidos en la desembocadura.

**DOCUMENTO FINAL**

Asumiendo que la concentración de sedimentos de un río en una sección e instante dado, incluyendo transporte por fondo y en suspensión, viene dada por una expresión potencial del tipo:

$$C = k \cdot Q^m$$

donde m se sitúa habitualmente entre 1 y 2, es posible ajustar k para un valor de m de tal forma que, para el periodo de tiempo en que el río funcionó en régimen natural (1919-1957), la aportación media anual se sedimentos alcance un valor dado. Como se ha mostrado en los apartados previos, dicho valor se sitúa como máximo en unos 300.000 m<sup>3</sup>/año, de los cuales aproximadamente un 37,5% (112.500 m<sup>3</sup>/año) se pueden imputar a la cuenca vertiente en el punto de aforo. En la tabla VI.6 se presentan los valores medios diarios de transporte sólido para los tres periodos considerados, asumiendo a su vez tres posibles tipos de transporte, caracterizados por su exponente m. Los valores de k que se presentan son los que permiten obtener un caudal Qs1 en régimen natural igual a 112.500 m<sup>3</sup>/año.

<b>m</b>	<b>k</b>	<b>Qs1 1919- 1957</b>	<b>Qs2 1960- 1979</b>	<b>Qs3 1980- 2007</b>	<b>Qs2/Qs1</b>	<b>Qs3/Qs1</b>
1	24,107	112.500	37.801	24.440	33,6%	21,7%
1,5	2,486	112.500	15.839	15.553	14,1%	13,8%
2	0,199	112.500	6.388	11.357	5,7%	10,1%

Tabla VI.6. Valores medios del aporte sólido (m<sup>3</sup>/año) para tres posibles leyes C(Q), en los tres periodos considerados.

Aunque no es posible determinar el valor de mejor ajuste de m para esta cuenca, el predominio del material fino y, en consecuencia, del transporte en suspensión, hacen más probable un valor entre 1,5 y 2. Por lo tanto, a la vista de estos cálculos se puede estimar que el efecto de la alteración del régimen hidrológico de la cuenca ha sido una probable *reducción del 90% del aporte sólido medio anual* de la cuenca con respecto a la situación en régimen natural. Nótese que aunque dicha alteración se debe fundamentalmente al efecto de los embalses, pueden también influir en ella otros factores como los cambios de usos del suelo y el cambio climático. Por otra parte, también es plausible que la presencia de los embalses haya alterado la relación entre el caudal sólido y el líquido a lo largo del tiempo, haciendo que m varíe para cada periodo, o incluso que el aporte sólido se haya desligado en cierta medida del caudal fluente, ya que éste proviene mayoritariamente de sueltas de embalses, donde ya se ha producido decantación de materiales. En cualquier caso, los cálculos anteriores dan una idea aproximada de la tendencia cualitativa que ha podido seguir la cuenca del río Mijares, y de las implicaciones que ello puede tener en la evolución costera.

Por consiguiente, se puede concluir que se produce una reducción del aporte sólido de entre el 80-90% con respecto a la situación previa a la construcción de embalses. Como

**DOCUMENTO FINAL**

ya ha sido comentado, esto afecta a todas las fracciones de sedimentos, pero analizando el sedimento granular se puede decir que la costa ha pasado de recibir unos 30 000 m<sup>3</sup>/año a recibir 3000-6000 m<sup>3</sup>/año, como término medio.

## **VI.4. Conclusiones.**

En este anejo se ha realizado la estimación de aportes sólidos de origen fluvial al sistema de costa Burriana-Sagunto desde mediados del siglo XX hasta la actualidad, empleando diversos enfoques:

- Producción de sedimentos de la cuenca (formulaciones de pérdida de suelos).
- Acumulación de sedimentos en embalses.
- Series de caudales sólidos basadas en una relación caudal-concentración.

### **VI.4.1. Estimación de la producción de sedimentos de la cuenca (formulaciones de pérdida de suelos)**

Este método se basa en que en general existe una correlación entre la precipitación media anual y la producción de sedimentos, siendo mayor con climas más secos. La producción media de sedimentos en diversas cuencas mediterráneas españolas en la zona sur, con litología y climas variables, se sitúa entre 10 y 200 tn/km<sup>2</sup>.año (Liquete et al., 2005). Extrapolando los datos para la cuenca del río Mijares y teniendo en cuenta los datos disponibles para cuencas medianas de clima similar (es decir, entre 400 y 800 mm/año de precipitación media) resulta una producción de sedimentos media entre 90 000 y 270 000 m<sup>3</sup>/año (40 - 120 tn/km<sup>2</sup>.año). Ahora bien, debe tenerse presente que esta cifra incluye todas las fracciones de sedimento, predominando los finos (arcillas y limos).

### **VI.4.2. Estimación directa a partir de la tasa de sedimentación de embalses**

Este método consiste en la estimación de la aportación a partir de la tasa de sedimentación de los embalses.

A partir de la tasa de acumulación de sedimento en el embalse de Sichar en el río Mijares (CEDEX) se estimó una aportación media anual de sedimentos para la cuenca total de 364 000 m<sup>3</sup>/año (de esta cantidad la mayor parte del sedimento son arcillas y limos) en el periodo 1960-1980, antes de construcción de la presa de Arenós.

En otros estudios (La Rambla de La Viuda. Clima e hidrología. Cuadernos de geografía, 1974) se estima la tasa de erosión en la cuenca vertiente al embalse de Alcora en 0.03 mm/año y al embalse de María Cristina entre 0.05 y 0.07 mm/año, lo cual supone para



DOCUMENTO FINAL

el conjunto de la cuenca entre 160 000 y 280 000 m<sup>3</sup>/año de aportación media anual de sedimentos (estas cifras incluyen todas las fracciones de sedimentos, predominando los finos).

Teniendo en consideración los estudios existentes de la aportación de sedimentos en 60 cuencas españolas a partir de la tasa de acumulación de embalses (Verstraeten et al, 2003) se obtiene una relación entre la superficie de la cuenca y la producción de sedimentos, que para la superficie de la cuenca del río Mijares permite estimar un valor de 117 t/Km<sup>2</sup>/año de aportación de sedimentos. Tomando una banda superior e inferior de la nube de puntos de la totalidad de los datos, se llega a que una cuenca de este tamaño tendría una producción específica comprendida entre 30 y 300 t/Km<sup>2</sup>/año. Por lo tanto, las cifras totales se encuentran entre 67 000 y 667 000 m<sup>3</sup>/año, con un valor más probable de 260 000 m<sup>3</sup>/año.

Aunque la dispersión de los datos anteriores es alta, los datos de acumulación de sedimentos en la cuenca del río Mijares permiten estimar la producción total de sedimentos en la cuenca en un valor del orden de 233 000 m<sup>3</sup>/año, obtenido como promedio de los valores disponibles para la Rambla de la Viuda y el valor medio del estudio de Verstraeten et al. Ahora bien, debe tenerse presente que esta cifra incluye todas las fracciones de sedimento, predominando los finos (arcillas y limos).

### VI.4.3. Estimación de la reducción histórica del aporte anual de sedimentos fluviales

Este método se basa en estimar las series históricas de aportes fluviales a partir de las series históricas de caudales de ríos, así como formulaciones de concentración de sedimentos de un río en una sección e instante dado. Así pues, ya que el transporte de sedimentos está ligado al régimen de aportaciones y, en particular, a la magnitud y frecuencia de las avenidas, es de esperar que la reducción y estabilización de caudales haya tenido, junto con la acumulación en embalses, un efecto directo en la aportación de sólidos en la desembocadura.

A partir de los datos de caudales diarios en la estación de aforos de Villarreal en el río Mijares, se ha analizado la influencia de los dos principales embalses de la cuenca, el embalse de Schar y el embalse de Arenós (despreciándose el efecto del resto de embalses menores en el régimen de caudales). De este estudio se concluye de una forma cualitativa que la construcción de los embalses ha tenido como consecuencia una reducción del aporte sólido de entre el 80-90% con respecto a la situación previa a la construcción de los mismos. Como ya ha sido comentado, esto afecta a todas las fracciones de sedimentos, pero analizando el sedimento granular se puede decir que la costa ha pasado de recibir unos 30 000 m<sup>3</sup>/año a recibir 3 000-6000 m<sup>3</sup>/año, como término medio.

### III

CONSIDERACION DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMATICO Y  
PRIORIZACIÓN DE ACTUACIONES DESDE EL PUNTO DE VISTA  
DE UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA COSTA.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE FOMENTO

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA,  
ALIMENTACIÓN Y  
MEDIO AMBIENTE

**CEDEX**  
CENTRO DE ESTUDIOS  
Y EXPERIMENTACIÓN  
DE OBRAS PÚBLICAS

## **INFORME TÉCNICO**

para

**Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente**

Secretaría de Estado de Medio Ambiente

Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar

### **3.3 ESTUDIOS DE DINÁMICA LITORAL, DEFENSA Y PROPUESTAS DE MEJORA EN LAS PLAYAS CON PROBLEMAS EROSIVOS, CONSIDERANDO LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO:**

**ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN DEL TRAMO DE COSTA  
COMPRENDIDO ENTRE EL PUERTO DE CASTELLÓN Y EL  
PUERTO DE SAGUNTO (CASTELLÓN SUR)**

INFORME FINAL

Clave CEDEX: 22-414-5-002

Madrid, 2015

---

**Centro de Estudios de Puertos y Costas**





GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE FOMENTO

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA,  
ALIMENTACIÓN Y  
MEDIO AMBIENTE



TÍTULO:

**3.3 ESTUDIOS DE DINÁMICA LITORAL, DEFENSA Y PROPUESTAS DE MEJORA EN LAS PLAYAS CON PROBLEMAS EROSIVOS, CONSIDERANDO LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO:**

**ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN DEL TRAMO DE COSTA COMPRENDIDO ENTRE EL PUERTO DE CASTELLÓN Y EL PUERTO DE SAGUNTO (CASTELLÓN SUR)**

INFORME FINAL

CLIENTE:

**Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar**

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y, DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

### VALIDEZ OFICIAL

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME Y SIENDO ACORDE CON LAS CLAUSULAS DEL CONVENIO DE COLABORACION CORRESPONDIENTE, SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

EL DIRECTOR DEL CENTRO  
DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS

Fdo. José María Grassa Garrido.

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid, a de de 2015

EL DIRECTOR DEL CEDEX

Fdo. Mariano Navas Gutiérrez



SÓLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN.





### 3.3 ESTUDIOS DE DINÁMICA LITORAL, DEFENSA Y PROPUESTAS DE MEJORA EN LAS PLAYAS CON PROBLEMAS EROSIVOS, CONSIDERANDO LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO:

#### ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN DEL TRAMO DE COSTA COMPRENDIDO ENTRE EL PUERTO DE CASTELLÓN Y EL PUERTO DE SAGUNTO (CASTELLÓN SUR) (Informe final)

(CLAVE CEDEX: 22-414-5-002)

## ÍNDICE DE LA MEMORIA

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Resumen y conclusiones del informe parcial previo.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Actualización de datos.....</b>	<b>8</b>
1.3.1 Proyecto de Recuperación Ambiental de las Playas de Almardá y Corinto en el T.M. de Sagunto (Valencia) (HIDTMA 1994).....	10
1.3.2 Proyecto de Rehabilitación del Borde Marítimo en el Sur de Burriana (Castellón) (Juan Carlos Yuste Cotanda 1999) .....	10
1.3.3 Proyecto de Lucha Contra la Erosión en las Playas del Término Municipal de Almenara, de Castellón (KV Consultores 2009).....	11
1.3.4 Proyecto de Regeneración de la playa al Sur del puerto de Burriana, T.M. de Burriana (Castellón) (CLOTHOS 2010) .....	11
1.3.5 Evaluación Preliminar de Riesgos de Inundación en las Zonas Costeras de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (CEDEX 2010).....	12
1.3.6 Proyecto de regeneración ambiental y lucha contra la erosión en la playa de Benafeli, T.M. Almanzora (Castellón) (Iberport Consulting 2010).....	14
1.3.7 Proyecto de Mejora de la Accesibilidad y Protección de la Costa al Sur de Burriana (Castellón) (TRAGSATEC 2010).....	15
1.3.8 Estudio de soluciones y desarrollo de la alternativa elegida de restablecimiento de la conexión entre la Marjal de Nules y el mar TT.MM. de Burriana y Nules (Castellón), (Iberport Consulting 2010) .....	15
1.3.9 Acta de reuniones en la Delegación del Gobierno de Castellón (2011).....	16
1.3.10 Elaboración de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo Requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la Costa Española (KV Consultores 2013) .....	17
<b>1.4 Metodología del estudio para la Estrategia de Actuación.....</b>	<b>20</b>
<b>1.5 Estructura del informe técnico.....</b>	<b>21</b>
<b>2. ZONIFICACIÓN PARA LA ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 Consideraciones previas.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Zonificación de las actuaciones .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Condicionantes de las actuaciones .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4 Estudios anteriores con propuestas de actuación .....</b>	<b>24</b>
2.4.1 Informe realizado por el CEDEX (1997) .....	24
2.4.2 Informe realizado por IH Cantabria (2011).....	25



2.4.3 Estudio realizado por IBERPORT CONSULTING (2010) .....	26
2.4.4 Proyecto realizado por IBERPORT CONSULTING (2010) .....	27
2.4.5 Proyecto realizado por CLOTHOS (2010) .....	27
<b>3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS COSTAS DE CASTELLÓN.....</b>	<b>29</b>
3.1 Estudios que se ocupan de ello .....	29
3.2 Análisis general .....	29
3.2.1 Análisis considerando el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.....	29
3.2.2 Análisis considerando los Impactos en la Costa Española por efecto del Cambio Climático.....	30
3.2.3 Análisis considerando la Elaboración de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la Costa Española.....	33
3.3 Respuesta de la costa y valores medios.....	34
<b>4. TIPOS DE ALTERNATIVAS DE ACTUACIÓN .....</b>	<b>42</b>
4.1 Tipos de alternativas de actuación a considerar.....	42
4.2 Ámbito de los tipos de alternativas de actuación.....	43
4.3 Tramos de costa en el ámbito de las alternativas de actuación .....	43
<b>5. ACTUACIONES EN EL TRAMO I: PUERTO DE CASTELLÓN – PUERTO DE BURRIANA.....</b>	<b>44</b>
5.1 Actuaciones propuestas en trabajos anteriores .....	45
5.1.1 Trabajos que contienen propuestas de actuación .....	45
5.1.2 Actuaciones propuestas en el proyecto TYPESA 2007.....	45
5.1.3 Actuaciones propuestas en el proyecto IBERPORT CONSULTING 2010.....	46
5.1.4 Resumen de las propuestas para el tramo I de anteriores trabajos .....	46
5.2 Situación y comportamiento general del Tramo I en la actualidad .....	48
5.3 Zonas sensibles en el Tramo I .....	51
5.4 Actuaciones propuestas en el Tramo I .....	52
5.4.1 Actuaciones entre el Puerto de Castellón y el río Mijares .....	53
5.4.1.1 Actuaciones en la playa de Ben Afelí .....	53
5.4.1.2 Actuaciones en la playa de La Torre.....	54
5.4.2 Actuaciones entre el río Mijares y el puerto de Burriana.....	55
5.5 Resumen de propuestas de actuación en el Tramo I.....	57
5.6 Necesidades sedimentarias del Tramo I.....	58
<b>6. ACTUACIONES EN EL TRAMO II: PUERTO DE BURRIANA– PUERTO DE SAGUNTO .....</b>	<b>59</b>
6.1 Actuaciones propuestas en trabajos anteriores .....	60
6.1.1 Trabajos que contienen propuestas de actuación .....	60
6.1.2 Actuaciones propuestas en el proyecto TYPESA 2007.....	60
6.1.3 Actuaciones propuestas en el informe de IH Cantabria 2011 .....	61
6.1.4 Actuaciones propuestas en el proyecto de KV Consultores 2009.....	65
6.1.5 Actuaciones propuestas en el estudio de IBERPORT CONSULTING 2010 .....	66
6.1.6 Actuaciones propuestas en el proyecto de CLOTHOS 2010 .....	67
6.1.7 Actuaciones propuestas en el proyecto de TRAGSATEC 2010 .....	68
6.1.8 Resumen de las actuaciones propuestas en trabajos anteriores para el tramo II .....	69
6.2 Situación y comportamiento general del Tramo II en la actualidad .....	71
6.3 Zonas sensibles en el Tramo II.....	79
6.4 Actuaciones propuestas en el Tramo II.....	80
6.4.1 Actuaciones entre el puerto de Burriana y Nules.....	81





6.4.2 Actuaciones entre Nules (gola de la Marjalería) y Moncófar .....	84
6.4.3 Actuaciones entre Moncófar- Desembocadura del río Belcaire .....	86
6.4.4 Actuaciones entre la desembocadura del río Belcaire y el canal de la Bola.....	88
6.4.5 Actuaciones entre el canal de la Bola y la gola de Queralt (o del Estany) .....	90
6.4.6 Actuaciones entre la gola de Queralt (Estany) y el puerto de Canet de Berenguer .....	92
6.4.7 Actuaciones entre el puerto de Canet de Berenguer y el puerto de Sagunto .....	93
<b>6.5 Resumen de propuestas de actuación en el Tramo II.....</b>	<b>94</b>
<b>6.6 Necesidades sedimentarias del Tramo II.....</b>	<b>96</b>
<b>7. PRIORIZACIÓN Y FASES DE ACTUACIÓN.....</b>	<b>97</b>
<b>7.1 Metodología para la priorización de actuaciones .....</b>	<b>97</b>
<b>7.2 Variables de priorización.....</b>	<b>97</b>
7.2.1 Variables sociales.....	98
7.2.2 Variables medioambientales .....	98
7.2.3 Variables económicas .....	98
7.2.4 Variables de seguridad .....	98
<b>7.3 Condicionantes de priorización de las actuaciones.....</b>	<b>99</b>
<b>7.4 Prioridades de las actuaciones.....</b>	<b>100</b>
7.4.1 Prioridad de las actuaciones en el Tramo I: Puerto de Castellón – Puerto de Burriana .....	100
7.4.1.1 Prioridades en el sub tramo 1: Puerto de Castellón y el río Mijares.....	100
7.4.1.2 Prioridades en el sub tramo 2: Río Mijares y el puerto de Burriana.....	101
7.4.2 Prioridad de las actuaciones en el Tramo II: Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto .....	104
7.4.2.1 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-1-1: Puerto de Burriana – Nules.....	104
7.4.2.2 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-1-2: Nules - Moncófar.....	106
7.4.2.3 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-1-3: Moncófar y río Belcaire.....	107
7.4.2.4 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-1-4: Río Belcaire – cana de la Bola.....	108
7.4.2.5 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-2-1: Canal de la Bola - Gola de Queralt (o Estany) .....	111
7.4.2.6 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-2-3: Gola de Queralt (o Estany) – Puerto de Canet de Berenguer.....	112
7.4.2.7 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-3: Puerto de Canet de Berenguer – Puerto de Sagunto .....	113
<b>7.5 Resumen de las prioridades de las actuaciones propuestas .....</b>	<b>114</b>
<b>7.6 Consideraciones para realizar las Fases de actuación.....</b>	<b>118</b>
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>120</b>
<b>8.1 Alternativas de actuación de alimentación.....</b>	<b>120</b>
<b>8.2 Mantenimiento.....</b>	<b>124</b>



ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL PUERTO DE CASTELLÓN Y EL PUERTO DE SAGUNTO  
(Informe final)

CEDEX

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 OBJETIVOS**

El presente informe técnico se redacta a solicitud de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, dentro del marco de cooperación plasmado en el convenio de colaboración entre la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar y el Centro de Estudio y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), a través del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX, mediante un acuerdo para la Encomienda de Gestión para la realización de asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico.

El objetivo del trabajo se centra en estudiar todo el frente costero de Castellón y Valencia, situado entre los puertos de Castellón y Sagunto, basándose para ello en todos los trabajos y datos efectuados en la zona. Una vez realizado esto; detectar las zonas con problemas y vislumbrar una solución de alcance, analizando las soluciones que otros trabajos han propuesto, teniendo en cuenta las variables que conforman el problema, incluyendo entre ellas la urbanización que se asienta en la zona y los múltiples valores paisajísticos, ambientales y de todo tipo del área.

Este trabajo se acomete en dos fases:

- En la primera Fase: se abordaría la definición y recopilación de la información existente para identificar el estado y comportamiento de la costa situada entre los puertos de Castellón y Sagunto; con todas las herramientas necesarias para conocer los problemas costeros que presenta esta costa.
- En la segunda Fase: se plantearían las actuaciones, se priorizarían estas y se marcarían los ritmos de ejecución.

Formalmente, los puntos a desarrollar en este informe que contendría toda la fase II, se pueden resumir en los siguientes puntos:

1. Actualización de datos de la costa situada entre los puertos de Castellón y Sagunto
2. Zonificación de las actuaciones
3. Análisis de propuestas realizadas en trabajos e informes anteriores
4. Condicionantes de las actuaciones
5. Propuesta de actuaciones
6. Priorización y fases

### **1.2 RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL INFORME PARCIAL PREVIO**

A lo largo de los años, la descompensación en el sedimento y transporte, influido muy fuertemente por las construcciones portuarias, se ha intentado mitigar con mayor o menor éxito mediante las diversas obras de defensa que se han construido en ellas.



Por tanto, hay que partir de la idea de que todo el tramo en estudio se encuentra alterado de su dinámica inicial natural. Las zonas con mayor problema son aquellas en las que coincide un fuerte transporte y una zona urbana. Pero la sola actuación de zonas con problemas provocaría una mayor degradación y erosión en zonas aledañas no urbanas, como sucede en la actualidad; por lo que cualquier actuación debe contemplar todo el conjunto.

El análisis de toda la costa, con los datos que suministran los diferentes estudios y trabajos de la zona, dio como resultado las siguientes conclusiones vertidas en el informe previo anterior:

- 1) La estructura actual de la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto obedece a las sucesivas transformaciones que se ha realizado a lo largo del tiempo en una costa inicialmente continua, con un trasdós de costa baja protegido por un cordón litoral conocido como "la mota". Con las construcciones de los puertos de Sagunto, 1902, Castellón, 1915, y Burriana en 1932, se pasa de una costa con un intenso transporte longitudinal y una importante aportación de sedimentos, a el mismo intenso transporte pero frenado el sedimento en su aportación norte y el transporte en tres puntos. El urbanismo que se fue desarrollando a lo largo de los años, más intenso a partir de los años 60/70 del pasado siglo, obvió esta circunstancia lo que dio lugar a grandes problemas entre este crecimiento y el estado evolutivo que se había generado; agravado por las regulaciones de los ríos de la zona. La solución dada al problema fue local; rigidizando algunas zonas con defensas de costas no excesivamente bien estudiadas y planificadas, donde se desarrollan las defensas de costa frente a los núcleos urbanos, que dieron lugar a descompensaciones sedimentarias aún mayores formándose concavidades importantes aguas abajo de la rigidización.
- 2) La consecuencia inmediata es que toda la costa en estudio está dividida en dos grandes tramos Puerto de Castellón-Puerto de Burriana y Puerto de Burriana-Puerto de Sagunto. Cada tramo funciona y se debe actuar como una unidad porque la dependencia es muy fuerte como sistema litoral independiente; las soluciones parciales no parece que en el pasado hayan tenido resultados óptimos; más bien al contrario, han servido para crear nuevas descompensaciones.
- 3) Estas dos grandes unidades fisiográficas pueden, a su vez, dividirse en cinco tramos:
  - Puerto de Castellón-Río Mijares
  - Río Mijares- Puerto de Burriana
  - Puerto de Burriana Playa de Casablanca
  - Playa de Casablanca-Puerto Siles
  - Puerto Siles Puerto de Sagunto

En cualquier actuación de defensa de costa debe contemplarse su efecto sobre toda la unidad fisiográfica en la que se encuentra inmersa la actuación, y debe extenderse el estudio a todo el tramo en que se halla.

- 4) El diagnóstico actual de cada uno de los tramos, contemplado en el apartado 6.2, se puede resumir en los siguientes puntos:
  - a. Puerto de Castellón-Río Mijares: La protección actual *de playa de La Torre* parece suficiente, no hallándose problemas graves que necesiten de intervención inmediata.



- El *delta del río Mijares* no parece que tenga problemas de importancia salvo en el tramo final que se halla rigidizado, coincidiendo con el primer tramo de la playa Norte de Burriana.
- b. Río Mijares-Puerto de Burriana: Es un tramo altamente descompensado. El primer tramo de la *playa Norte de Burriana* es totalmente erosivo; junto al delta se halla mal resuelta su rigidización que debería ser objeto de análisis. La playa a continuación tiene en su frente un muro longitudinal continuo de protección de costa que rigidiza todo el frente; no existiendo playa seca en su pie. No parece que en la actualidad tenga problemas; salvo las averías propias de la defensa que se puedan producir por la acción del oleaje. Debiera vigilarse la evolución de los perfiles frente a dique longitudinal. El segundo tramo, *playa del Grao de Burriana*, es acumulativo y su estado actual de protección parece suficiente; si bien, el crecimiento que se sigue produciendo debe vigilarse para no permitirse, utilizando los excedentes para gestión del sedimento en toda la unidad.
- c. Puerto de Burriana-Playa de Casablanca: Comprende las *playas Sur de Burriana, Nules, Moncófar, Chilches, La Llosa y Casablanca*. La primera de ellas es la que más virulentamente ha sufrido la erosión costera, hallándose en un grave estado; no existiendo playa seca y formando todo su frente un dique longitudinal de escollera que debiera pensarse recuperarse como playa. A continuación, Nules es la transición de un tramo totalmente rigidizado por un dique de escollera longitudinal y playas entre espigones, de tal forma que el tramo más norte goza de ambas protecciones. No tiene graves problemas dada su rigidización; pero su estado, especialmente frente a un entorno semiurbano, no parece el adecuado. Al igual sucede con Moncófar, donde las soluciones que se han ido dando a los problemas erosivos de la playa son locales; rigidizando la costa frente a las zonas urbanas; pero dejando que evolucione libremente fuera de ellas, lo que ha provocado una importante erosión de costa entre este municipio y Chilches, donde las soluciones dadas para regenerar su playa frente a la zona urbana, con dos diques exentos, que no han funcionado lo suficientemente bien, lo que obligó a realizar posteriores actuaciones como realizar un saliente en el centro entre los diques exentos y una mota de gravas, entre otros. Su diseño se debiera reconsiderar dado que ambos diques más que ser una defensa de costas es un inconveniente para acometer una defensa en condiciones. Las obras tras esos diques parece que han funcionado bien; si bien, tras ellas, se vuelve a dar una erosión importante en la costa que afectan de forma grave a la playa de La Llosa. La playa de Casablanca, en Almenara, mantiene la alineación de la costa con el tramo norte, lo que ha obligado a escollerar todo ese frente mediante un dique longitudinal como solución a su estado erosivo.
- d. Playa de Casablanca-Puerto Siles: Mantiene un buen estado, sin necesidad de obra alguna debido al giro que hace la costa al norte. Tiene una tendencia al crecimiento; especialmente junto al Puerto Siles, y debido a ello debiera pensarse en gestionar el material que anualmente retiene, no permitiendo un continuo crecimiento.
- e. Puerto Siles Puerto de Sagunto: Mantiene un buen estado que no requiere actuación alguna; si bien, el excedente de sedimento que pudiera aparecer anualmente debe realizarse una gestión de él para ayudar a mejorar el sector norte con detrimento de sedimento.
- 5) Debe realizarse un estudio de re análisis de todas las obras de defensa existentes en la actualidad, contemplando la previsible subida del nivel del mar debido al cambio climático y extendiendo a puntos críticos con graves erosiones actuales, dando el mismo tratamiento al tramo; especialmente el tercero de ellos.



### 1.3 ACTUALIZACIÓN DE DATOS

En este apartado se va a actualizar toda la documentación técnica disponible para poder realizar una Estrategia de Actuación de la costa sur de Castellón y norte de Valencia. A continuación se muestran los datos adicionales facilitados al CEDEX, por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar y la Demarcación de Costas de Castellón, para actualizar la base técnica.

Los datos provienen de los siguientes trabajos ordenados cronológicamente:

- 1) Proyecto de Recuperación Ambiental de las Playas de Almardá y Corinto, T.M. de Sagunto (Valencia) (1994). Realizado por la empresa HIDTMA, S.L. para el Ministerio de Obras Públicas Transportes y Medio Ambiente.
- 2) Proyecto de Rehabilitación del Borde Marítimo en el Sur de Burriana (Castellón) (1999). Realizado por Juan Carlos Yuste Cotanda, para el Ministerio de Medio Ambiente.
- 3) Proyecto de Lucha Contra la Erosión en las Playas del Término Municipal de Almenara, Castellón (2009). Realizado por la empresa KV Consultores para el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- 4) Proyecto de Regeneración de la Playa al Sur del Puerto de Burriana en el T.M. de Burriana (Castellón) (2010). Realizado por la empresa CLOTHOS para el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.
- 5) Evaluación Preliminar de Riesgos de Inundación en las Zonas Costeras de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (2010). Realizado por el CEDEX para el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- 6) Proyecto de Regeneración Ambiental y Lucha Contra la Erosión Costera en la Playa de Benafeli, T.M. Almazora (Castellón) (2010). Realizado por la empresa Iberport Consulting para el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- 7) Proyecto de Mejora de la Accesibilidad y Protección de la Costa al Sur de Burriana (Castellón) (2010). Proyecto realizado por TRAGSATEC, para el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- 8) Estudio de Soluciones y Desarrollo de la Alternativa Elegida de Restablecimiento de la Conexión entre la Marjal de Nules y el Mar. TT.MM. de Burriana y Nules (Castellón) (2010). Realizado por la empresa Iberport Consulting para el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- 9) Acta de las reuniones mantenidas en la Delegación del Gobierno de Castellón entre los alcaldes y los equipos técnicos. Con el objeto de exponer los resultados de la Asistencia técnica para el estudio integral de alternativas de actuación en el tramo de costa comprendido entre el puerto de Burriana y el puerto de Sagunto (2011). Realizado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar.
- 10) Elaboración de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo Requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la Costa Española. (2013). Realizado por la empresa KV Consultores para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

En los siguientes apartados se detallarán cada uno de los trabajos anteriores, destacando los puntos esenciales de cada uno de ellos. A continuación se describe a modo de resumen el principal objetivo de cada uno de los trabajos.

- 1) En el proyecto de “Recuperación Ambiental de las Playas de Almardá y Corinto en el T.M. de Sagunto (Valencia)” (HIDTMA, S.L. 1994), se analizaron las posibles alternativas para la recuperación y estabilización de la costa, adoptando una solución basada en la alimentación periódica con un volumen de arena que compensase el déficit anual de sedimentos registrado en el tramo.
- 2) En el proyecto de “Rehabilitación del Borde Marítimo en el Sur de Burriana (Castellón)” (Juan Carlos Yuste Cotanda 1999) se incluye la recuperación de la zona de dominio público mediante refuerzo de la escollera, aportación de arenas y plantación de especies autóctonas, al igual que la mejora del acceso al mar mediante escaleras y la construcción de un camino de ribera dotado de pavimentación y mobiliario urbano.
- 3) En el proyecto de “Lucha Contra la Erosión en las Playas del Término Municipal de Almenara, Castellón” (KV Consultores 2009), se plantea como solución la sustitución del tramo de protección de escollera actualmente existente en el extremo norte del frente costero de Almenara, por una nueva playa encajada de gravillas similar a la que existe en el resto del municipio, junto con la recirculación periódica de gravas y arenas, siendo dragadas del tramo situado al norte de la nueva playa, para ser aportadas al sur de la misma.
- 4) En el proyecto de “Regeneración de la Playa al Sur del Puerto de Burriana, T.M. de Burriana (Castellón)” (CLOTHOS 2010), se diseñan y valoran las obras necesarias para la regeneración de la playa, desarrollando la solución adoptada en el Estudio de Alternativas previo, consistente en un dique recto perpendicular a la línea de costa, dispuesto para permitir una playa de 850 m de longitud.
- 5) En el informe “Evaluación Preliminar de Riesgos de Inundación en las Zonas Costeras de la Demarcación Hidrográfica del Júcar” (CEDEX 2010), se definieron las áreas con riesgo potencial significativo de inundación (A.R.P.S.I.), con el objetivo fundamental de realizar una evaluación preliminar del riesgo de inundación (E.P.R.I.).
- 6) En el proyecto “Regeneración Ambiental y Lucha Contra la Erosión Costera en la Playa de Benafeli, T.M. Almazora (Castellón)” (Iberport Consulting 2010), se contempla el acortamiento y reducción de la cota de coronación del dique exento norte, la ejecución de un espigón perpendicular en la situación del actual dique exento sur y la prolongación del espigón que limita el ámbito de actuación al sur. A su vez se considera la redistribución y recarga de material.
- 7) En el proyecto de “Mejora de la Accesibilidad y Protección de la Costa al Sur de Burriana (Castellón)” (TRAGSATEC 2010), se definen y valoran las obras necesarias para proteger el acceso litoral en un punto situado al sur del puerto de Burriana, así como en los tramos de costa adyacentes.
- 8) En el “Estudio de Soluciones y Desarrollo de la Alternativa Elegida de Restablecimiento de la Conexión entre la Marjal de Nules y el mar. TT.MM. de Burriana y Nules (Castellón)” (Iberport Consulting 2010), se persiguen dos objetivos. Por un lado posibilitar la conexión de la marjal con el mar, mediante la abertura de la actual defensa



longitudinal en cuatro puntos de la misma. Y por otro lado, llevar a cabo una revalorización ambiental y adecuación paisajística de la zona de la playa seca mediante la colocación de una pasarela peatonal paralela a la línea de costa y la regeneración del cordón dunar mediante plantación de vegetación autóctona.

- 9) En las reuniones entre los alcaldes de Castellón y los diferentes equipos técnicos, los objetivos fueron dobles, por un lado exponer los resultados más significativos del informe "Asistencia Técnica para el Estudio Integral de Alternativas de Actuación en el Tramo de Costa comprendido entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto" y por otro el de recoger las inquietudes y propuestas planteadas por los Ayuntamientos, para la mejora del citado informe.
- 10) En la "Elaboración de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo Requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la Costa Española" (KV Consultores 2013), se realizaron los planos en los que se describen las áreas con riesgo de inundación, desde el punto de vista poblacional, económico y medioambiental.

### **1.3.1 Proyecto de Recuperación Ambiental de las Playas de Almardá y Corinto en el T.M. de Sagunto (Valencia) (HIDTMA 1994)**

En el citado proyecto fue necesario adoptar una solución temporal para evitar erosiones y daños, que proporcionara la información necesaria para permitir en el futuro la adopción de medidas más permanentes.

La solución se basó en la alimentación periódica con un volumen de arena que compensase el déficit anual de sedimentos registrado en el tramo. Para lo cual se estimó necesario aportar un volumen de 100.000m<sup>3</sup>/año durante un período de tres años.

Debido a la barrera al paso de sedimentos que representa el Puerto de Siles, al producirse una creciente acumulación de arena en su lado norte, se decidió extraer la arena de un tramo comprendo entre el puerto de Siles y 1.200 m de costa al norte, para posteriormente verterlo en un tramo de costa a 500 m al sur, entre la Gola de Queralt y la de Estany.

### **1.3.2 Proyecto de Rehabilitación del Borde Marítimo en el Sur de Burriana (Castellón) (Juan Carlos Yuste Cotanda 1999)**

Dicho proyecto surgió como consecuencia de la regresión del tramo de costa, situado al sur del puerto de Burriana, debido fundamentalmente al corte de la dinámica litoral ocasionado por los espigones del puerto.

Con el objetivo de proteger las parcelas y edificaciones existentes, así como de mantener un mínimo de plataforma de playa utilizable para el baño, se realizó en el pasado una rigidización de la playa mediante la colocación de escollera en todo el frente marino.

Las principales obras que se contemplan en el ciato proyecto, para conseguir una recuperación de la zona y convertirla en un lugar adecuado para el disfrute público del entorno marino, han sido:

- Actuaciones en el camino de ribera:
  - Regularización de la solera y pavimentación del camino de ribera
  - Colocación del murete de cierre
  - Jardinería



- Mobiliario urbano
- Servicios e instalaciones
  
- Actuaciones en la zona entre el camino de ribera y la escollera existente:
  - Relleno con material filtrante
  - Relleno con arena
  - Formación de dunas
  - Plantación de especies autóctonas
  
- Actuaciones en la zona ubicada delante de la escollera
  - Limpieza de la zona
  - Recolocación de los elementos desplazados
  - Colocación de un manto de escollera de 6.000 Kg
  - Construcción de escaleras de hormigón que faciliten el acceso al mar

### **1.3.3 Proyecto de Lucha Contra la Erosión en las Playas del Término Municipal de Almenara, de Castellón (KV Consultores 2009)**

El proyecto surge como consecuencia de la tendencia regresiva de la costa de Almenara, que obligó a proteger un tramo de costa mediante escollera. A pesar de los aportes de arena periódicos, el tramo protegido por escollera tuvo que ser prolongado, ya que la tendencia erosiva continuaba hacia el sur. Por lo que fue necesaria la realización de algún tipo de actuación de protección costera.

Dados los condicionantes expuestos y las características del frente costero de Almenara, se optó por proponer una actuación que se divide claramente en dos tramos, y que combina actuaciones de rigidización de la costa con actuaciones de recirculación de material.

La construcción de la nueva playa encajada en el tramo norte provocaría la acumulación de material al norte de este tramo y la erosión al sur del mismo. Por esta razón, se procedió al dragado periódico del material acumulado al norte de la playa encajada, y a su aporte al sur de la nueva playa, manteniendo de forma artificial el flujo de sedimentos natural. Esta solución permite conservar el flujo de sedimentos sin realizar aportes externos como los que se han venido haciendo en los últimos años con material de origen terrestre.

Las obras consistieron en la creación de una nueva playa encajada entre 2 espigones que se prolongan hasta los 5 m de profundidad como máximo, conteniendo completamente el perfil de gravas, e impidiendo la mayor parte del transporte longitudinal de la arena natural de la unidad fisiográfica. La playa se creó mediante la aportación de grava de cantera de 20 mm de D<sub>50</sub>. La actuación se complementó con recirculaciones periódicas de arena que permitieron la continuidad del transporte litoral longitudinal en sentido norte-sur.

### **1.3.4 Proyecto de Regeneración de la playa al Sur del puerto de Burriana, T.M. de Burriana (Castellón) (CLOTHOS 2010)**

Este proyecto tiene por objeto el diseño, el cálculo, la definición y la valoración de las obras necesarias para la regeneración de la playa en el ámbito de estudio, desarrollando la solución adoptada.



Las alternativas estudiadas, se basan en el diagnóstico realizado sobre la dinámica litoral, centrándose en la tipología del dique de apoyo (cuasi-perpendicular a la costa) y acopio de arena para alcanzar el nuevo perfil de equilibrio.

El estudio seleccionó la Alternativa 1 como la más idónea para la recuperación de este tramo de costa, básicamente por las siguientes razones:

- Tratarse de la alternativa económicamente más viable, siendo las tres alternativas estudiadas factibles técnica y ambientalmente.
- Tratarse de un dique recto y de menor longitud que las restantes alternativas, considerándose “menos rígida”, con relación a una solución integral de la costa del municipio de Burriana.

Por todo ello, se plantea un dique recto perpendicular a la línea de costa, con una longitud de 258 m, dispuesto de modo que permita una playa de 850 m de longitud y un ancho mínimo de 45 m de playa seca.

### **1.3.5 Evaluación Preliminar de Riesgos de Inundación en las Zonas Costeras de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (CEDEX 2010)**

Este informe surge debido a la necesidad de conocer y evaluar las zonas de la franja litoral con riesgo de inundación y vulnerabilidad para las personas y bienes asentados en ella, lo que llevó a la UE a promover y elaborar la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación (traspuesta al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación), estableciendo un calendario de trabajos para ahondar en su conocimiento.

La definición de las áreas con riesgo potencial significativo de inundación (A.R.P.S.I.), constituyó el objetivo fundamental de la evaluación preliminar del riesgo de inundación (E.P.R.I.), ya que sobre ellas, se concentraron los esfuerzos de las dos fases siguientes: una primera centrada en la realización de mapas de peligrosidad por inundaciones y mapas de riesgo de inundación, y una segunda, basada en establecer unos planes de gestión del riesgo por inundación.

En dicho informe se delimitaron las zonas inundables, basándose en fundamentos científico-técnicos, y posteriormente se realizó una selección de las áreas con riesgo potencial significativo de inundación.

En la siguiente figura, se muestran, las áreas con riesgo de inundación, correspondientes al tramo de costa en estudio, detallándose con posterioridad en las figuras que las suceden.



Figura 1.1: Áreas con riesgo potencial significativo de inundación en Castellón (Fuente: CEDEX 2010)

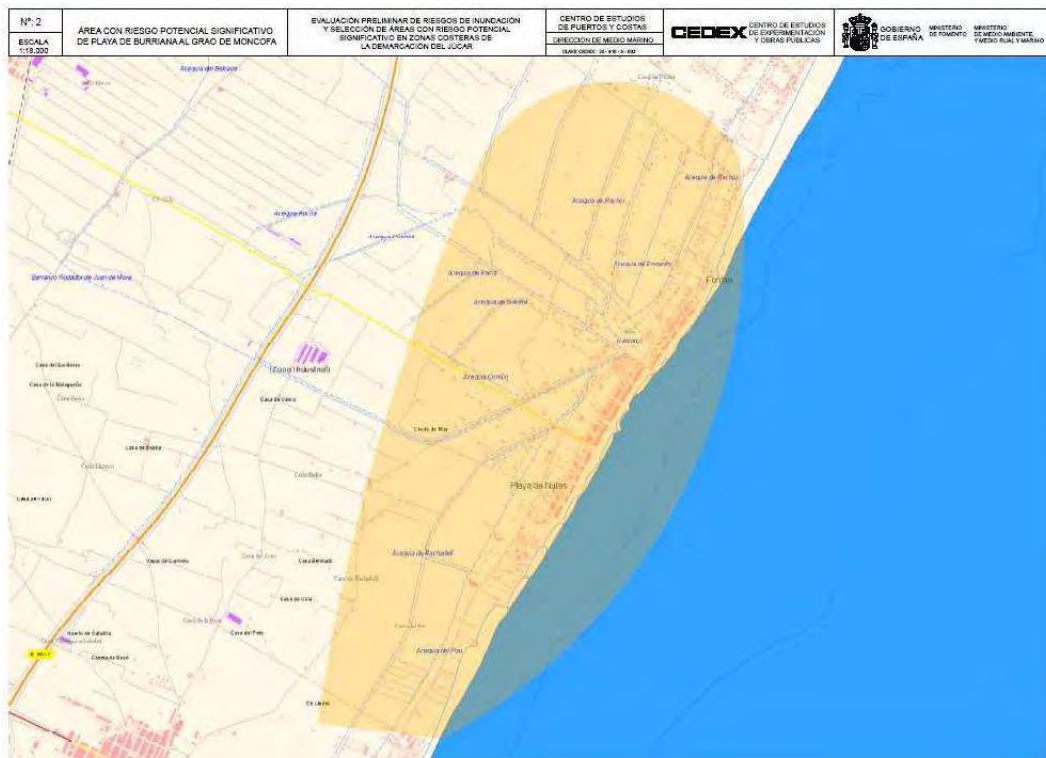


Figura 1.2: Área entre los municipios de Nules y Vall d' Uxo del informe "Evaluación preliminar de riesgos de inundación en las zonas costeras de la Demarcación Hidrográfica del Júcar" (CEDEX 2010)

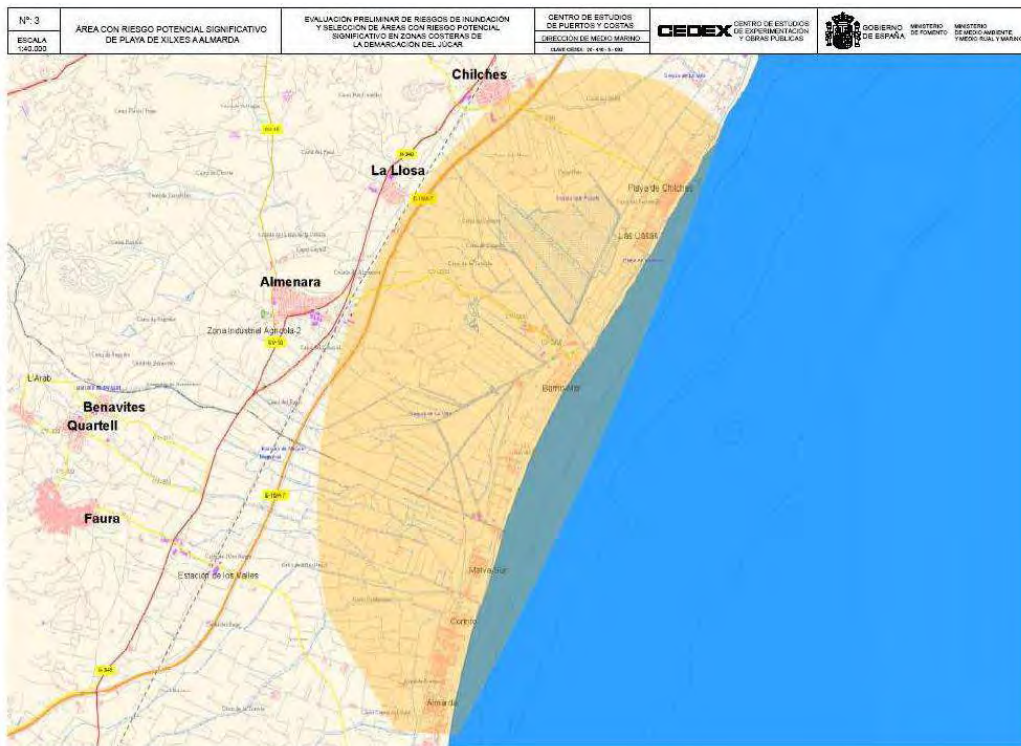


Figura 1.3: Área entre los municipios de Moncófar y Sagunto del informe “Evaluación preliminar de riesgos de inundación en las zonas costeras de la Demarcación Hidrográfica del Júcar” (CEDEX 2010)

### **1.3.6 Proyecto de regeneración ambiental y lucha contra la erosión en la playa de Ben Afelí, T.M. Almanzora (Castellón) (Iberport Consulting 2010)**

El objeto del proyecto es la definición, justificación y valoración de los elementos que configuran la obra, de los materiales de los que están compuestos y de los procesos constructivos a seguir para la regeneración ambiental de la playa de Benafeli localizada en el término municipal de Almanzora.

La actuación contemplada en el Proyecto define un sistema efectivo de estabilización de la playa, tanto desde el punto de vista del transporte longitudinal como del equilibrio transversal, para hacer de la playa un medio eficaz de defensa de la costa y un lugar de ocio y esparcimiento adecuado, con respecto al hábitat natural existente. Para ello consideró el acortamiento y reducción de la cota de coronación del actual dique exento norte, la ejecución de un espigón perpendicular (Espigón N1) en sustitución del actual exento sur y la prolongación del espigón que limita el ámbito de actuación al sur (Espigón N2). Además, se propuso la excavación y redistribución del material acumulado en el trasdós de los diques exentos para su utilización posterior como material de aporte del perfil de la nueva playa y la recarga del perfil de la playa en las tres celdas de actuación con material tipo grava de  $D_{50}=10$  mm.

Del análisis comparativo de las alternativas de diques transversales y de diques exentos, se dedujo que la actuación mediante diques transversales a la costa representa un mayor coste económico. La diferencia del coste de ejecución material se debió, principalmente, a la necesidad de la retirada total previa de los actuales diques exentos y a un mayor volumen de escollera para la construcción de los tramos sumergidos de los diques proyectados.

Sin embargo, esta solución presentó una serie de ventajas funcionales, sobretudo en la celda sur, donde actualmente se producen las mayores erosiones y la solución de diques transversales permite alcanzar un resguardo mínimo que alcanza los 30 m.

### **1.3.7 Proyecto de Mejora de la Accesibilidad y Protección de la Costa al Sur de Burriana (Castellón) (TRAGSATEC 2010)**

El tramo costero objeto de estudio viene sufriendo desde hace décadas una fuerte regresión a la que se hizo frente en los años setenta mediante un escollero longitudinal promovido por los propietarios de las viviendas situadas en su trasdós. El proceso erosivo al que se viene encontrando sometida la costa de Castellón se debe a la presencia de diversos puertos que suponen una barrera al transporte sólido litoral, así como a la disminución de material sedimentario procedente de los ríos y barrancos que desembocan al norte de la zona de estudio.

Al tratarse de una playa abierta al este, los oleajes más energéticos inciden directamente sobre este tramo costero, al no encontrar ningún obstáculo durante su propagación. Este hecho junto con la presencia del puerto de Burriana, la cual supone una barrera al transporte longitudinal de sedimentos, ha originado un fuerte proceso erosivo a lo largo de todo el tramo de costa ubicado al sur del puerto.

La rigidización del tramo de costa situado al sur del puerto, provoca la reflexión del oleaje incidente, lo que conlleva un aumento de las corrientes en la zona de rompientes próxima a la línea de costa.

Por ello se propone la construcción de una nueva obra de defensa, así como la creación de una plataforma de playa estable en el trasdós de esta estructura. Para solventar los problemas de accesibilidad a la costa, mediante infraestructuras que permiten el uso del litoral y que a su vez proporcionan una defensa eficaz de la franja costera, ya que definen un límite físico e incrementan su apreciación por parte del público.

### **1.3.8 Estudio de soluciones y desarrollo de la alternativa elegida de restablecimiento de la conexión entre la Marjal de Nules y el mar TT.MM. de Burriana y Nules (Castellón). (Iberport Consulting 2010)**

La Marjal de Nules ha experimentado un secular proceso de ocupación y transformación, acogiendo tanto el cultivo de cítricos como la concentración parcelaria, por lo que la humedad y lo pantanoso de antaño, supone hoy un inconveniente. Esta situación se ve agravada en condiciones de temporal ya que se producen fuertes inundaciones no existiendo en la zona salida directa de las aguas al mar.

Con el desarrollo del presente proyecto se persiguieron los siguientes objetivos:

- Posibilitar la conexión de la Marjal con el mar, mediante soluciones basadas en la abertura de la actual defensa longitudinal en cuatro puntos de la misma.
- Llevar a cabo una revalorización ambiental y adecuación paisajística de la zona de la playa seca, actualmente muy degradada, mediante la colocación de una pasarela peatonal que discurra en el trasdós de la playa seca, paralelamente a la línea de costa,



y la regeneración dunar con plantación de vegetación autóctona en el entorno de la misma.

Desde el punto de vista del diseño, el proyecto se ha dividido en dos partes diferenciadas:

- Obras para el restablecimiento de la conexión de la Marjal con el mar: Basadas en el establecimiento de los parámetros que determinan la planta y perfil de las 4 playas interiores que posibilitan la conexión de la Marjal con el mar, para cumplir los requisitos de funcionalidad y operatividad durante la vida útil de la obra.
- Obras para rehabilitación ambiental de la playa seca: Incluye el diseño y dimensionamiento de una pasarela litoral peatonal que recorre longitudinalmente la costa y la implantación de un sistema dunar a ambos lados de la misma.

### **1.3.9 Acta de reuniones en la Delegación del Gobierno de Castellón (2011)**

Todas las reuniones siguieron el mismo formato, en primer lugar se exponía el trabajo llevado a cabo tanto en su visión global como en la específica del Ayuntamiento objeto de revisión, posteriormente se daba respuesta a las preguntas formuladas por los técnicos del Ayuntamiento y finalmente se recogían los comentarios y propuestas de los Ayuntamientos.

Los comentarios y propuestas por orden cronológico de las reuniones realizadas, fueron:

Ayuntamiento de Sagunto:

- Que se impulse la extracción del banco exterior, en lugar de tomar arena de Sagunto.
- No hacer obras que cambien la fisonomía actual en la playa de Sagunto, en particular el dique exento de la playa.

Ayuntamiento de Canet de Berenguer:

- Que no se haga espigón de contención de arenas diseñado en el puerto de Siles.

Ayuntamiento de la Llosa:

- Que se lleve a cabo la alternativa tipo 3, esto es, playas encajadas estables sin mantenimiento.
- Dentro de las alternativas tipo 3, se prefiere la solución de playa de arena.
- Realizar un análisis detalle del desagüe de la Llosa.

Ayuntamiento de Chilches:

- No se desea la alternativa 1.1, esto es, solución “todo grava”.
- Actuar inmediatamente.
- Las soluciones de estabilización tipo tómbolo son más deseables que las de tipo espigón.
- El Ayuntamiento señalará lugares de interés para éstos tómbolos.

Ayuntamiento de Almenara:

- No desea arena, se prefiere grava.
- Si se plantea alternativa 2, desea 2.3, esto es que el dique de separación lo más al sur posible.
- A lo demás, “estaremos en frente, salvo que sea con espigones.”
- Se desea como solución específica de Almenara, la recogida en el proyecto KV.

#### Ayuntamiento de Nules:

- No es necesario (prioritario) que las playas sean de arena.
- Diseñar diques exentos en zonas estratégicas.
- Que se analice el estudio de obras hidráulicas propuestas por la demarcación hidrográfica.

### **1.3.10 Elaboración de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo Requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la Costa Española (KV Consultores 2013)**

Tras realizar en una primera fase una evaluación preliminar del riesgo de inundación (E.P.R.I.), mediante la definición de áreas con riesgo potencial significativo de inundación (A.R.P.S.I.), se elaboraron los Mapas de Peligrosidad y Riesgo, con el objetivo de servir de instrumento para la Gestión de las Zonas Inundables, que se clasificaron según:

- Riesgo de inundación costera T= 10 años
  - Riesgo a la población
  - Riesgo a las actividades económicas
  - Riesgo en puntos de especial importancia
  - Áreas de importancia medioambiental
- Riesgo de inundación costera T= 100 años
  - Riesgo a la población
  - Riesgo a las actividades económicas
  - Riesgo en puntos de especial importancia
  - Áreas de importancia medioambiental
- Riesgo de inundación costera T= 500 años
  - Riesgo a la población
  - Riesgo a las actividades económicas
  - Riesgo en puntos de especial importancia
  - Áreas de importancia medioambiental

Las principales zonas con riesgo potencial de inundación, correspondientes a la zona comprendida entre el puerto de Castellón y el puerto de Sagunto, se indican en la siguiente figura.



Figura 1.4: Localización de las ARPSI en la zona de estudio (Fuente: Elaboración de los Mapas de peligrosidad y Riesgo requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la costa española. KV Consultores)

La metodología seguida se fundamentó en la aplicación del Software iOle, desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, con el objetivo de calcular la ley de frecuencias de marea y el alcance del oleaje, para los períodos de retorno indicados, con paso de 200 m, en toda la costa española.

Todo ello permitió la elaboración de los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación, con suficiente precisión a lo largo del litoral español, fundamentalmente gracias a la combinación de cuatro aspectos:

- Las bases de datos de oleaje y nivel del mar generadas en el marco del proyecto C3E, que representan las dinámicas marinas en todo el litoral español.
- El modelo numérico bidimensional IH-2VOF, que resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes, utilizado para simular los procesos de inundación costera.
- La administración de la gran cantidad de información utilizada mediante técnicas estadísticas de clasificación.
- La integración de toda la información generada mediante Sistemas de Información Geográfica SIG.

A continuación, como se aprecia en las siguientes figuras, se incluyen los mapas de peligrosidad y riesgos tanto económicos como ambientales, para  $T = 100$  años, en la playa de Nules.





Figura 1.5: Mapa de peligrosidad para T=100 años en la playa de Nules (Fuente: Elaboración de los Mapas de peligrosidad y Riesgo requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la costa española. KV Consultores)



Figura 1.6: Mapa de riesgos económicos para T=100 años en la playa de Nules (Fuente: Elaboración de los Mapas de peligrosidad y Riesgo requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la costa española. KV Consultores)



CEDEX

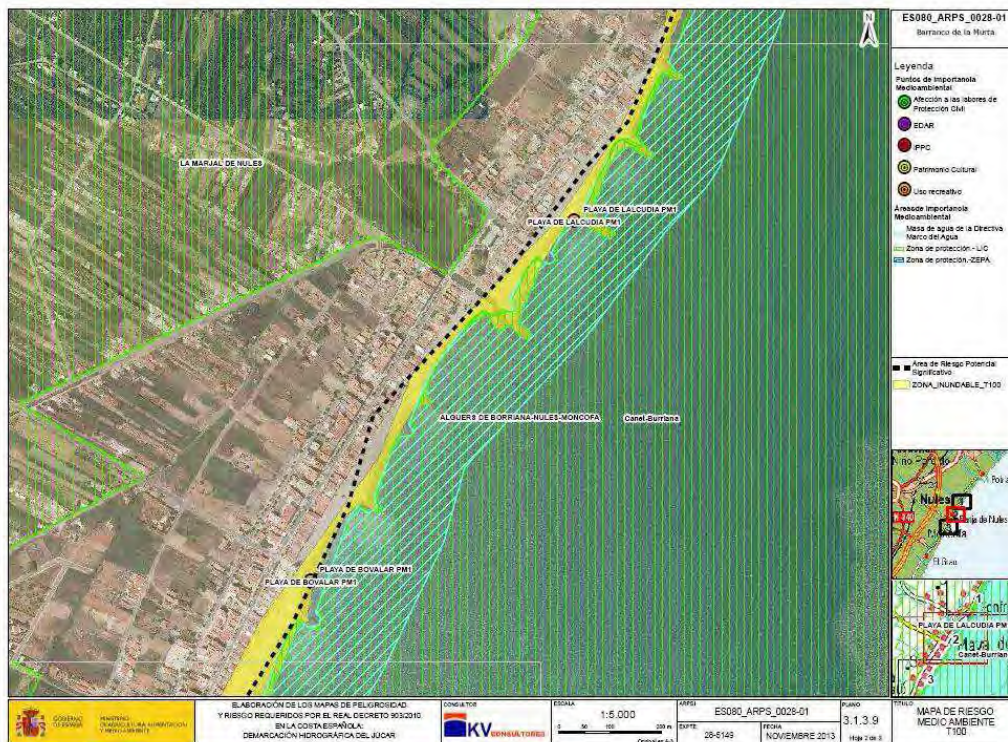


Figura 1.7: Mapa de riesgos ambientales para T=100 años en la playa de Nules (Fuente: Elaboración de los Mapas de peligrosidad y Riesgo requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la costa española. KV Consultores)

#### 1.4 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO PARA LA ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN

La Estrategia de Actuación para la costa situada entre los puertos de Castellón y Sagunto se ha hecho considerando las zonas en que se fragmenta la costa para este fin. Se analizan las soluciones y condicionantes que los diversos trabajos técnicos presentan sobre estas costas. Se estudia el impacto que puede tener el efecto del cambio climático. El penúltimo de los pasos es presentar una serie de propuestas de actuación en cada uno de los sectores que se ha dividido la costa. Y, finalmente, se proponen unas fases de realización, con las prioridades que cada una de las actuaciones tiene.

Los trabajos encaminados a la propuesta para la Estrategia de Actuación en la costa situada entre los puertos de Castellón y Sagunto se basan principalmente en:

- “Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa” (2007). Proyecto realizado por la empresa TYPASA, para la Dirección General de Costas. **(TYPASA 2007)**.
- “Asistencia técnica para el estudio integral de alternativas de actuación en el tramo de costa entre el puerto de Burriana y el puerto de Sagunto”. Informe realizado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. **(IH Cantabria 2009)**.

Las líneas de trabajo se han esbozado en los últimos capítulos del informe previo de la costa situada entre los puertos de Castellón y Sagunto para esa Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar en septiembre de 2013:

- Estrategia de actuación del tramo comprendido entre el puerto de Castellón y el puerto de Sagunto (Informe parcial) (clave CEDEX: 22-410-5-001).

Además se tendrán en cuenta las diversas propuestas de actuaciones que los trabajos presentados en el apartado anterior muestran.

## 1.5 ESTRUCTURA DEL INFORME TÉCNICO

Como se ha indicado en el primer apartado del capítulo, este trabajo se ha dividido en dos fases:

**Fase I:** Definición y recopilación de la información existente con el análisis de las actuaciones que se han realizado, caracterizando morfológicamente la costa, analizando su dinámica litoral y evolución, y detectando las zonas con problemas y las variables que los definen.

**Fase II:** Se proponen las actuaciones, se priorizarían estas y se marcarían los ritmos de ejecución.

Para una mayor comprensión del problema abordado en este informe técnico correspondiente a la primera fase, se ha dividido en los siguientes capítulos, junto al presente capítulo introductor:

**Capítulo 1:** Es éste de introducción; en el que se indican los objetivos que se han marcado; se presenta el resumen y conclusiones a las que se ha llegado en el informe parcial anterior; se actualizan los datos de la costa situada entre los puertos de Castellón y Sagunto; y se muestra la metodología que se va a seguir en el presente informe.

**Capítulo 2:** Dedicado a la zonificación de la costa situada entre los puertos de Castellón y Sagunto de cara a la propuesta de actuaciones para la mejora de las playas; se indican los condicionantes que deben poseer estas propuestas; y, finalmente, se presentan las propuestas de actuaciones que contienen trabajos anteriores para estas costas.

**Capítulo 3:** Se dedica a analizar los efectos esperables del cambio climático en las playas del Maresme.

**Capítulo 4:** Presenta los tipos de alternativas de actuación que pueden aplicarse en estas costas

**Capítulo 5:** Presenta la propuesta de actuaciones en el tramo entre los puertos de Castellón y Burriana.

**Capítulo 6:** Presenta la propuesta de actuaciones en el tramo entre los puertos de Burriana y Sagunto.

**Capítulo 7:** Trata de dar las pautas de actuación en el tiempo, priorizando las fases de realización de estas.

**Capítulo 8:** Dedicado a las conclusiones a las que se llega en este informe.



## **2. ZONIFICACIÓN PARA LA ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN**

Este capítulo está dedicado a presentar las diferentes variables que condicionan las propuestas de actuación para la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto. En primer lugar se presentan las consideraciones previas, condicionantes sociales en gran medida. En segundo lugar se muestra cómo se ha compartimentado la costa de acuerdo con diferentes variables, especialmente siguiendo los sistemas litorales o unidades fisiográficas. En tercer lugar se presentan los condicionantes con los que se debe trabajar para plantear las actuaciones necesarias para la mejora del frente de costa entre los puertos de Castellón y Sagunto. Y finalmente, en cuarto lugar se pasa a dar un repaso de las diversas propuestas de actuación que se han ido haciendo a lo largo del tiempo en los diversos informes y trabajos realizados para este mismo fin.

### **2.1 CONSIDERACIONES PREVIAS**

La estrategia de actuación en la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto viene condicionada por una serie de variables sociales y de desarrollo litoral. Desde ese punto de vista deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

La costa comparte básicamente dos actividades: Turística y agrícola. A ellas se unen las actividades propias de los grandes puertos, en el caso concreto que nos ocupa, se centran en los puertos de Castellón y Burriana, ya que las actividades aledañas al puerto de Sagunto se hallan al sur. En el caso de Burriana debe unirse el efecto del puerto a lo largo del tiempo que ha erosionado tan profundamente la costa al sur que la antigua carretera desapareció; reduciéndose la conexión entre el norte y sur del puerto.

Las localidades que tienen frente costero en este tramo tienen cada vez más actividad turística relacionada con la playa; incrementándose la demanda de playas con unos niveles de calidad propios de ella.

El sedimento de las playas era originariamente de arena con gravas; con un cordón litoral de grava y arena y un frente de arena y, ocasionalmente, grava. La continuada erosión ha hecho desaparecer la fracción pequeña, quedando solamente las gravas; pero, además, ha hecho desaparecer en muchos casos esas motas o cordones litorales que se ha tenido que regenerar o sustituir por continuos frentes de diques de escollera. Ello hace que las futuras actuaciones estén condicionadas por ello, junto a la intensa dinámica litoral existente en él.

### **2.2 ZONIFICACIÓN DE LAS ACTUACIONES**

El primer paso para plantear una estrategia de actuaciones en la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto es dividirla en tramos y sub tramos, de tal forma que cada uno de ellos tenga una homogeneidad de usos y estructura de la costa y una dinámica litoral dependiente; lo que obliga a intersección de las cualidades de ambas.

La costa en estudio está formada por dos grandes unidades fisiográficas, o sistemas litorales, que se encuentran limitados por los tres grandes puertos: De Castellón, Burriana y Sagunto. Estas unidades se las ha denominado: Unidad Fisiográfica Norte (entre los puertos de Castellón y Burriana) y Unidad Fisiográfica Sur (entre los puertos de Burriana y Sagunto).

Dentro de cada una de las unidades fisiográficas anteriores existen sub unidades que tienen la característica de tener una dinámica litoral similar. Estas sub unidades son:

1 - Unidad Fisiográfica Norte (entre los puertos de Castellón y Burriana)

- 1.1- Puerto de Castellón-río Mijares
- 1.2- Río Mijares-puerto de Burriana
  
- 2 - Unidad Fisiográfica Sur (entre los puertos de Burriana y Sagunto)
  - 2.1- Puerto de Burriana-playa de Casablanca (Almenara)
  - 2.2- Playa de Casablanca (Almenara)-puerto de Canet de Berenguer
  - 2.3- Puerto de Canet de Berenguer-puerto de Sagunto



Figura 2.1: Zonificación de la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto

El delta del río Mijares forma una barrera parcial al transporte y dinámica litoral, habitual en este tipo de formas morfológicas. La playa de Casablanca tiene la particularidad que es un elemento de transición entre dos alineaciones de la costa, variando repentinamente la dinámica litoral. El puerto de Canet de Berenguer, Puerto Siles, es una barrera parcial al paso de



sedimentos; encontrándose en la actualidad prácticamente colmatado el apoyo que hace el dique del puerto que sostiene un triángulo acumulativo importante.

### 2.3 CONDICIONANTES DE LAS ACTUACIONES

El mayor condicionante de cualquier actuación que se plantee en este frente es la intensa actividad de la dinámica litoral que hace transmitir los efectos de cualquier acción en el litoral de manera rápida e intensa. Por ello, esta circunstancia hace que no se pueda actuar de manera aislada en todo el tramo sino debe plantearse su realización, al menos, por subunidades en conjunto.

La misma actividad en el transporte de sedimentos hace que se deba ser muy prudente en la elección del tipo de estructura de defensa a diseñar o reformar y del tipo de sedimento a verter.

El actual estado de compartimentación de la costa, unido a la reducción de los aportes de sedimentos de los ríos y el sistema de aportación de ellos, hace que exista un importante déficit sedimentario en las fuentes y distribución de los sedimentos, por lo que la gestión de estos y el inventario de necesidades de aportes exteriores condiciona cualquier actuación.

Estos principios anteriores chocan, en ocasiones, con las necesidades que los municipios tienen de sus playas y estado de ellas; por ello existe una condición territorial que debe compaginar con las anteriores; ya que la acción sobre un municipio se dejará sentir en el aledaño y en el más alejado de su sector.

### 2.4 ESTUDIOS ANTERIORES CON PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

En este apartado se indican las actuaciones planteadas en la costa de Castellón de los anteriores trabajos realizados, para diferentes autoridades.

#### 2.4.1 Informe realizado por el CEDEX (1997)

El informe "Asistencia técnica para la preparación de pliegos de gestión integral de la costa de Castellón" se centra, en primer lugar, en el desarrollo metodológico para llevar a término la Gestión Integral de la Costa, y en segundo lugar, en la preparación de los pliegos para la contratación de los estudios, informes y anteproyectos necesarios para el desarrollo de la Gestión Integral de la costa de Castellón. En él se hace referencia a las actuaciones propuestas en la elaboración de varios trabajos previos.

- 1) Alternativa de actuación 1: Formación de perfil dunar y su mantenimiento por trasvase de arenas.
- 2) Alternativa de actuación 2: Playas urbanas con paseo marítimo y en el resto de la costa mantenimiento de la situación actual.
- 3) Alternativa de actuación 3: Regeneración con realimentación regular de las playas para el mantenimiento de la línea de costa.
- 4) Alternativa de actuación 4: Playas urbanas encajadas y dique longitudinal de escollera en el resto.

## 2.4.2 Informe realizado por IH Cantabria (2011)

El informe “Asistencia técnica para el estudio integral de alternativas de actuación en el tramo de costa comprendido entre el puerto de Burriana y el puerto de Sagunto” surge debido a los severos problemas de erosión que afectan tanto a zonas habitadas como a espacios naturales, en el tramo de costa entre los puertos de Burriana y Sagunto. A su vez, se establecieron tres escalas o divisiones, que dieron lugar a las tres principales líneas de actuación, presentando cada una de ellas, a su vez, algunas variantes:

### 1) Alternativa 1: una unidad fisiográfica.

Que constituye toda la zona de estudio, desde el puerto de Burriana hasta el puerto de Sagunto. En la que se propusieron a su vez dos variantes:

- Alternativa 1.1: Mantenimiento periódico mediante aporte de gravas.
- Alternativa 1.2: Relleno inicial masivo de arenas y mantenimiento periódico mediante aporte y dragado de arenas.

### 2) Alternativa 2: dos sectores.

Que surgieron debido a la presencia de dos tipos de playas, las de perfil mixto grava-arena al Norte y las constituidas sólo por arena al Sur. A su vez, se propuso su separación física mediante la construcción de un espigón, de longitud tal que garantizase la interrupción total del transporte de sedimentos. La localización de este espigón en tres ubicaciones distintas, constituyó las tres variantes de esta alternativa:

- Alternativa 2.1: Al Norte de la Gola de la Llosa.
- Alternativa 2.2: Entre la Gola de la Llosa y la Gola de Queralt.
- Alternativa 2.3: En la Gola del Estany de Quartell.

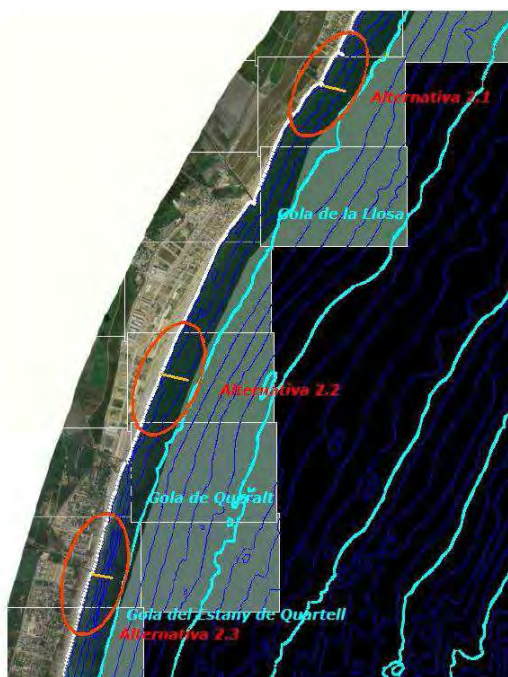


Figura 2.2: Situación de las variantes de la alternativa 2 (Fuente: IH Cantabria)

### 3) Alternativa 3: siete tramos.

Burriana, Nules, Moncófar, Chilches, Almardá, Almenara y Sagunto, de la que surgieron dos variantes:

- Alternativa 3.1: Restablecimiento del equilibrio dinámico en cada tramo mediante aporte y dragado periódico de sedimentos.
- Alternativa 3.2: Creación de playas en equilibrio estático mediante un aporte inicial de arenas y la construcción de espigones, de similares características al descrito en la alternativa 2.



Figura 2.3: Diferentes actuaciones entre la playa de Almardá y el Puerto Siles. (Fuente: IH Cantabria)

#### 2.4.3 Estudio realizado por IBERPORT CONSULTING (2010)

En el “Estudio de soluciones y desarrollo de la alternativa elegida de restablecimiento de la conexión entre la Marjal de Nules y el mar”, se plantearon las siguientes alternativas de actuación:



- Alternativas para el restablecimiento de la conexión con el mar:
  - Alternativa 1: Conexión con creación de playas interiores
  - Alternativa 2: Batería de exentos con baja cota de coronación y tómbolos
  - Alternativa 3: Batería de exentos con baja cota de coronación y salientes
  - Alternativa 4: Batería de exentos sumergidos
  - Alternativa 5: Diques de abrigo
- Alternativas de mejora y rehabilitación ambiental de la playa seca:
  - Alternativas de trazado de la pasarela peatonal

#### **2.4.4 Proyecto realizado por IBERPORT CONSULTING (2010)**

El “Proyecto de regeneración ambiental y lucha contra la erosión en la playa de Benafeli, T.M. Almazora (Castellón)” desarrolla un análisis de las siguientes alternativas de actuación:

- Alternativa 1: Espigón recto parcialmente sumergido al sur
- Alternativa 2: Espigones transversales a la costa
- Alternativa 3: Espigones transversales a la costa parcialmente sumergidos
- Alternativa 4: Espigones transversales proyectados en dos tramos
- Alternativa 5: Dos diques exentos con formación de tómbolos
- Alternativa 6: Tres diques exentos con formación de salientes
- Alternativa 7: Espigones transversales y exento central

Considerando como solución de proyecto una nueva alternativa, Alternativa 8, consistente en una actuación mixta de diques exentos y diques transversales que contempla la modificación del existente dique exento norte, la ejecución de un espigón perpendicular a la costa en sustitución del dique exento sur y la prolongación del actual espigón que limita el ámbito de actuación al sur.

#### **2.4.5 Proyecto realizado por CLOTHOS (2010)**

En el proyecto “Regeneración de la playa al Sur del puerto de Burriana, T.M. de Burriana (Castellón)” se plantearon cuatro alternativas actuación:

- Alternativa 0: No actuar sobre el frente litoral.
- Alternativa 1: Construcción de un dique abrigo perpendicular recto y aporte de arena para la formación de un playa apoyada.



Alternativa 2: Construcción de un dique abrigo recto con su morro quebrado y aporte de arena para la formación de una playa apoyada.

Alternativa 3: Construcción de un dique abrigo recto con su morro curvo y aporte de arena para la formación de una playa apoyada.

### **3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS COSTAS DE CASTELLÓN**

Para analizar los efectos esperables del cambio climático en el tramo de costa en estudio, en primer lugar, se detallan los estudios que recogen esta información, en segundo lugar, se realiza un análisis general y en tercer lugar, se describe la respuesta de la costa y los valores medios.

#### **3.1 ESTUDIOS QUE SE OCUPAN DE ELLO**

Los estudios que se ocupan de los efectos del cambio climático, y como caso particular, de los efectos en las costas de Castellón, son:

- 1) Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático: es el marco general de referencia para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático.
- 2) Impactos en la Costa Española por Efecto del Cambio Climático: cuya finalidad es establecer políticas y estrategias de actuación en las costas españolas ante el cambio climático.
- 3) Elaboración de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la Costa Española: con la finalidad de servir como instrumento adecuado para la posterior Gestión de las Zonas Inundables.
- 4) Volumen II del Quinto Informe de Evaluación relativo a Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad frente al cambio climático: que analiza entre otros los impactos en las costas, proporcionando información objetiva, clara, equilibrada y neutral del estado de conocimientos sobre el cambio climático.

#### **3.2 ANÁLISIS GENERAL**

El análisis general de los efectos del cambio climático en las costas de Castellón, considera como fuente, los principales estudios que se ocupan de ello, indicados en el apartado anterior.

##### **3.2.1 Análisis considerando el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático**

Una primera fuente de información a tener en cuenta para analizar los efectos del cambio climático en las costas de Castellón, es el documento denominado “Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático”, que sirve como marco general de referencia para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, realizado por una serie de instituciones y grandes grupos españoles, para la Oficina Española de Cambio Climático.

Entre los sectores o sistemas que contempla y líneas de actuación, se encuentran las zonas costeras, con una estimación subjetiva del horizonte de planificación para la adaptación, comprendida entre 10 y 100 años.



Según el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, los principales problemas del cambio climático en las zonas costeras se relacionan con potenciales cambios en la frecuencia y/o intensidad de las tormentas así como con el posible ascenso del nivel medio del mar (NMM).

Con relación a las zonas costeras próximas a Castellón indica: “En las costas bajas (deltas, humedales costeros y zonas de uso agrario o construidas en el entorno de estuarios o en llanuras aluviales costeras), ese escenario de ascenso del NMM podría implicar una inundación de las mismas”.

Destaca como hecho importante la elaboración del proyecto de investigación, sobre los impactos en la costa española por efecto del cambio climático, promovido por el Ministerio de Medio Ambiente, que se considera con posterioridad. Y que sirve de base para el desarrollo de las líneas de actuación del Plan Nacional de Adaptación en las zonas Costeras, cuyas líneas de trabajo principales se indican a continuación.

- Desarrollo de modelos de respuesta morfodinámica y ecológica de las principales unidades de la costa española, bajo distintos escenarios de cambio climático.
- Cartografía de la vulnerabilidad de la costa española frente al ascenso del NMM bajo distintos escenarios de cambio climático: Identificación, delimitación e inventario de las áreas y elementos más vulnerables por el ascenso del nivel del mar, y valoración ecológica de los mismos.
- Evaluación de las estrategias de abandono y retroceso, o de protección, frente a distintos escenarios de ascenso del NMM.
- Evaluación de las opciones de adaptación mediante actuaciones sobre factores relacionados con la estabilidad del litoral, como el mantenimiento de descarga y aportes sólidos de los ríos, como solución al «origen» del problema (la falta de material sedimentario).
- Como solución a los «síntomas» del problema (retroceso o movilidad excesiva de la costa) evaluación de potenciales actuaciones para favorecer la estabilización de playas y dunas, la construcción de obras para delimitar la capacidad de transporte del oleaje incidente y las aportaciones artificiales de sedimentos.

### **3.2.2 Análisis considerando los Impactos en la Costa Española por efecto del Cambio Climático**

Una segunda fuente de información a tener en cuenta a la hora de estudiar los tramos que potencialmente pueden tener problemas en el futuro, es el efecto del cambio climático que, en este contexto, es previsible afecte a las costas de Castellón. El análisis que de ello se realiza se ha hecho utilizando, como fuente primordial y principal, el proyecto realizado por la Universidad de Cantabria para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar: “Impactos en la costa española por efecto del cambio climático”; realizado en tres fases: Fase I. Evaluación de cambios en la dinámica costera española; Fase II. Evolución de efectos en la costa española; Fase III. Estrategias frente al cambio climático en la costa.

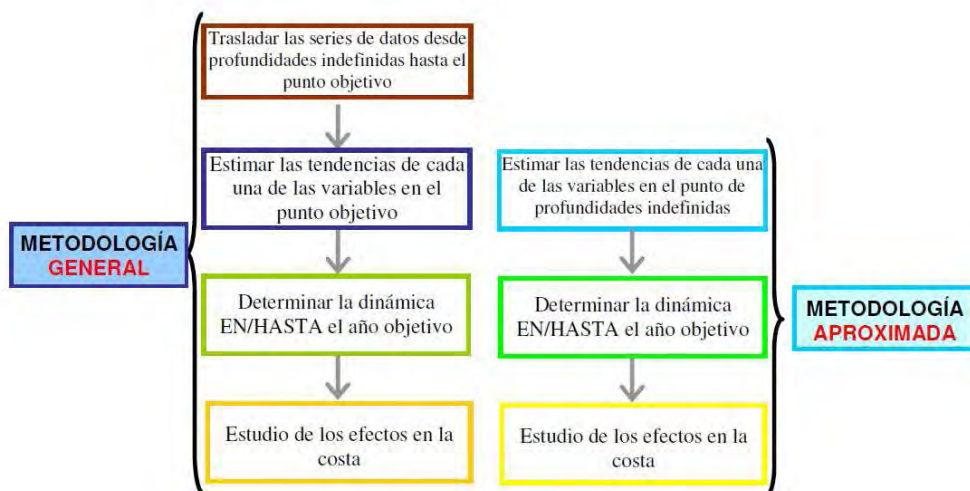


Figura 3.1: Esquema metodológico para la evaluación del efecto del cambio climático en las costas españolas (Universidad de Cantabria – Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

La metodología usada en este proyecto es la misma que se va utilizar en este informe, y se resume en la figura adjunta; si bien, al tratarse de un tramo de costa tan amplio, solamente se entrará a estudiar de manera general aproximada; indicando los tramos con mayor incidencia.

El horizonte de análisis del Proyecto citado es el año 2050; por lo que éste es el que se usará para la evaluación de los efectos del cambio climático en la costa.

Las predicciones hechas sobre el ascenso que se puede producir en el nivel del mar se resumen en la figura adjunta, tomada del citado Proyecto, proveniente del tercer informe del Panel Intergubernamentales de Cambio Climático (IPCC).

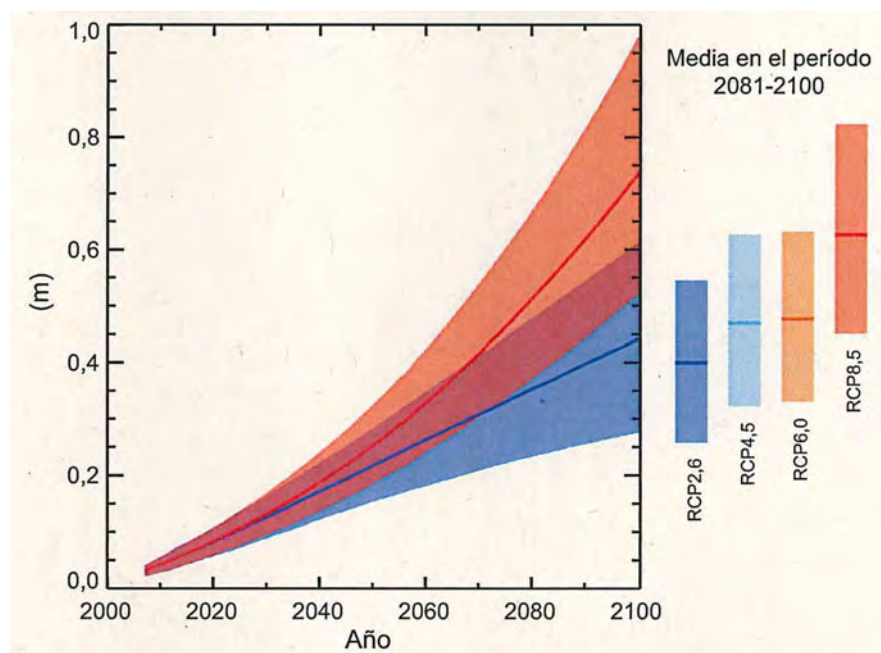
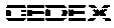


Figura 3.2: Variaciones del nivel medio global del mar (Quinto informe de Evaluación del IPCC)



Según este gráfico, la subida del nivel del mar se estima aproximadamente entre 0,98 y 0,52 m en el año 2100 (para el escenario de emisión RCP 8,5). Y aproximadamente entre 0,61 y 0,27 m (para el escenario de emisión RCP 2,6). Siendo estas cifras, en el año 2050 de aproximadamente 0,18 y 0,33 m en el año 2100 (para el escenario de emisión RCP 8,5). Y aproximadamente entre 0,15 y 0,28 m (para el escenario de emisión RCP 2,6). Las medidas dadas por el IPPC (2001) para el siglo XX indicaban una tasa de elevación entre 1 y 2 mm/año; aunque esta velocidad podría ser mayor, cifrándola algunos autores en 2,5 mm/año (Marcos et al. 2004).

El análisis teórico de los posibles efectos del cambio climático en el litoral español debe distinguir los diversos tipos de estructuras, contemplándose:

- Playas
- Dunas
- Estuarios, humedales y lagunas
- Obras marítimas

En este marco, el análisis del efecto del cambio climático en las costas de Castellón no se contempla para las obras marítimas. Las variables más importantes que producen los efectos principales en las playas, dunas y estuarios se contemplan en las tablas de las figuras adjuntas, proveniente de este estudio y presentación del Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria.

ELEMENTO MORFOLÓGICO	ELEMENTOS ANALIZADOS	OLEAJE				NIVEL DEL MAR	MAREA METEOROLÓGICA
		REGIMEN MEDIO		EXTREMAL			
		$\Delta H_{112}$	$\Delta H_{RMS}$	$\Delta \theta$	$\Delta H_{1,T=50 \text{ años}}$	NM	$\Delta MM$
PLAYAS	COTA DE INUNDACIÓN				POSIBLE AUMENTO COTA DE INUNDACIÓN	POSIBLE AUMENTO COTA DE INUNDACIÓN	POSIBLE AUMENTO COTA DE INUNDACIÓN
	PERFIL	AUMENTO PROFUNDIDAD DE CORTE. POSIBLE RETROCESO EN PLAYAS COLMATADAS				RETROCESO PLAYA	
	FORMA EN PLANTA			BASCULAMIENTO PLAYAS. POSIBLE RETROCESO		CAMBIO EN TÓMBOLOS, SALIENTES Y DOBLES SALIENTES	
	TRANSPORTE LITORAL		VARIACIÓN CAPACIDAD DE TRANSPORTE	VARIACIÓN CAPACIDAD DE TRANSPORTE			

Figura 3.3: Efecto del cambio climático sobre las playas y variables en juego (Universidad de Cantabria – Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

		VIENTO		NIVEL DEL MAR
		REGIMEN MEDIO		
ELEMENTO MORFOLÓGICO	ELEMENTOS ANALIZADOS	$\Delta U_{RMS}$	$\Delta \theta$	NM
DUNAS	TRANSPORTE EÓLICO	VARIACIÓN TASA DE CRECIMIENTO	VARIACIÓN TASA DE CRECIMIENTO	
	EROSIÓN DUNAR			RETROCESO DUNAR

Figura 3.4: Efecto del cambio climático sobre las dunas y variables en juego (Universidad de Cantabria – Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

		OLEAJE	NIVEL DEL MAR	CAUDAL MEDIO RÍO
		REGIMEN MEDIO		
ELEMENTO MORFOLÓGICO	ELEMENTOS ANALIZADOS	$\Delta H_{RMS}$	NM	$V_r$
ESTUARIOS	PRISMA DE MAREA		POSIBLE AUMENTO DEL PRISMA DE MAREA	
	SECCIÓN DE EQUILIBRIO		POSIBLE AUMENTO DEL ÁREA DE EQUILIBRIO	
	BAJO EXTERIOR	CAMBIO EN LA FORMA Y POSICIÓN DEL BAJO	POSIBLE AUMENTO DEL VOLUMEN DEL BAJO	
	PLAYA ADYACENTE		RETROCESO ADICIONAL POR EL DEFICIT DE ARENA EN EL BAJO EXTERIOR	
	CIRCULACIÓN ESTUARINA		POSIBLE CAMBIO EN EL TIPO DE CIRCULACIÓN	POSIBLE CAMBIO EN EL TIPO DE CIRCULACIÓN
	EXTENSIÓN CUÑA SALINA		AUMENTO DE LA EXTENSIÓN DE LA CUÑA	DISMINUCIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LA CUÑA

Figura 3.5: Efecto del cambio climático sobre los estuarios y variables en juego (Universidad de Cantabria – Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

### 3.2.3 Análisis considerando la Elaboración de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la Costa Española

Una tercera fuente de información a tener en cuenta para analizar los efectos del cambio climático en las costas de Castellón, es el trabajo denominado “Elaboración de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la Costa Española”, en el que se estudian las zonas costeras con riesgo de inundación; pero no se ha hallado referencia clara al uso de la variación del nivel del mar debido al cambio climático, por lo que no se ha utilizado para caracterizar este efecto en las costas de Castellón.

### 3.3 RESPUESTA DE LA COSTA Y VALORES MEDIOS

La futura respuesta del perfil de playa, habitualmente se determina aplicando la llamada regla de Bruun (Bruun 1962), que a grosso modo cada mm es una pérdida de 25 cm. El volumen de arena por unidad de longitud, AB, se obtiene por la erosión del perfil. El retroceso de la orilla, X, se determina por un balance sedimentario entre el volumen AB con el área entre los dos perfiles. Esta área está dada por  $X(h+d)$  y representa la cantidad de arena necesaria para restablecer el perfil original. Igualando los dos volúmenes da:

$$\Delta X = \frac{A \cdot B}{(h + d)} = \frac{A}{\tan \theta}$$

Esto es, en forma sencilla: La pérdida de anchura de playa sería igual a la distancia de la profundidad de cierre por la subida del nivel del mar y todo ello dividido por la profundidad de cierre a la costa. Por tanto: conociendo la profundidad de cierre (CEDEX 2012), la pendiente media de la playa y la elevación del nivel del mar se puede estimar cual es el retroceso de la playa debido a este concepto.

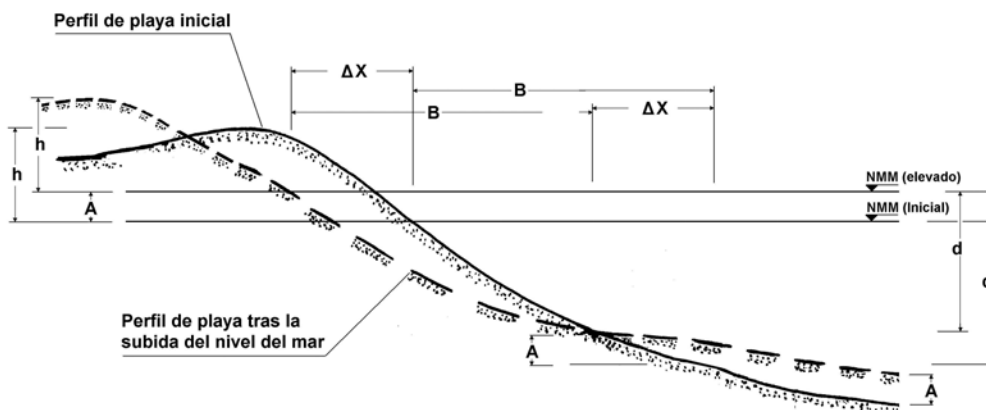


Figura 3.6: Regla de Bruun, variables según Bruun (1962)

Otros autores como Kriebel y Dean (1993) aplican este mismo concepto.

El retroceso de la línea de agua hacia la tierra que se produce en la playa, debido a la sobreelevación y cambio de perfil correspondiente vendría dado por la siguiente expresión.

$$R_{\infty} = \frac{S \left( x_b - \frac{h_b}{m} \right)}{B + h_b - \frac{S}{2}}$$

Con:



$$x_b = x_0 + \left(\frac{h_b}{A}\right)^{\frac{3}{2}}$$

Para condiciones de temporal severo, donde  $h_b$  es grande,  $x_0$  es prácticamente 0 y

- $h_b$  = Profundidad en rotura
- S = set-up
- B = Altura de berma
- $R_\infty$  = retranqueo de la playa en temporal
- m = Pendiente de la playa
- A = Parámetro de Dean =  $2'25 (w^2/g)^{1/3}$
- w = Velocidad de caída del sedimento.

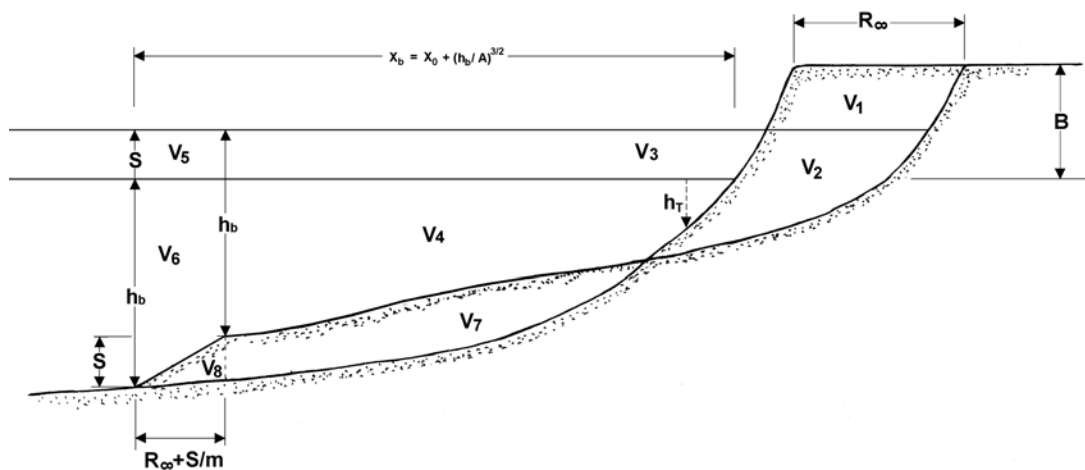


Figura 3.7: Esquema de modificación de un perfil con berma en pendiente para un temporal con una sobreelevación S, según Kriebel y Dean (1993)

Aplicando de manera sencilla la expresión de la regla de Bruun (1962). Tomando como valor de la profundidad de cierre a largo término, el obtenido en el informe del CEDEX (2012), de 10 m (PdC), para la playa del Grao de Burriana. Suponiendo una profundidad de cierre, a largo término, similar en las playas consideradas: La Torre, Norte de Burriana, Grao de Burriana, Nules, Moncófar, Chilches, La Llosa, Almenara, Almardá y del Puerto de Sagunto. Y siendo B (m) la distancia a dicha profundidad, para cada una de las playas, indicada en la figura 3.9. Se determina el avance de la línea de orilla o pérdida de anchura de playa, máxima para los años 2050 y 2100.

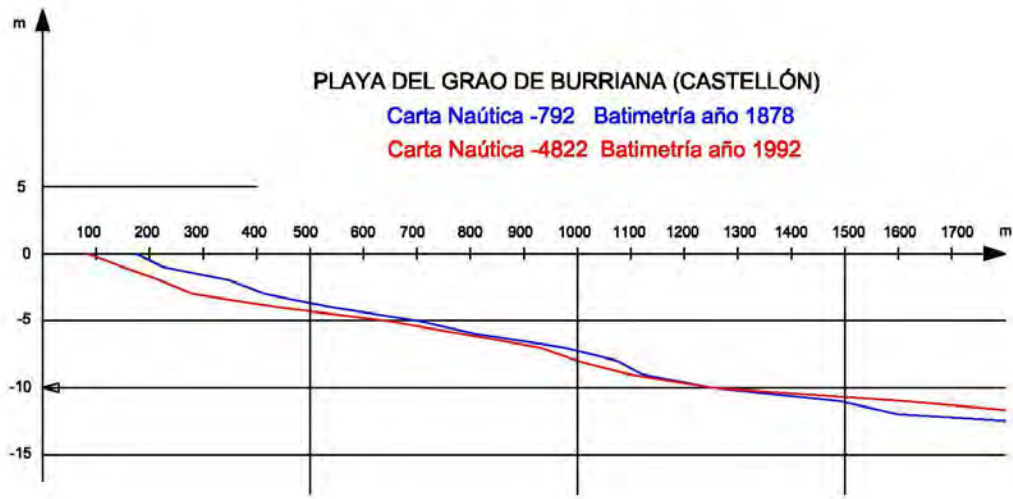


Figura 3.8: Perfil característico de la playa del Grao de Burriana, de 1878 y 1992, para caracterizar la PdC a gran escala, largo término (Fuente: CEDEX 2012)



Figura 3.9: Distancias aproximadas de la profundidad de cierre a largo plazo en las playas de La Torre, Norte de Burriana, Grao de Burriana, Nules, Moncófar, Chilches, La Llosa, Almenara, Almardá y Puerto de Sagunto.



La subida del nivel del mar A (m), se obtiene de la gráfica de la figura 3.2, que alcanza su valor característico de 0,9 m (dentro de la banda de confianza) en el año 2100 y de 0,32 m en el año 2050, indicados en el apartado anterior.

Considerando los datos de las variables indicadas y de la aplicación de manera sencilla de la regla de Bruun (1962), se determina, el avance de la línea de orilla  $\Delta X$  (m), en cada una de las playas, para el año horizonte 2050, según se indica en la siguiente tabla.

<b>Retroceso Máximo Año 2050</b>				
<b>Playa</b>	<b>A(m)</b>	<b>B(m)</b>	<b>PdC (m)</b>	<b><math>\Delta X</math> (m)</b>
La Torre	0,32	845	10	27
Norte de Burriana	0,32	1275	10	41
Grao de Burriana	0,32	1158	10	37
Nules	0,32	1821	10	58
Moncófar	0,32	1474	10	47
Chilches	0,32	1624	10	52
La Llosa	0,32	1563	10	50
Almenara	0,32	1293	10	41
Almardá	0,32	838	10	27
Puerto de Sagunto	0,32	667	10	21

Y se determina el avance de la línea de orilla, en cada una de estas playas, para el año horizonte 2100, como se muestra a continuación.

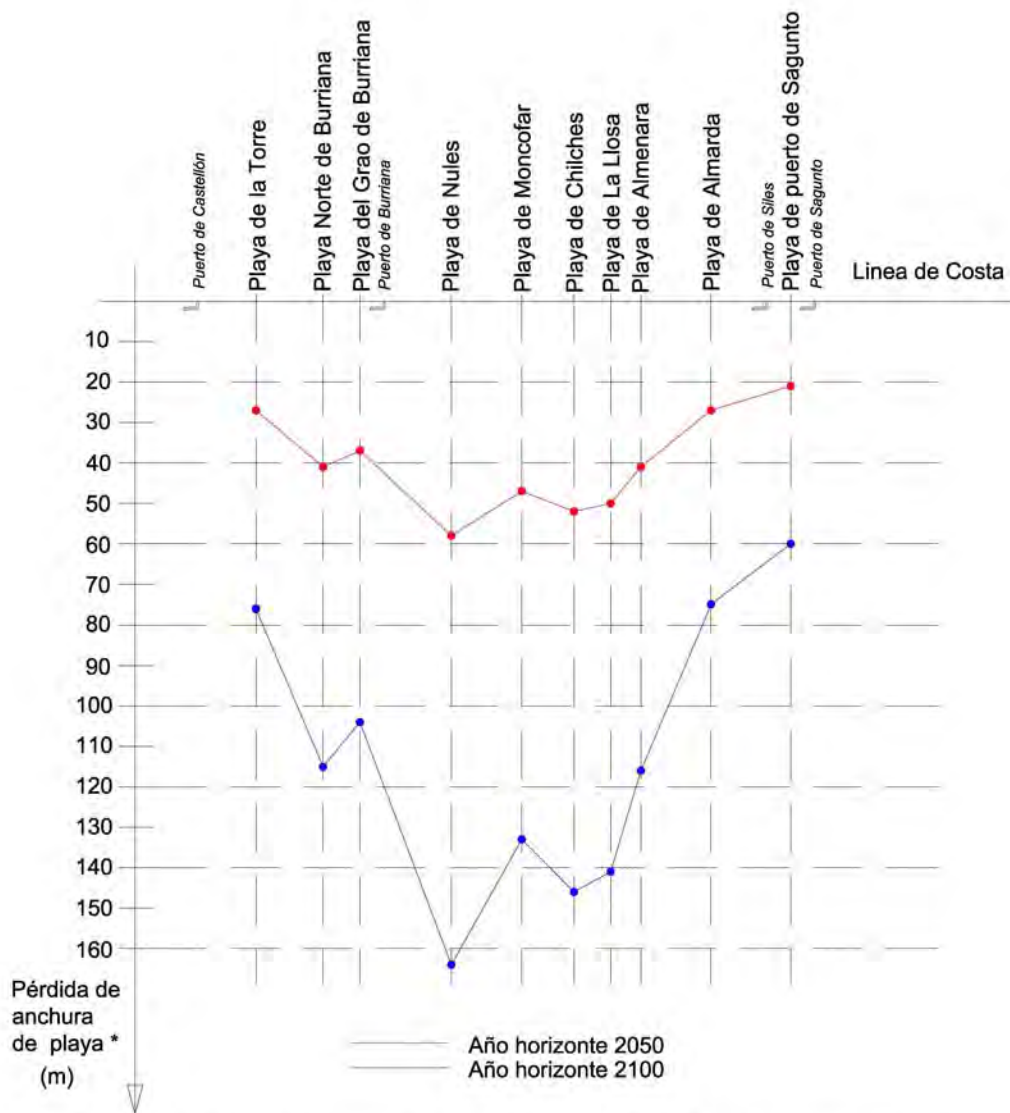
<b>Retroceso Máximo Año 2100</b>				
<b>Playa</b>	<b>A(m)</b>	<b>B(m)</b>	<b>PdC (m)</b>	<b><math>\Delta X</math> (m)</b>
La Torre	0,9	845	10	76
Norte de Burriana	0,9	1275	10	115
Grao de Burriana	0,9	1158	10	104
Nules	0,9	1821	10	164
Moncófar	0,9	1474	10	133
Chilches	0,9	1624	10	146
La Llosa	0,9	1563	10	141
Almenara	0,9	1293	10	116
Almardá	0,9	838	10	75
Puerto de Sagunto	0,9	667	10	60



Por lo tanto, el retroceso aproximado de playa que nos resulta de aplicar la regla de Bruun (1962), con las previsiones de subida del nivel del mar indicadas anteriormente, daría un valor máximo de 58 m para el horizonte de 2050 y de 164 m para el horizonte 2100.

Este retroceso aproximado, se ha obtenido, sin tener en cuenta la condición de borde exterior a la playa, siendo condición de borde: los muros, los acantilados, etc., que reducirían ese alcance.

En la siguiente figura se representa el retroceso aproximado de la línea de orilla, para las playas indicadas, en los años 2050 y 2100.



(\*) Sin tener en cuenta la condición de borde exterior a la playa: muros, acantilados, etc.

Figura 3.10: Retroceso aproximado de la línea de orilla en las playas de la Torre, Norte de Burriana, Grao de Burriana, Nules, Moncófar, Chilches, La Llosa, Almenara, Almardá, Puerto de Sagunto, para el año horizonte 2050 y 2100.

Este incremento del nivel del mar debido al cambio climático supondría un retroceso de la línea de orilla entre 1,64 y 0,6 m, dependiendo de las zonas y tramos como se indica a continuación:

Tramo I (Pto. Castellón – pto. Burriana): 0,76 y 1,15 m/año

Tramo II:

Sub tramo II-1 (Pto Burriana – gola del Estany): 1,33 y 1,64 m/año

Sub tramo II-2 (Gola del Estany – pto. Canet de Berenguer): 0,75 y 1,16 m/año

Sub tramo II-3 (Pto Canet de Berenguer – pto Sagunto): 0,6 m/año

Estos valores son indicativos, al poder cambiar las condiciones morfológicas de las playas y las previsiones sobre el incremento del nivel del mar debido al cambio climático. Por tanto, podría tratarse valores de manera similar al retroceso de la línea de costa debido a la erosión y, por tanto asumirse que se encuentran dentro de las reposiciones de sedimento anuales que debe preverse como mantenimiento de cada actuación que podría estimarse de manera general del 4%.

Este dato tendría que ser complementado con las previsiones de la variación de la dirección del flujo medio de energía y transporte potencial de sedimentos. Para ello se puede recurrir a los gráficos que muestra el Proyecto citado, donde se aprecia que:

- La variación del flujo medio de energía provocará en las costas de Castellón un retroceso en la línea de orilla de la cuantía indicada en la figura adjunta.
- El transporte longitudinal de sedimentos a lo largo de la costa se reducirá en un porcentaje importante, tal y como indica la figura adjunta.

En esta primera figura se muestra el retroceso máximo esperado para el año 2050, en la que se ha considerado que la variación de la dirección del flujo medio de energía corresponde a la variación media calculada para una playa de 1000 m de longitud, aplicando la ley de Snell para calcular la variación del flujo medio a 10 m de profundidad.

Las playas situadas en las costas de Castellón, no son excesivamente susceptibles a este tipo de retroceso, siendo las más afectadas las playas de la zona Norte del Mediterráneo, sobre todo a las de la Costa Brava, pudiendo alcanzar un retroceso de hasta 70 m. En el tramo de costa en estudio, son pocas las zonas donde se alcanzan los mayores retrocesos.

Se ha comprobado que el retroceso será mayor cuanto mayor sea la altura de ola significativa que es excedida en la playa y cuanto menor sea el tamaño de grano que compone la misma. Así en el Mediterráneo, la altura de ola superada 12 horas al año es menor que en el Cantábrico. Dado que el retroceso en este caso es proporcional a la raíz cuadrada del  $H_{s12}$ . Estimándose que el retroceso máximo en la costa Mediterránea es menor, del orden de 15 m aproximadamente.

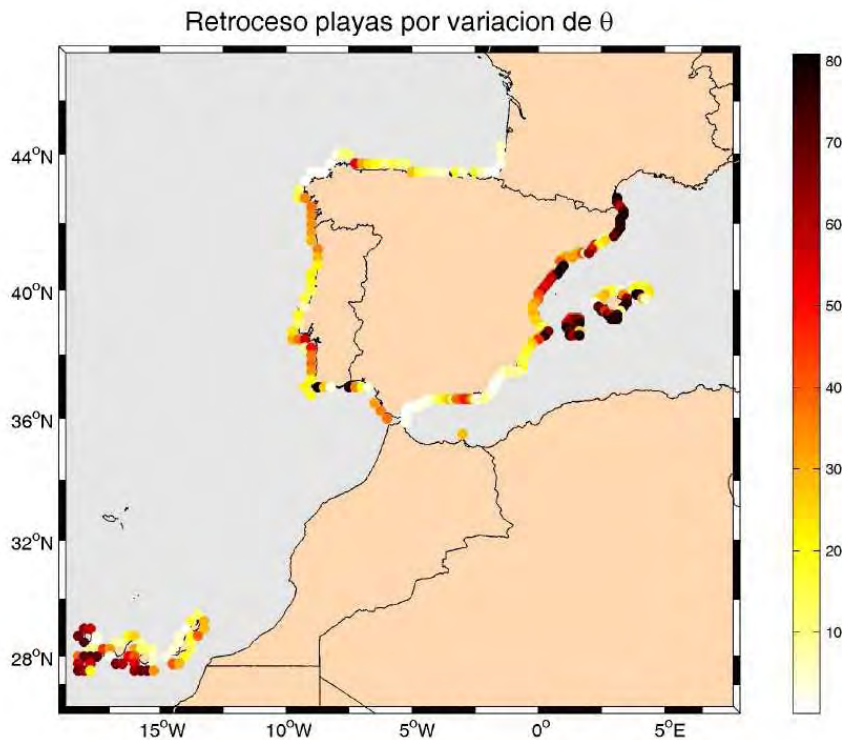


Figura 3.11: Retroceso de las playas debido a la variación de la dirección de flujo medio de energía (Universidad de Cantabria – Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

Otro efecto significativo es el posible cambio en el transporte longitudinal de sedimentos a lo largo de la costa, típico de las playas de la zona Mediterránea, sometidas a un transporte litoral muy activo. Demostrándose que el cambio en la tasa de transporte puede ser consecuencia de variaciones en la altura de ola en rotura y en la dirección del oleaje en rotura.

Teniendo en cuenta, la altura de ola significativa media anual y la dirección del flujo medio de energía y su variación media calculada, se ha calculado en cada zona de la costa del litoral, la dirección del flujo medio de energía actual y su correspondiente variación para el año 2050, en el punto de rotura correspondiente a la altura de ola significativa media anual. Con todo esto se ha elaborado un mapa orientativo de del porcentaje de cambio en el transporte longitudinal a lo largo del litoral.

En esta segunda figura, obtenida para el escenario de cambio climático seleccionado, en el Mediterráneo, y como consecuencia en las playas de Castellón, se obtiene una reducción de las tasas de transporte longitudinal, lo que indica que en las playas sometidas a erosiones progresivas, la tasa de erosión será más lenta, ya que la capacidad de transporte se reducirá.

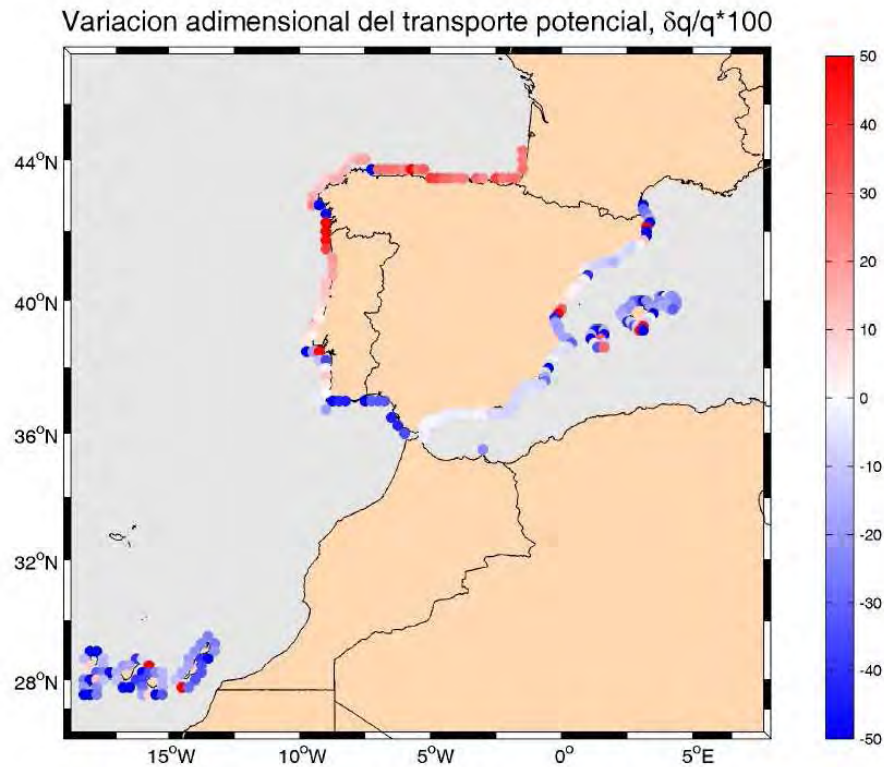


Figura 3.12: Porcentaje de cambio en el transporte potencial a lo largo del litoral (Universidad de Cantabria – Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

Como resumen de resultados, el citado Proyecto indica para la Costa Mediterránea:

*“No se aprecian cambios relevantes en la magnitud de la energía del oleaje, aunque sí destacables peculiaridades en Cabo de la Nao, debidas a su situación geográfica, y en la Costa Brava, dada su cercanía al Golfo de León...”*

*“El régimen medio del viento y marea meteorológica presenta una tendencia negativa, pero de muy pequeña escala. Es importante destacar la gran significancia estadística que aportan los resultados de tendencia negativa de marea meteorológica en el Mediterráneo, Baleares y costa Noroeste gallega, a pesar de ser sus variaciones muy pequeñas.”*



#### **4. TIPOS DE ALTERNATIVAS DE ACTUACIÓN**

Antes de adentrarse en la descripción de las alternativas propuestas para la mejora de la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto hay que definir la tipología de alternativas a realizar, con sus ventajas e inconvenientes. Para ello primeramente se da un repaso al tipo de alternativas que se han estudiado, y se analiza que sean factibles de realizar en estas costas. A continuación se pasa a dar un análisis del ámbito de aplicación de cada uno de los tipos de alternativas y los condicionantes que cada una tiene.

##### **4.1 TIPOS DE ALTERNATIVAS DE ACTUACIÓN A CONSIDERAR**

A la hora de abordar un problema costero como el que posee muchos de los tramos de la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto, en el que existe una discordancia entre la cantidad de sedimento existente en el sistema litoral y la dinámica litoral reinante en él, se puede optar por tres vías todas ellas encaminada a que la dinámica litoral este en consonancia con el sedimento existente en el sistema y que forma las playas:

- 1- Reducir la dinámica litoral lo máximo posible: esto requiere una rigidización total del sector; impidiendo que el material se mueva de las celdas en las que tiene que compartimentarse la costa. Esta alternativa supone que no se permite el movimiento de sedimentos a lo largo de la franja litoral, al menos en una gran parte.
- 2- Aumentar la cantidad de sedimento en el sistema litoral: con ello compensamos el sedimento con la dinámica litoral; pero ello requiere que a medida que el sedimento se pierde del sistema litoral, se vaya reponiendo o recirculándolo; siendo estas pérdidas directamente proporcionales con la intensidad de la dinámica litoral reinante, lo que quiere decir que si no se repone a la misma velocidad que lo mueve el mar se irán produciendo erosiones que tiendan a volver al estado inicial la costa. Además hay que actuar globalmente y a la vez en el sistema.
- 3- Reducir la intensidad de la dinámica litoral: sería un tipo intermedio entre los anteriores tipos. El objetivo es que el mar mueva el sedimento pero en menores cantidades que en el estado inicial; para ello se realizan apoyos intermedios cortos que permitan que parte del material se mueva a lo largo de la costa, para ello los apoyos no deben llegar a la profundidad de cierre. El porcentaje de material que estos apoyos dejan pasar son proporcionales a la reducción de la profundidad de los apoyos respecto a la profundidad de cierre.

El primero de los métodos no es muy deseable salvo en casos muy específico; como, por ejemplo, que se quiera aislar un tramo de costa del resto, que tenga una carencia importante de sedimentos... Por ello no se ha contemplado este tipo de alternativas de actuación en la Estrategia de Actuación en costa entre los puertos de Castellón y Sagunto. Pero, hay que tener en cuenta que el límite de rigidización y aporte con apoyos laterales puede estar muy próximo o muy lejano dependiendo del grado de reducción del transporte sólido litoral longitudinal que requiramos.

Los otros dos tipos de actuación que se han tenido en cuenta a la hora de planear la Estrategia, alimentación y alimentación con apoyos, en ambos casos se necesita, lo que se ha dado en llamar, una gestión del sedimento. Esta gestión se puede hacer por dos vías. La primera de ellas es situar puntos de control y seguimiento para detectar las descompensaciones sedimentarias y actuar seguidamente para retroalimentar, esto es; extraer



el sedimento donde se ha acumulado y verterlo aguas arriba donde se ha erosionado y reponer las pérdidas de material con arenas procedentes del exterior del sistema litoral. En el segundo de los casos, alimentación artificial solamente, esta retroalimentación obliga a mover material a distancias muy largas y con mayor periodicidad, siendo ésta proporcional a la dinámica litoral reinante en la zona, lo que conlleva un mayor gasto en mantenimiento, seguimiento y control, además obliga a actuar a la vez en un tramo grande de costa, en toda la unidad o sub unidad fisiográfica.

En el tercero de los casos, alimentación artificial con sujeción de apoyos, la gestión puede compartimentarse y la periodicidad de las retroalimentaciones son mucho más largas, lo que conlleva un menor gasto en mantenimiento, seguimiento y control y un estado de la playa óptimo más continuo. Pudiendo actuar solamente en lugares que requieran una demanda de actuación y no en toda la unidad o subunidad.

La decisión de optar por uno o por otro depende de los recursos disponibles, no solamente en la inversión inicial, sino más concretamente para el mantenimiento continuo requerido en la gestión del sedimento indicada en el párrafo anterior.

#### **4.2 ÁMBITO DE LOS TIPOS DE ALTERNATIVAS DE ACTUACIÓN**

Las características propias de la costa castellanense y valenciana en estudio hacen que la alimentación artificial sea de muy difícil realización dado los costes que supondría, y los volúmenes que tendría que moverse anualmente para la correcta retroalimentación de material. Por ello solamente se contempla la tercera de los tipos de actuación: alimentación con apoyos. Estos apoyos podrían alcanzar, en algunos casos, casi hasta la barrera total al paso de sedimentos; si bien, la cantidad de material que se deje pasar dependerá, en todo caso, del diseño final de la obra, no objeto de esta Estrategia de Actuación. Como línea general, puede suponerse que los apoyos alcanzarían profundidades en torno a la profundidad activa.

#### **4.3 TRAMOS DE COSTA EN EL ÁMBITO DE LAS ALTERNATIVAS DE ACTUACIÓN**

Siguiendo la zonificación y división de la costa que se ha presentado en el capítulo 2 de este trabajo, la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto se ha dividido en dos tramos, correspondientes a las dos unidades fisiográficas independientes, esto es:

Tramo I: Puerto de Castellón – Puerto de Burriana

Tramo II: Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto

En los capítulos siguientes se muestra las propuestas de actuación en cada uno de los tramos, teniendo en cuenta las propuestas de actuación que contienen anteriores trabajos; muy relevante para el segundo de los tramos y con pocas actuaciones en el primero de ellos.

## 5. ACTUACIONES EN EL TRAMO I: PUERTO DE CASTELLÓN – PUERTO DE BURRIANA

El análisis de las posibles actuaciones a realizar a lo largo de la costa situada entre los puertos de Castellón y Sagunto se efectúa separadamente en los dos tramos en que se ha dividido esta región costera. Este capítulo trata del primero de estos tramos, entre el puerto de Castellón y el puerto de Burriana. Primeramente, se hace un repaso a las actuaciones más recientes que se han propuesto para la mejora de este sector. A continuación, se repasa la situación y el comportamiento general que se ha detectado; básicamente presentado en el informe parcial anterior y, como consecuencia, se indican las zonas con mayores problemas en la actualidad. Finalmente, se presentan las propuestas de actuación, visto todas las variables anteriores.

En este sector se encuentran las playas, de norte a sur, de:

- Playa del Serrallo (zona portuaria)
- Playa de La Torre (playas de Ben Afelí y de La Torre)
- Playa del Río Mijares
- Playa Norte de Burriana
- Playa del Grao de Burriana (playas del Grao-Malvarrosa y L'Arenal)

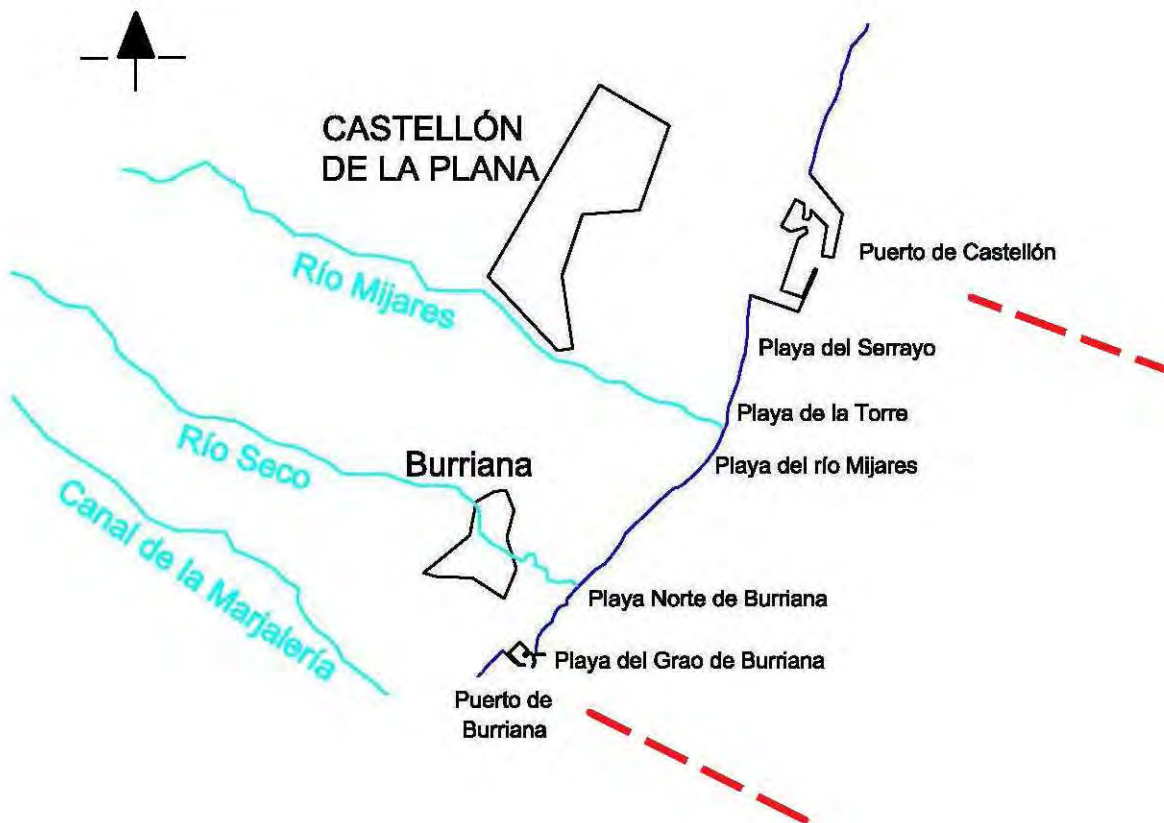


Figura 5.1: Playas del tramo I, Puerto de Castellón-Puerto de Sagunto

## 5.1 ACTUACIONES PROPUESTAS EN TRABAJOS ANTERIORES

En este apartado se indican como base de partida, las actuaciones que se han propuesto en trabajos anteriores, ubicadas en el tramo de costa comprendido entre el puerto de Castellón y el puerto de Burriana.

### 5.1.1 Trabajos que contienen propuestas de actuación

Los trabajos que contienen propuestas de actuación son:

- “Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa” (2007). Proyecto realizado por la empresa TYPESA, para la Dirección General de Costas. **(TYPESA 2007)**.
- “Regeneración ambiental y lucha contra la erosión en la playa de Benafeli, T.M. Almazora (Castellón)” (2010). Proyecto realizado para la Dirección General de Costas. **(IBERPORT CONSULTING 2010)**.

### 5.1.2 Actuaciones propuestas en el proyecto TYPESA 2007

El proyecto “Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa” se realizó con la finalidad de proporcionar la necesaria coherencia y solidez conceptual a las competencias que la Ley de Costas atribuye a la Administración General del Estado, desde una amplia visión territorial y temporal, para incorporar los principios de sostenibilidad y de gestión integrada de zonas costeras (GIZC).

Las actuaciones que se plantearon en dicho proyecto, entre el puerto de Castellón y el puerto de Burriana, fueron:

- Rigidización de la costa mediante espigones en las playas del Serrayo y de La Torre
- Demolición del espigón situado en el dique de abrigo del puerto de Burriana
- Recirculación de arena, para que el excedente de la playa del Arenal sea retirado periódicamente y vertido en las proximidades del delta del río Mijares.



Figura 5.2: Actuaciones propuestas entre los puertos de Burriana y de Castellón (Fuente: TYPESA 2007)

### 5.1.3 Actuaciones propuestas en el proyecto IBERPORT CONSULTING 2010

Las actuaciones propuestas en el proyecto “Regeneración ambiental y lucha contra la erosión en la playa de Benafeli, T.M. Almazora (Castellón)” fueron las siguientes:

Alternativa 1: Construcción de un espigón recto parcialmente sumergido al sur

Alternativa 2: Construcción de dos espigones transversales a la costa

Alternativa 3: Construcción de dos espigones transversales parcialmente sumergidos

Alternativa 4: Construcción de dos espigones transversales proyectados en dos tramos

Alternativa 5: Construcción de dos diques exentos con formación de tómbolos

Alternativa 6: Construcción de tres diques exentos con formación de salientes

Alternativa 7: Construcción de espigones transversales y de un dique exento central

Finalmente, en la redacción del proyecto, se consideró como actuación prevista la prolongación de dos espigones existentes y la modificación del existente dique exento existente situado al norte, como muestra la figura adjunta.

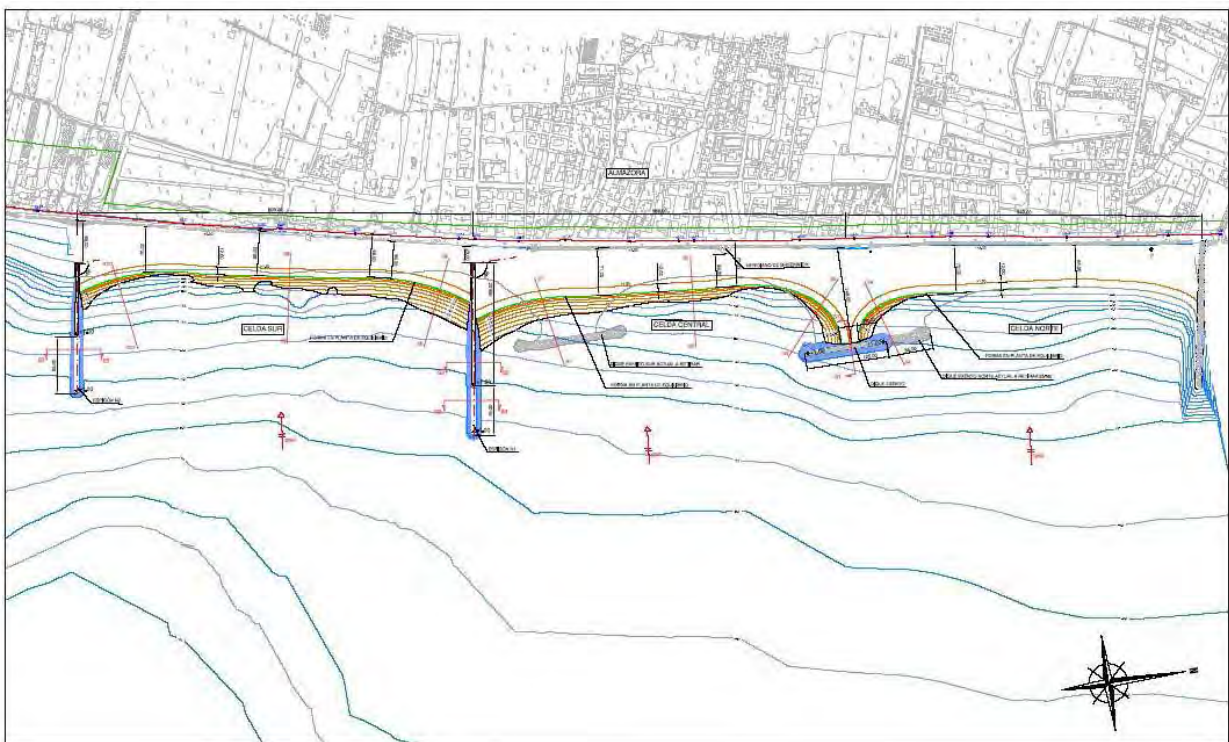


Figura 5.3: Configuración en planta de la actuación (Fuente: IBERPORT CONSULTING 2010)

### 5.1.4 Resumen de las propuestas para el tramo I de anteriores trabajos

Finalmente a modo de resumen, se presentan las siguientes propuestas de actuación en cada una de las playas, del tramo I, de cada uno de los trabajos desarrollados con anterioridad.

Las playas situadas en este tramo, que comprende desde el puerto de Castellón hasta el puerto de Burriana, de norte a sur son:

1) Playa del Serrallo:

**TYPSA 2007**

- Rigidización de la costa mediante espigones

2) Playa de La Torre o de Benafeli:

**TYPSA 2007**

- Rigidización de la costa mediante espigones

**IBERPORT CONSULTING 2010**

- Prolongación de dos espigones existentes
- Mejora del dique exento situado al norte

3) Playa del Arenal y playa del río Mijares:

**TYPSA 2007**

- Recirculación del excedente de arena de la mediante vertido en las proximidades del delta del río Mijares
- Demolición del espigón situado en el dique de abrigo del puerto de Burriana



CEDEX



Figura 5.4: Actuaciones propuestas en el tramo I de trabajos anteriores

## 5.2 SITUACIÓN Y COMPORTAMIENTO GENERAL DEL TRAMO I EN LA ACTUALIDAD

La evolución que se ha producido en este sector de la costa situada entre los puertos de Castellón y Burriana se ha estudiado en el informe parcial precedente. Para conocer la situación evolutiva actual se tiene que recurrir a analizar los datos que en él se presentan para los años más cercanos al presente. Ello se hace utilizando los datos fotográficos que contiene el servidor Google Earth de Digital Globe y Terrametrics.

La evolución estudiada en el informe precedente solamente alcanzaba hasta el año 2006. Por ello se han ido eligiendo fotografías aéreas que se solapan con este año. Se ha realizado una comparación de las líneas de orilla de la secuencia de fotografías de los años 2004, 2007, 2009, 2011, y 2012, para cada uno de los dos sub tramos en que se divide esta unidad fisiográfica:

- 1.1: Puerto de Castellón – Río Mijares
- 1.2: Río Mijares – Puerto de Burriana

El resultado se inserta en las figuras adjuntas.

Sub tramo 1.1: Puerto de Castellón – Río Mijares: La línea de orilla no ha variado significativamente en la playa de La Torre, descontando las actuaciones y aportes de sedimento en ellas. Este sub tramo no tiene aportes algunos ya que los sedimentos provenientes del río Mijares, realizados hiperanualmente, se transportan especialmente hacia el sur. Ello hace que cualquier actuación que se realice deba hacerse para que se reduzca al máximo las pérdidas en dirección sur. La playa del Serrallo se encuentra en zona portuaria estando totalmente rigidizada, por lo que no merece más comentario.



Figura 5.5: Evolución reciente de la playa de La Torre de Almazora (foto: Digital Globe – Google Earth)



Sub tramo 1.2: Río Mijares – Puerto de Burriana: La anchura de playa de las celdas que forman la playa del Grao de Burriana han seguido creciendo.



Figura 5.6: Evolución reciente de las playas del Grao y Norte de Burriana (foto: Digital Globe-Google Earth)



### 5.3 ZONAS SENSIBLES EN EL TRAMO I

Este tramo de costa viene íntimamente condicionado por el delta del río Mijares que lo separa en dos sub tramos: El norte, entre el puerto de Castellón y el delta; y el sur, entre el delta y el puerto de Burriana.

El sub tramo norte de alimentaba del sedimento proveniente de la costa norte, hoy totalmente cortado y de los depósitos del delta provenientes del caudal sólido que aporta el río que habitualmente no lo hace, pero que ocasionalmente puede expulsar, como sucedió en octubre del año 2000.



*Figura 5.7: Estado de la desembocadura del río Mijares tras la avenida que se produjo en octubre de 2000.*

Ello hace que este tramo de costa sea dependiente sedimentariamente de los aportes exteriores que se puedan realizar, Por ello, debe reducirse al máximo la dinámica costera, sin tener en cuenta que la sombra del puerto ya lo hace.

El segundo de los tramos se encuentra expuesto a un transporte longitudinal de sedimentos muy fuerte, mayor que la media en todos los tramos en estudio. Esta situación hace que necesite para mantener una playa estable un aporte de sedimento aguas arriba que lo compense; pero que no lo hace dado la barrera total que es el puerto de Castellón y la falta de aportes del río. Esta circunstancia ha hecho que todo su frente se haya tenido que construir un dique longitudinal que frene el retroceso continuado al que se vería sometido.

Todo el material procedente de la costa norte, desde el año 1932, es retenido por el puerto de Burriana, que desde esa fecha ha acumulado en forma de triángulo apoyado en el dique del puerto, más de 3.000.000 m<sup>3</sup> de sedimento. Este valor da una cifra de unos 40.000 m<sup>3</sup>/año.

El triángulo acumulativo ha hecho girar la costa en este tramo, playa del Grao de Burriana, disminuyendo la tasa de transporte longitudinal.

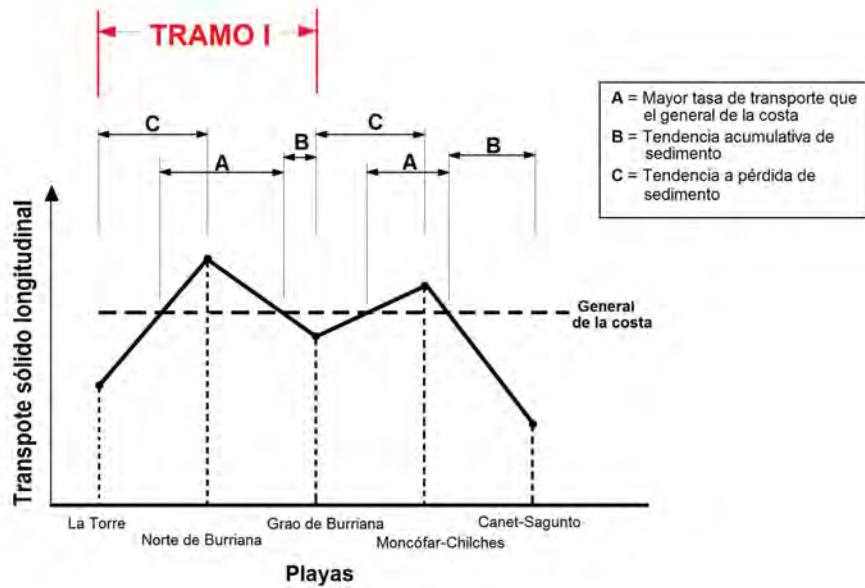


Figura 5.8: Variación relativa del transporte longitudinal de sedimentos entre los puertos de Castellón y Sagunto

Históricamente se ha intentado frenar este avance consolidando la playa apoyada en el puerto de Burriana mediante la construcción de espigones de no mucha eficacia, dado que ha continuado el crecimiento desmesurado de la playa del Grao. Este punto es crítico en la zona. Pudiendo pensarse en un redimensionamiento, al menos parcial de ello e introduciendo la gestión del sedimento para que éste sea más eficaz en otros lugares del tramo con déficit sedimentario claro.

#### 5.4 ACTUACIONES PROPUESTAS EN EL TRAMO I

A la vista de las propuestas de mejora en este Tramo I de la costa situada entre los puertos de Castellón y Burriana realizada en anteriores trabajos, y la evolución que se ha ido produciendo a lo largo del tiempo, hasta la actualidad, matizada en los apartados anteriores, destacando los puntos sensibles detectados de la costa. A continuación se indican las posibles actuaciones a realizar, enumeradas por playas, de norte a sur. En ellas se muestra la posible actuación, mientras el grado de prioridad que se aprecia que puede tener, se realiza en un apartado específico de la priorización de actuaciones y secuencias en que debieran realizarse, de llevarse a cabo, si unas son dependientes de otras. Además, para cada playa, se indica el porqué de la variación, si la hubiere, de la actuación propuesta en este informe y aquella que se hizo en otro anterior.

En conjunto el tramo se ha dividido en dos zonas de actuación: La primera de ellas corresponde al tramo más cercano al Puerto de Castellón, correspondiente, principalmente al municipio de Almazora. La segunda corresponde a las playas apoyadas en el dique del puerto de Burriana, correspondientes a este municipio. Entre medias discurre la playa Norte de Burriana, entre estas últimas, al sur, y la desembocadura del río Mijares, al norte. En la

actualidad este frente se encuentra protegido por un dique longitudinal, de escollera en su mayor parte. Su rehabilitación para crear una playa en su frente no se aborda en esta Estrategia de Actuación, dado que no existe una necesidad inmediata ni próxima de ello y su coste y mantenimiento sería muy elevado. En su conjunto debe inspeccionarse para corroborar que se encuentra en buen estado.

Las actuaciones que a continuación se presentan se han asociado cuando una es imprescindible para realizar la otra. Por ello, algunas actuaciones están compuestas por vertido de sedimento y un espigón sur de apoyo, ya que el apoyo norte correspondería a la actuación anterior; si ella no se realizase, para llevar a cabo la actuación en cuestión, habría que contemplar la realización del apoyo norte perteneciente a la actuación norte dicha.

#### **5.4.1 Actuaciones entre el Puerto de Castellón y el río Mijares**

Este sub tramo, al hallarse al sur del puerto de Castellón se ve impedido a recibir sedimento de la zona norte. Solamente le puede llegar sedimento procedente del río Mijares, cuando este aporta sedimento y las condiciones climáticas marinas hacen que el transporte longitudinal de sedimentos discurra desde la desembocadura del río Mijares hacia el norte. Situación esta que es poco frecuente. La zona norte del sub tramo, la más pegada al puerto, playa del Serrallo, se encuentra dentro de la zona portuaria por lo que no se trata en este aspecto. Solamente se considera la playa de La Torre, que engloba las playas de la Guía de Ben Afelí, al norte, y La Torre, al sur.

Por tanto, las actuaciones propuestas en este tramo se van a dividir en estas dos playas, de Ben Afelí al norte, y La Torre al sur.

##### **5.4.1.1 Actuaciones en la playa de Ben Afelí**

Esta alternativa recoge, básicamente, las actuaciones propuestas en el proyecto de "Regeneración ambiental y lucha contra la erosión en la playa de Benafeli, T.M. Almazora (Castellón)" de 2010. Las actuaciones, que vienen esquemáticamente dibujadas en la figura adjunta, son las siguientes:

- 1- En la playa de Ben Afelí: acortamiento del dique exento norte y retirada del dique exento sur.
- 2- En la playa de La Torre: construcción de un espigón algo más al sur del actual dique exento sur. Y alargamiento del espigón inmediatamente al sur del actual dique exento sur.
- 3- En las playas de La Torre y Ben Afelí: vertido de 83.776 m<sup>3</sup> de grava.

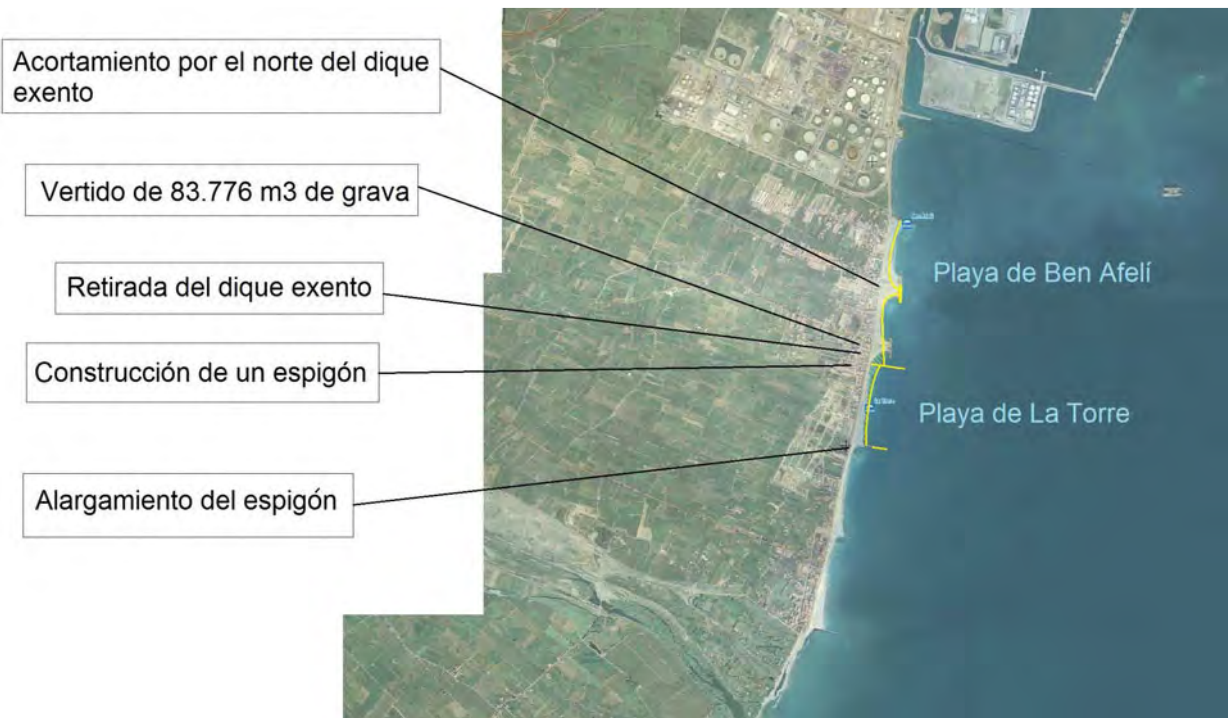


Figura 5.9: Actuaciones recogidas en la playa de Ben Afelí del primer sub tramo, entre el puerto de Castellón y el río Mijares (foto: DGSCyM)

#### 5.4.1.2 Actuaciones en la playa de La Torre

Son actuaciones complementarias a las recogidas para la playa de Ben Afelí. Partirían del espigón sur de dicha playa que debiera transformarse el L y discurrirían hasta la zona norte de la desembocadura del río Mijares, siendo las actuaciones propuestas las siguientes:

4. En la playa de La Torre: prolongación del espigón inmediatamente al sur del dique exento sur hasta una profundidad en torno de 5 m, finalizado en L. Y vertido de 45.000 m<sup>3</sup> de sedimento (arena o grava).
5. En la playa de La Torre: prolongación del espigón inmediatamente al sur del anterior hasta una profundidad en torno de 5 m, finalizado en L. Y vertido de 45.000 m<sup>3</sup> de sedimento (arena o grava).

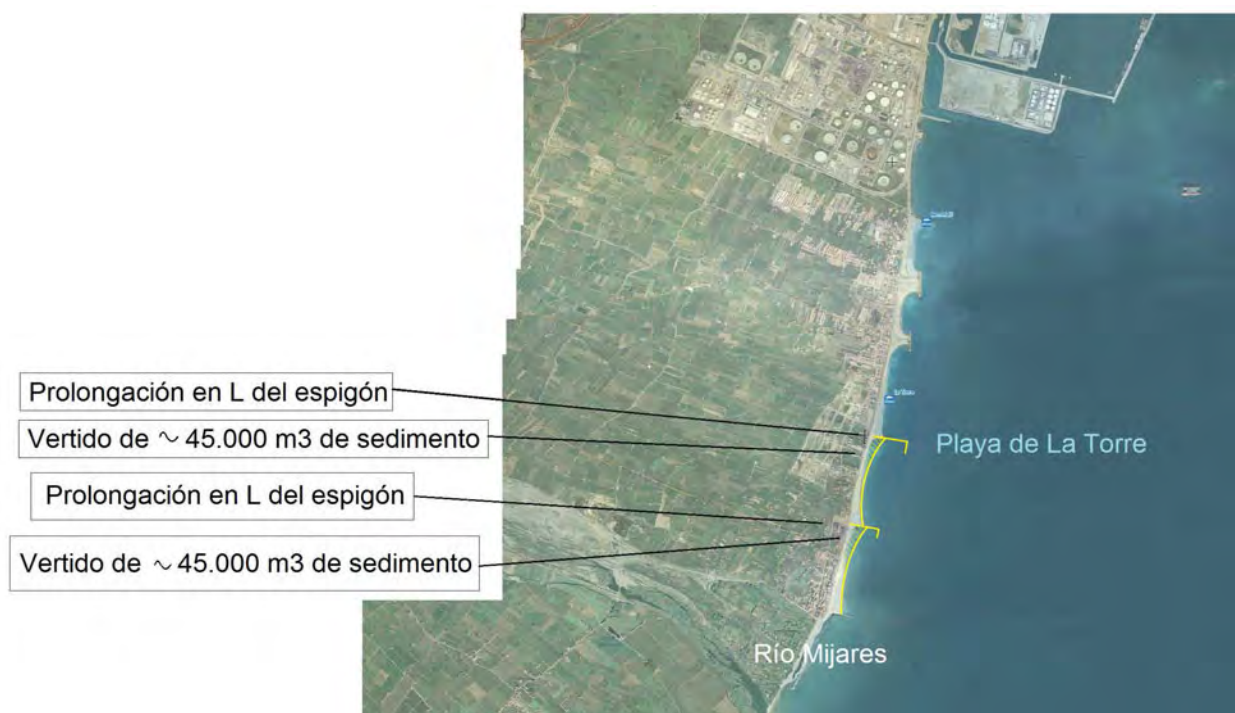


Figura 5.10: Actuaciones recogidas en la playa de La Torre del primer sub tramo, entre el puerto de Castellón y el río Mijares (foto: DGSCyM)

#### 5.4.2 Actuaciones entre el río Mijares y el puerto de Burriana

Este sub tramo, al hallarse al sur de la desembocadura y delta del río Mijares. En origen, tras rebasar el delta del río, la costa sigue una alineación recta que forma  $40^\circ$  con el norte. Esta alineación se rompe en las proximidades del puerto de Burriana donde el sedimento se ha ido acumulando de tal manera que ha formado un triángulo cuyo frente forma  $20^\circ$  con el norte. Lo que indica que el ángulo de apoyo es de  $20^\circ$ ; muestra de la gran intensidad del transporte longitudinal que llega a erosionar la playa inmediatamente al norte del triángulo. La solución que se ha dado históricamente es ir construyendo pequeños espigones que paliasen la erosión inmediata al norte.

Trabajos anteriores proponían la eliminación del primero de los espigones, el más al sur, dado que su consecuencia es aumentar las retenciones; pero no paliar el desequilibrio sedimentario que el puerto provoca. Además como complemento planteaba, también, la recirculación del sedimento hacia el norte, playa Norte de Burriana. Esta solución, dirigida a la mejora de las playas del sector es demasiado costosa de mantenimiento ya que hay que mover continuamente volúmenes de sedimento importantes. Por ello podría pensarse en otras soluciones, que con la misma filosofía reduzcan los costes de mantenimiento planteados con esta actuación.

En esta estrategia de actuación se plantea reducir al máximo las actuales acumulaciones que se van produciendo junto al puerto de Burriana en las celdas. Esto se realiza mediante dos elementos básicos: Primero de ellos es el re-cálculo de los espigones existentes en la actualidad, de tal manera que permitan menos paso de sedimento y produzcan en la zona superior de las celdas una difracción que favorezca una achura de playa suficiente norte y así reducir el diferencial de anchuras de playa a lo largo de ella. El segundo es no permitir que se



acumule la cantidad tan importante de sedimento en tan corta longitud de playa y, para ello, debe extraerse una cantidad importante de sedimento de la celda pegada al puerto para verterlo aguas arriba en las nuevas celdas recalculadas y probablemente quedaría material para verterlo aguas abajo del puerto de Burriana en las actuaciones que se propone realizar en el tramo inmediatamente al sur

Para llevarlo a cabo se proponen las siguientes actuaciones:

1. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad, al menos, de 5 m junto a la desembocadura del río Seco, y eliminación de los dos espigones pequeños existentes en la actualidad.
2. Vertido en la primera celda norte de unos 110.000 m<sup>3</sup> de sedimento procedente de la celda más al sur de la playa del grao de Burriana.
3. Prolongación de los dos espigones siguientes de la playa del Grao de Malvarrosa y L'Arenal hasta una profundidad, al menos, de 5 m en L.
4. Retroalimentación periódica de la zona de playa apoyada en el dique del puerto de Burriana, haciéndola retroceder unos 20 m, extrayendo en torno a 110.000 m<sup>3</sup> y construcción de un espigón corto de control. Continuando las retroalimentaciones en la medida que se necesite y se acumule en esta playa. Ya que tiene una anchura excesiva de más de 320 m. De ella debe extraerse para las actuaciones que se plantean en el tramo al sur del puerto de Burriana.

Podría pensarse en la retirada de más material procedente, especialmente, de la celda más al sur.



Figura 5.11: Actuaciones del segundo sub tramo, entre el río Mijares y el puerto de Burriana (foto: DGSCyM)

## 5.5 RESUMEN DE PROPUESTAS DE ACTUACIÓN EN EL TRAMO I

En la figura adjunta se presenta un resumen de todas las propuestas de actuación planteadas en los apartados anteriores; teniendo en cuenta que todas ellas vienen acompañadas de un orden de prioridad de realización, que se presenta en el capítulo 7 de este informe en el que se trata conjuntamente el grado de prioridad de las actuaciones propuestas en la costa.



Figura 5.12: Alternativas de actuación en el tramo 1 entre los puertos de Castellón y Burriana, en el primer sub tramo se refleja la alternativa 1, de mayor complejidad (foto: DGSCyM)



## 5.6 NECESIDADES SEDIMENTARIAS DEL TRAMO I

Las actuaciones propuestas tienen una importante partida de vertido de sedimento que obliga a unas necesidades sedimentarias en el tramo. Si estas se consideran arena, el resumen de ellas sería:

Sub tramo I-1-1:	84.000 m <sup>3</sup> (gravas)
	45.000 m <sup>3</sup>
	45.000 m <sup>3</sup>
	<u>Total: 84.000 m<sup>3</sup> (gravas) 90.000 m<sup>3</sup> (arena)</u>
Sub tramo I-1-2:	110.000 m <sup>3</sup>
	-110.000 m <sup>3</sup> (disponible en el sub tramo)
	<u>Total: 0 m<sup>3</sup></u>
<b>TOTAL TRAMO I:</b>	<b>84.000 m<sup>3</sup> (gravas) 90.000 m<sup>3</sup> (arena)</b>



## 6. ACTUACIONES EN EL TRAMO II: PUERTO DE BURRIANA– PUERTO DE SAGUNTO

El análisis de las posibles actuaciones a realizar a lo largo de la costa situada entre los puertos de Castellón y Sagunto se efectúa separadamente en los dos tramos en que se ha dividido esta región costera. Este capítulo trata del segundo de estos tramos, entre el puerto de Burriana y el puerto de Sagunto. Primeramente, se hace un repaso a las actuaciones más recientes que se han propuesto para la mejora de este sector. A continuación, se repasa la situación y el comportamiento general que se ha detectado; básicamente presentado en el informe parcial anterior y, como consecuencia, se indican las zonas con mayores problemas en la actualidad. Finalmente, se presentan las propuestas de actuación, visto todas las variables anteriores.

En este sector se encuentran las playas, de norte a sur, de:

- Playa Sur de Burriana
- Playa de Nules
- Playa de Moncófar (playas de Pedro Rojas, El Grao, Masbo, Tamarit, La Torre y L'Estanyol)
- Playa de Chilches (playas de Las Casas y El Cerezo/Xilxes)
- Playa de La Llosa
- Playa de Almenara (playa de Casablanca)
- Playa de Corinto
- Playa de Almardá
- Playa de Canet de Berenguer
- Playa del puerto de Sagunto

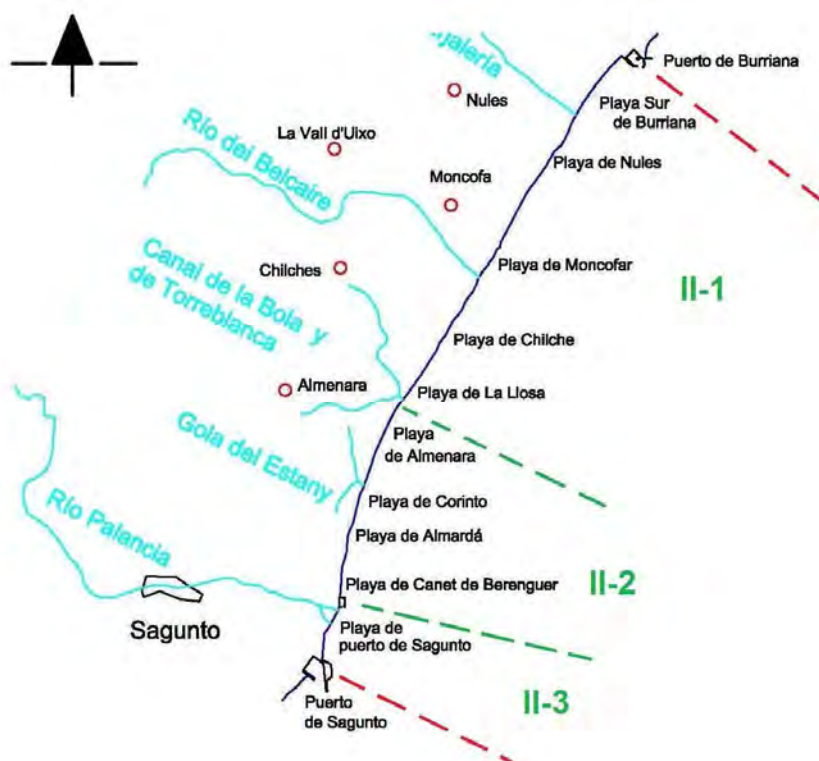


Figura 6.1: Playas en el tramo II entre los puertos de Burriana y Sagunto



## 6.1 ACTUACIONES PROPUESTAS EN TRABAJOS ANTERIORES

En este apartado se indican como base de partida, las actuaciones que se han propuesto en trabajos anteriores, ubicadas en el tramo de costa comprendido entre el puerto de Castellón y el puerto de Burriana.

### 6.1.1 Trabajos que contienen propuestas de actuación

Los trabajos que contienen propuestas de actuación ordenados por ámbito de actuación, son:

- “Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa” (2007). Proyecto realizado por la empresa TYPASA, para la Dirección General de Costas. **(TYPASA 2007)**.
- “Asistencia técnica para el estudio integral de alternativas de actuación en el tramo de costa entre el puerto de Burriana y el puerto de Sagunto”. Informe realizado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. **(IH Cantabria 2009)**.
- Proyecto de “Lucha contra la erosión en las playas del término municipal de Almenara (Castellón)”. Proyecto realizado por la empresa KV Consultores, para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. **(KV Consultores 2009)**.
- “Estudio de soluciones y desarrollo de la alternativa elegida de restablecimiento de la conexión entre la Marjal de Nules y el mar”. Estudio realizado por la empresa Iberport Consulting, para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. **(IBERPORT CONSULTING, S.A. 2010)**.
- Proyecto de “Regeneración de la playa al Sur del puerto de Burriana, T.M. de Burriana (Castellón)”. Proyecto realizado por la empresa CLOTHOS, para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. **(CLOTHOS 2010)**.
- Proyecto de “Mejora de la accesibilidad y protección de la costa al sur de Burriana (Castellón)”. Proyecto realizado por la empresa TRAGSATEC, para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. **(TRAGSATEC 2010)**.

### 6.1.2 Actuaciones propuestas en el proyecto TYPASA 2007

El proyecto “Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa” se realizó con la finalidad de proporcionar la necesaria coherencia y solidez conceptual a las competencias que la Ley de Costas atribuye a la Administración General del Estado, desde una amplia visión territorial y temporal, para incorporar los principios de sostenibilidad y de gestión integrada de zonas costeras (GIZC).

Las actuaciones que se plantearon en dicho proyecto, entre el puerto de Burriana y el puerto de Castellón, fueron:

- Se procederá a la recirculación de arena al norte del puerto de Sagunto, para paliar los efectos de la erosión marina
- Los diques de encauzamiento de los ríos así como los azagadores de las golgas y acequias no sobresaldrán de la línea de playa



Figura 6.2: Actuaciones propuestas entre los puertos de Burriana y de Sagunto (Fuente: TYPESA 2007)

### 6.1.3 Actuaciones propuestas en el informe de IH Cantabria 2011

Las actuaciones propuestas se han dividido considerando los municipios del tramo de costa comprendido entre el puerto de Burriana y el puerto de Sagunto.

#### Municipio de Burriana:

1. Construcción de un espigón en el límite sur del puerto de Burriana de 258 m de longitud y vertido de 174.493,20 m<sup>3</sup> de arena, para la construcción de una playa inmediatamente al sur de dicho puerto.
2. Construcción de dos diques exentos con una longitud de 86 m cada uno. Uno de los diques exentos ubicado a 740 m del existente y el otro a 270 m del dique exento existente. Para generar dos playas de gravas mediante relleno de 11.413 m<sup>3</sup> para la playa situada al sur y de 11.088 m<sup>3</sup> para la playa situada al norte.
3. Excavación mecánica en playa seca de 4.090 m<sup>3</sup> y relleno de 2.912 m<sup>3</sup> de grava.

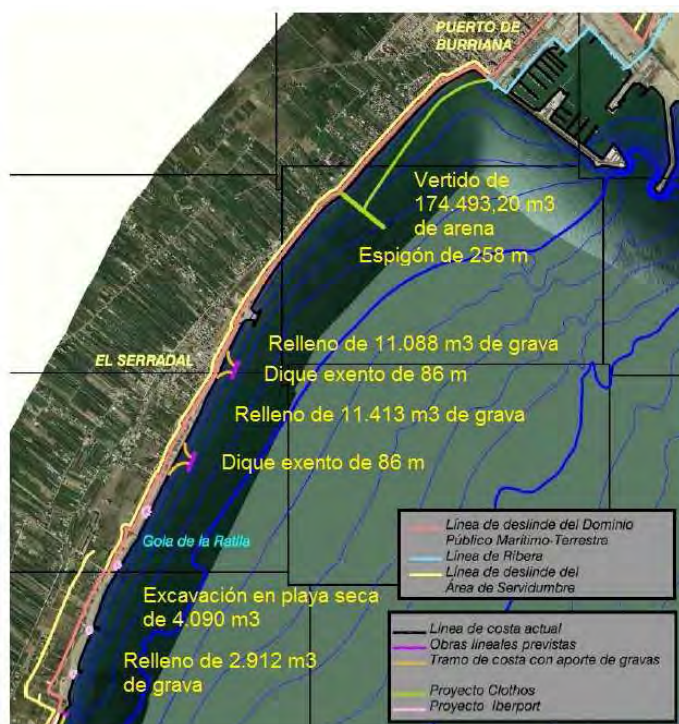


Figura 6.3: Actuaciones propuestas en el municipio de Burriana (Fuente: IH Cantabria 2011)

Municipio de Nules:

1. Recrecimiento hasta emerger de los 17 primeros metros desde el arranque del espigón sumergido existente en el extremo Norte. Y prolongación del espigón existente en el extremo Sur en 22 m. Mejora de la playa mediante vertido de 8.649,15 m<sup>3</sup> de grava.
2. Prolongación del espigón existente en 15 m y relleno de 7.075,60 m<sup>3</sup> de grava.

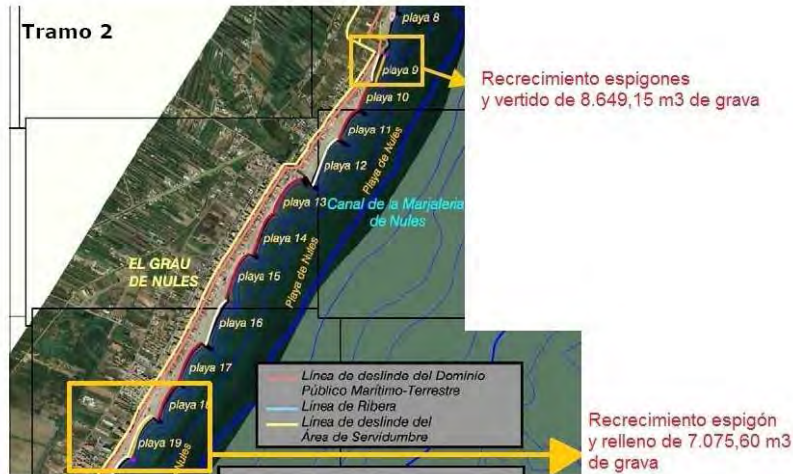


Figura 6.4: Actuaciones propuestas en el municipio de Nules (Fuente: IH Cantabria 2011)

Municipio de Moncófar:

1. Prolongación del espigón existente en 7 m y relleno de 2.200,90 m<sup>3</sup> con grava
2. Prolongación del espigón existente en 7 m y relleno de 4.643,60 m<sup>3</sup> con grava
3. Dique exento de 185 m y relleno de 18.216 m<sup>3</sup> de grava



Figura 6.5: Actuaciones propuestas en el municipio de Moncófar (Fuente: IH Cantabria 2011)

### Municipios de Chilches y La Llosa:

1. Prolongación del espigón existente en 45 m y relleno de 23.023 m<sup>3</sup> de grava
2. Prolongación del espigón existente en 190 m, de los que los primeros 60 metros son emergidos.

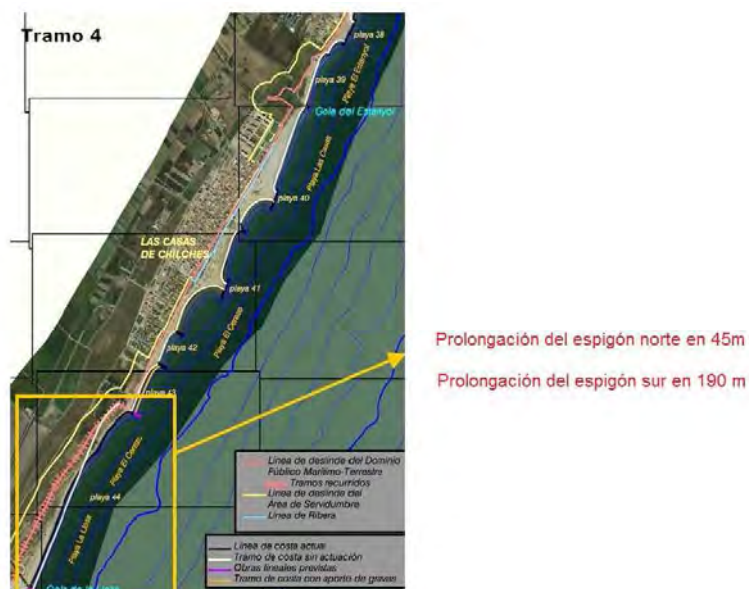


Figura 6.6: Actuaciones propuestas en el municipio de Chilches (Fuente: IH Cantabria 2011)

### Municipio de Almenara:

1. Prolongación del espigón existente en el extremo Norte en 200 m, de los que los primeros 70 m son emergidos y en el extremo Sur en 275 m, de los que los primeros 100 m son emergidos). Y relleno de 175.000 m<sup>3</sup> de grava.

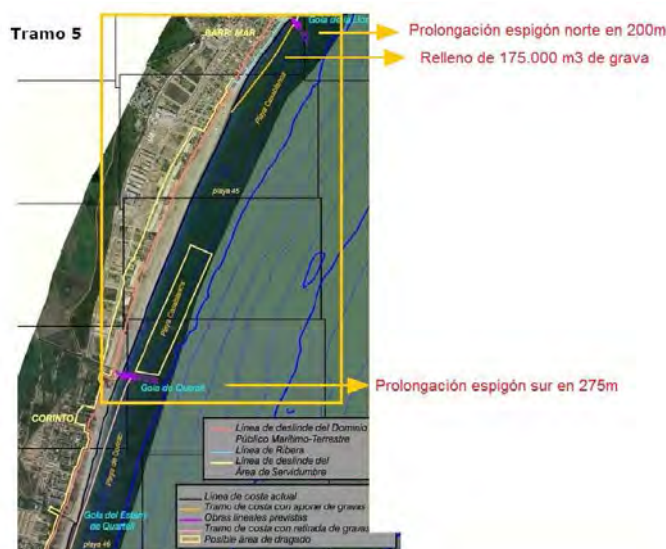


Figura 6.7: Actuaciones propuestas en el municipio de Almenara (Fuente: IH Cantabria 2011)

Municipio de Sagunto (Corinto-Almardá):

1. Prolongación del espigón existente en el extremo Norte en 325 m, de los cuales los 150 m son emergidos. Retirada de 74.425 m<sup>3</sup> de gravas. Y relleno de 630.506 m<sup>3</sup> de arena.

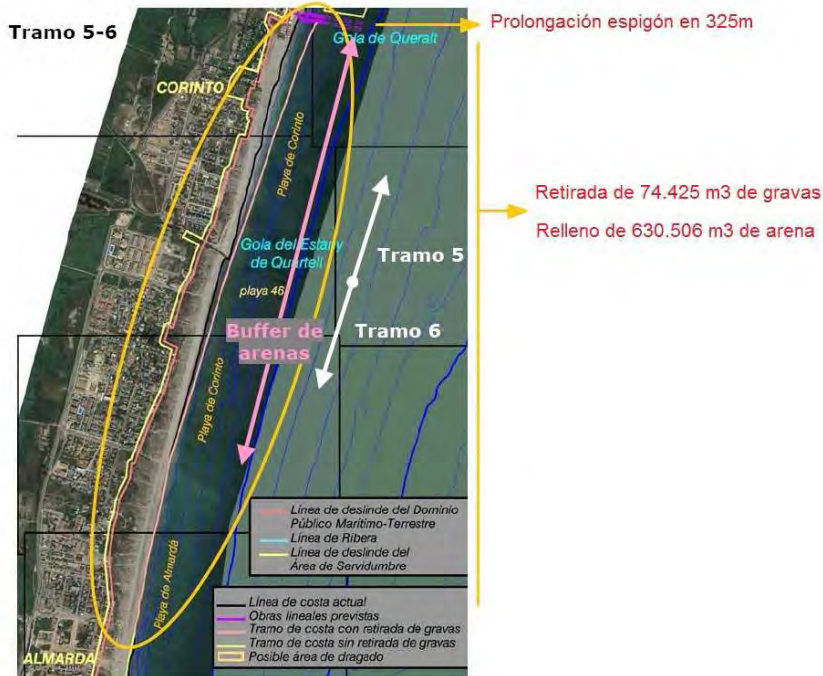


Figura 6.8: Actuaciones propuestas en el municipio de Sagunto (Corinto-Almardá) (Fuente: IH Cantabria 2011)

Municipio de Canet de Berenguer:

1. Construcción de un espigón de 265 m y relleno de 193.524 m<sup>3</sup> de arena



Figura 6.9: Actuaciones propuestas en el municipio de Canet de Berenguer (Fuente: IH Cantabria 2011)

### Municipio de Sagunto:

1. Dragado frente al puerto de Siles de 90.506,61 m<sup>3</sup> de arena en el recinto Norte y de 88.104,50 m<sup>3</sup> de arena en el recinto Sur.
2. Construcción de un dique exento de 180 m de longitud y dragado de 258.370,90 m<sup>3</sup> de arena.

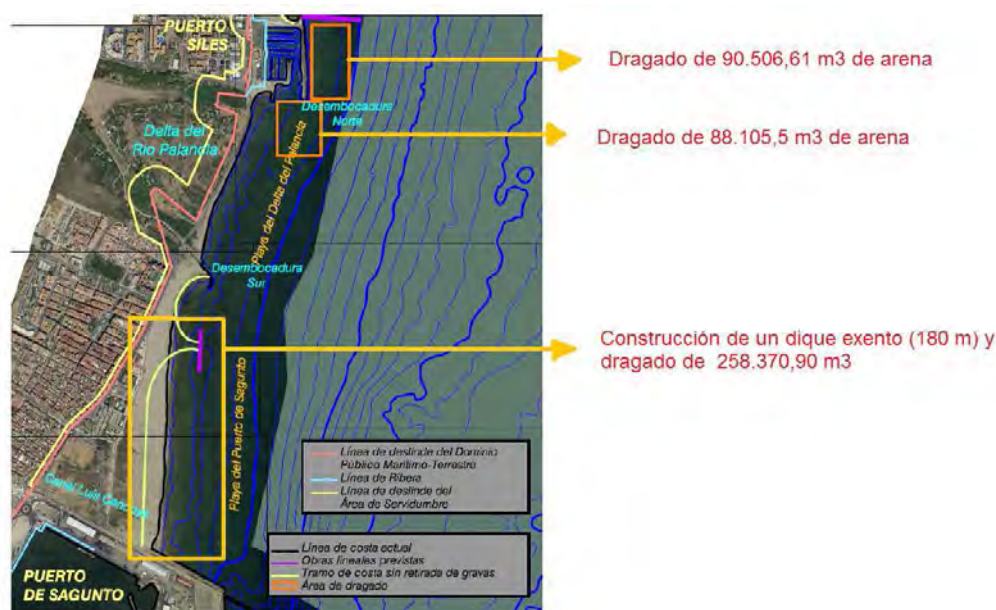


Figura 6.10: Actuaciones propuestas en el municipio de Sagunto (Fuente: IH Cantabria 2011)

### 6.1.4 Actuaciones propuestas en el proyecto de KV Consultores 2009

En el Estudio de Alternativas del proyecto de “Lucha contra la erosión en las playas del término municipal de Almenara, (Castellón)” se analizaron las siguientes propuestas de actuación:

1. Apilamiento masivo
2. Retirada estratégica con demolición
3. Aportes periódicos
4. Playa encajada en el norte y recirculación en el resto
5. Playa encajada en el norte y alargamiento gola sur
6. Construcción de espigones
7. Construcción de espigones y diques en T
8. Prolongación protección de escollera





- Alternativas de mejora y acondicionamiento de la playa seca

### 1. Alternativas de trazado de la pasarela peatonal

Las actuaciones encaminadas a restablecer la conexión con el mar contemplan la estabilización de las dos playas existentes en la zona norte de la actuación y la ejecución de aberturas de 12 m en el escollerado longitudinal, que permita el desarrollo de otras dos playas interiores en la zona sur del tramo de actuación.

Como parte de la solución dirigida a rehabilitar ambientalmente la playa seca y el entorno del marjal se propone la colocación de una pasarela peatonal.

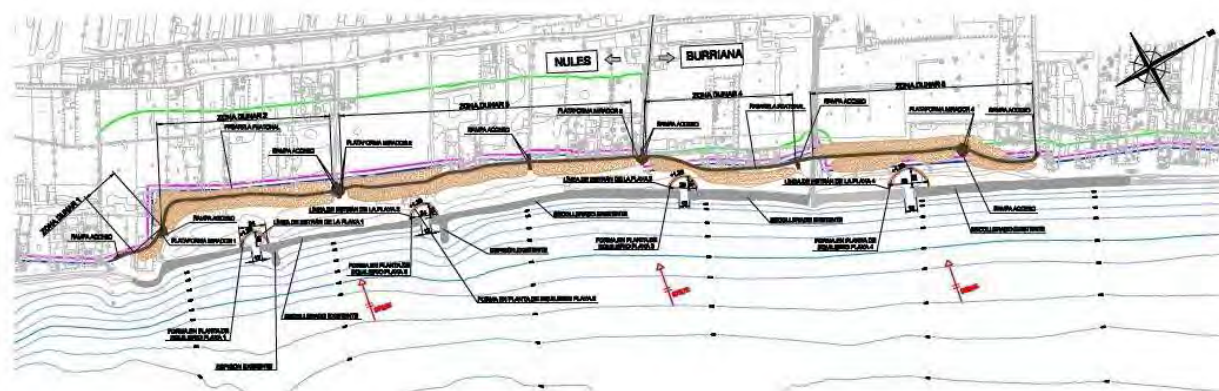


Figura 6.12: Actuaciones propuestas en la marjal de Nules y Sur de Burriana (Fuente: IBERPORT CONSULTING 2010)

### 6.1.6 Actuaciones propuestas en el proyecto de CLOTHOS 2010

En el proyecto “Regeneración de la playa al Sur del puerto de Burriana, T.M. de Burriana (Castellón)”, se propone la creación de una playa artificial, apoyada y abrigada a poniente con objeto de mejorar las infraestructuras existentes y derivado de la situación existente.

Las alternativas que se contemplaron como posible actuación, en dicho proyecto, fueron:

Alternativa 0: No actuar

Alternativa 1: Dique de cierre perpendicular recto y vertido de arena

Alternativa 2: Dique de cierre perpendicular con planta quebrada y vertido de arena

Alternativa 3: Dique de cierre perpendicular con planta curvada y vertido de arena

Finalmente la alternativa elegida fue la alternativa 1, consistente en la ejecución de un dique de escollera perpendicular recto y vertido de arena para restituir la playa.



Figura 6.13: Actuaciones propuestas al sur del puerto de Burriana (Fuente: CLOTHOS 2010)

### 6.1.7 Actuaciones propuestas en el proyecto de TRAGSATEC 2010

El objeto del proyecto de “Mejora de la accesibilidad y protección de la costa al sur de Burriana (Castellón)” es el análisis de las obras necesarias para proteger el acceso al litoral al sur del puerto de Burriana, así como los tramos de costa adyacentes.

La actuación propuesta incluye la construcción de una nueva obra de defensa, así como la creación de una plataforma de playa estable en el trasdós de la estructura.

En las siguientes figuras se indica el emplazamiento de la actuación propuesta al igual que una planta general de las obras.

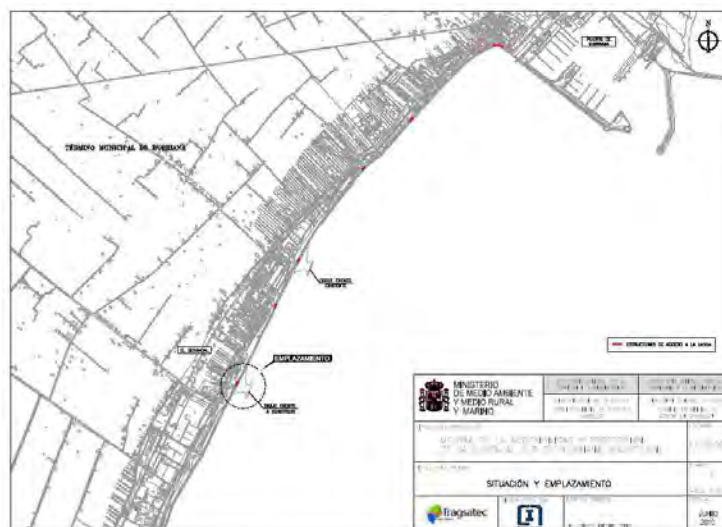


Figura 6.14: Situación de la actuación propuesta (Fuente: TRAGSATEC 2010)



Figura 6.15: Planta de la actuación propuesta al sur del puerto de Burriana (Fuente: TRAGSATEC 2010)

### 6.1.8 Resumen de las actuaciones propuestas en trabajos anteriores para el tramo II

Finalmente a modo de resumen, se presentan las siguientes propuestas de actuación en cada una de las playas, del tramo II, de cada uno de los trabajos desarrollados con anterioridad.

Las playas situadas en este tramo, que comprende desde el puerto de Burriana hasta el puerto de Sagunto, de norte a sur son:

#### 1) Playa Sur de Burriana:

##### **IH Cantabria 2011**

- Construcción de un espigón de 258 m y vertido de 174.493 m<sup>3</sup> de arena.
- Construcción de dos diques exentos de 86 m y vertido de 11.088 m<sup>3</sup> de grava en playa situada al norte y vertido de 11.413 m<sup>3</sup> de grava en la playa situada al sur.
- Excavación mecánica en playa seca de 4.090 m<sup>3</sup> y relleno de 2.912 m<sup>3</sup> de grava.

##### **IBERPORT CONSULTING 2010**

- Restablecimiento de la Marjal con el mar.
- Mejora y acondicionamiento de la playa seca.

##### **CLOTHOS 2010**

- Construcción de un dique de escollera perpendicular recto y vertido de arena.

##### **TRAGSATEC 2010**

- Construcción de un dique exento y vertido de arena.

#### 2) Playa de Nules:

##### **IH Cantabria 2011**



CEDEX

- Recrecimiento espigón norte, prolongación espigón sur y vertido de 8.649 m<sup>3</sup> de grava.
- Prolongación espigón y vertido de 7.075 m<sup>3</sup> de grava.

3) Playa de Moncófar:

**IH Cantabria 2011**

- Prolongación del espigón norte y relleno de 2.200 m<sup>3</sup> de grava.
- Prolongación en 7 m del espigón intermedio y relleno de 4.643 m<sup>3</sup> de grava.
- Construcción de un dique exento de 185 m y relleno de 18.216 m<sup>3</sup> de grava.

4) Playa de Chilches:

**IH Cantabria 2011**

- Prolongación del espigón norte en 45 m y relleno de 23.023 m<sup>3</sup> de grava.

5) Playa de la Llosa:

**IH Cantabria 2011**

- Prolongación del espigón sur en 190 m.

6) Playa de Almenara:

**IH Cantabria 2011**

- Prolongación espigón existente en extremo norte en 200 m y relleno de 175.000 m<sup>3</sup> de grava.
- Prolongación de espigón existente en extremo sur en 275 m.

**KV Consultores 2009**

- Construcción de dos espigones y vertido de unos 194.428 m<sup>3</sup> de grava

7) Playas de Corinto:

**IH Cantabria 2011**

- Prolongación espigón existente en el extremo norte en 325 m, retirada de 74.425 m<sup>3</sup> de gravas y relleno de 630.506 m<sup>3</sup> de arena.

8) Playa de Canet de Berenguer:

**IH Cantabria 2011**

- Construcción de un espigón de 265 m y relleno de 193.524 m<sup>3</sup> de arena.

9) Playa del puerto de Sagunto:

**TYPSA 2007**

- Recirculación de arena del puerto de Sagunto.

### IH Cantabria 2011

- Dragado frente al puerto de Siles de 90.506 m<sup>3</sup> de arena y de 88.104 m<sup>3</sup> de arena al sur.
- Construcción de un dique exento de 180 m de longitud y dragado de 258.370 m<sup>3</sup> de arena.

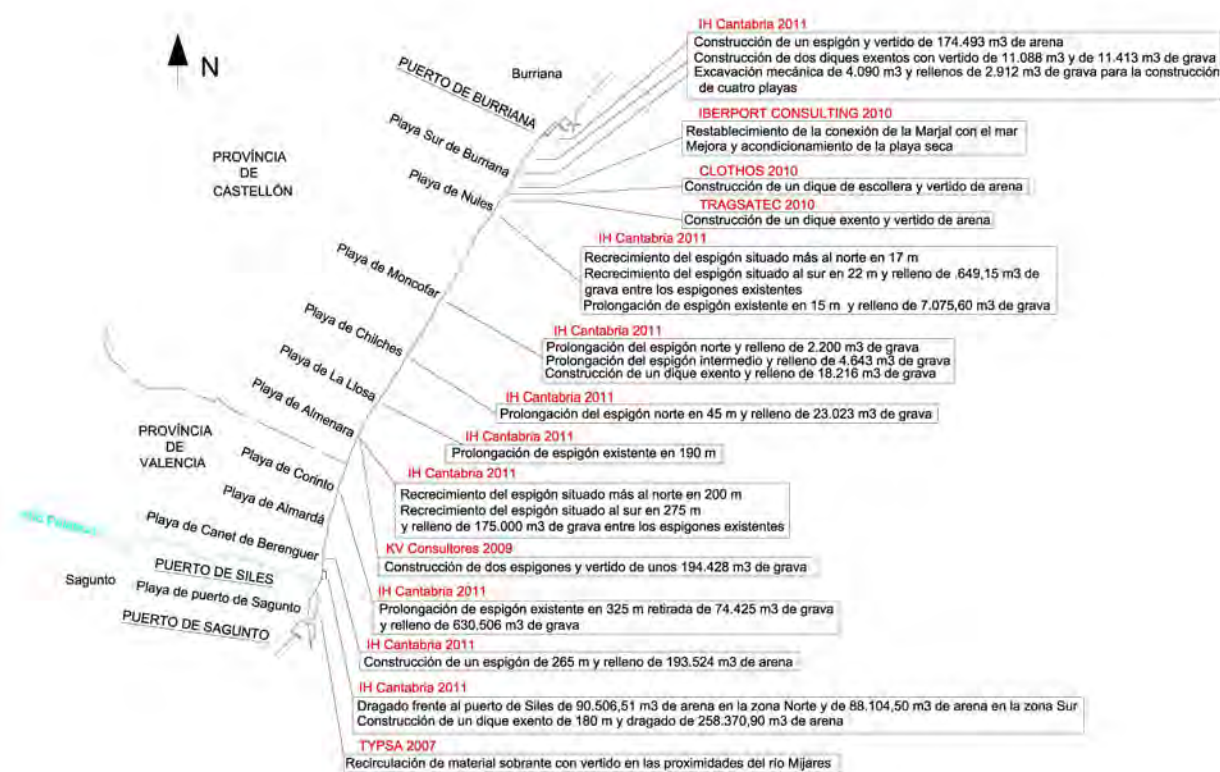


Figura 6.16: Actuaciones propuestas en trabajos anteriores

## 6.2 SITUACIÓN Y COMPORTAMIENTO GENERAL DEL TRAMO II EN LA ACTUALIDAD

La evolución que se ha producido en este sector de la costa situada entre los puertos de Burriana y Sagunto se ha estudiado en el informe parcial precedente. Para conocer la situación evolutiva actual se tiene que recurrir a analizar los datos que en él se presentan para los años más cercanos al presente. Ello se hace utilizando los datos fotográficos que contiene el servidor Google Earth de Digital Globe y Terrametrics.

La evolución estudiada en el informe precedente solamente alcanzaba hasta el año 2006. Por ello se han ido eligiendo fotografías aéreas que se solapan con este año. Se ha realizado una comparación de las líneas de orilla de la secuencia de fotografías de los años 2004, 2007, 2009, 2011, y 2012, para cada uno de los dos sub tramos en que se divide esta unidad fisiográfica:

- 2.1: Puerto de Burriana – Playa de Casablanca (Almenara)
- 2.2: Playa de Casablanca (Almenara) – Puerto Siles (de Canet de Berenguer)
- 2.3: Puerto Siles – Puerto de Sagunto

El resultado se inserta en las figuras adjuntas.

Sub tramo 2.1: Puerto de Burriana – Playa de Casablanca (Almenara):

Este sub tramo puede dividirse, a su vez por las playas indicadas en el apartado introductorio de este capítulo:

- Playa Sur de Burriana
- Playa de Nules
- Playa de Moncófar (playas de Pedro Rojas, El Grao, Masbo, Tamarit, La Torre y L'Estanyol)
- Playa de Chilches (playas de Las Casas y El Cerezo/Xilxes)
- Playa de La Llosa

La primera de las playas, Sur de Burriana, tiene poco que decir ya que todo su frente está formado por un dique longitudinal de escollera; salvo una pequeña playa construida al abrigo de un dique exento de escollera de 90 m de longitud y 9 de anchura, paralelo a la costa y situado a una distancia de 40 m de ella. La playa forma un tómbolo con una gran superficie de estrán. La longitud de la playa al pie del tómbolo es de 75 m, mientras que en su cabeza es de 35 m. La evolución reciente de esta playa se muestra en la figura adjunta en la que se aprecia las oscilaciones que ésta ha ido sufriendo desde 2007 hasta 2012.

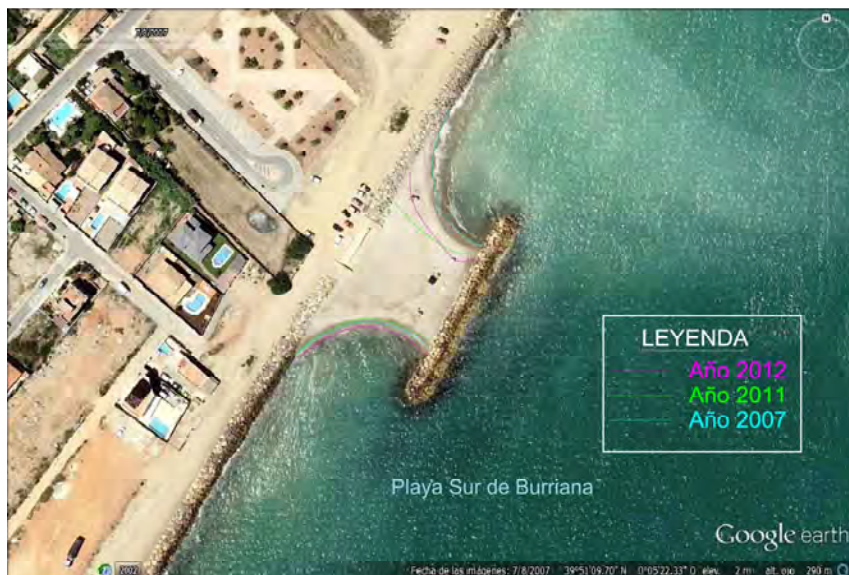


Figura 6.17: Evolución reciente del tómbolo de la playa Sur de Burriana (Foto: Google Earth y Digital Globe)

Tras el dique longitudinal de escollera se halla la playa de Nules, cuya evolución reciente, entre los años 2004 y 2012, se muestra en la figura adjunta. Se aprecia una oscilación en la zona norte de todas las celdas: con pérdida de material en los años 2007 y 2010 y una recuperación en 2012.

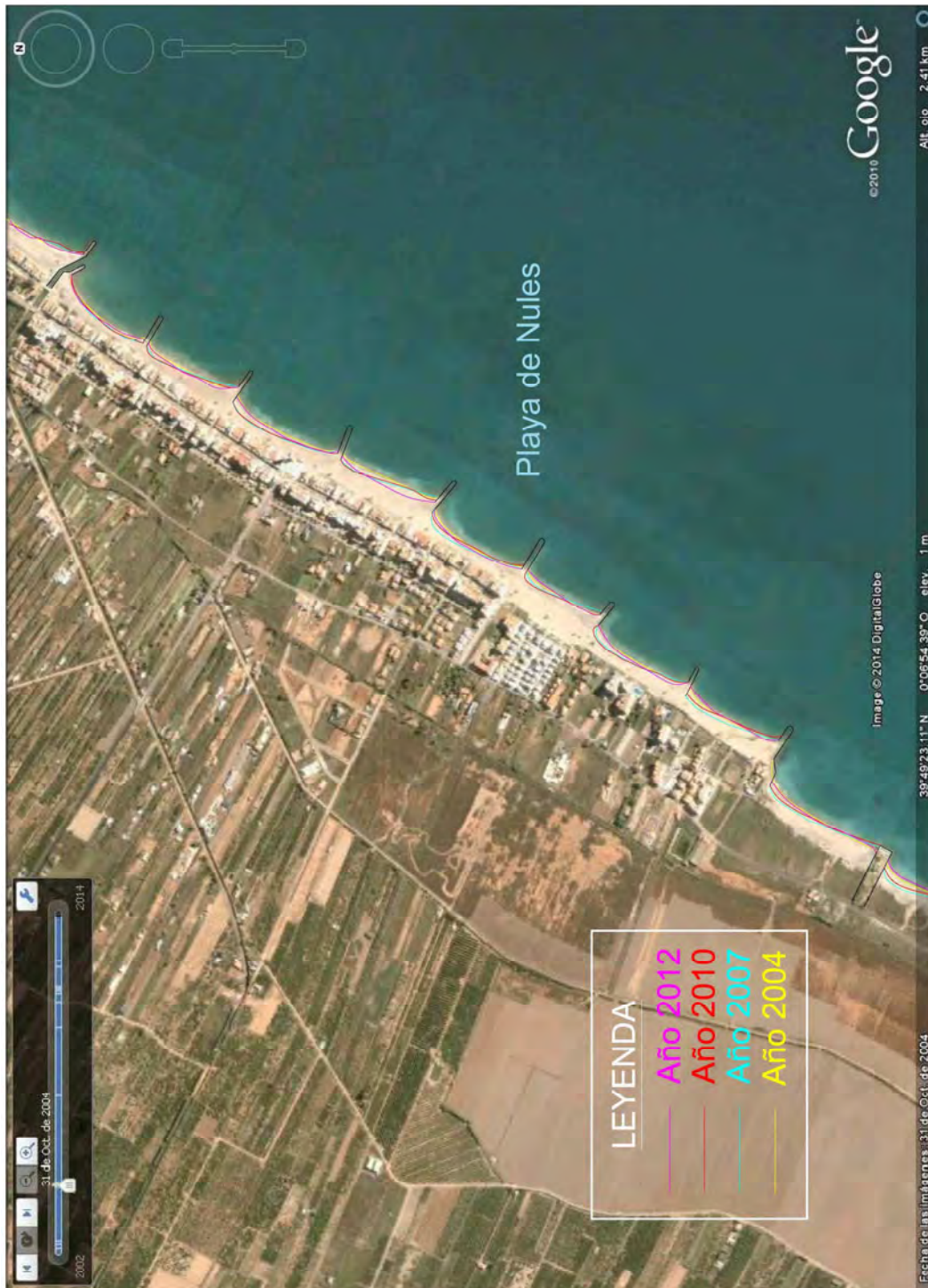


Figura 6.18: Evolución reciente de la playa de Nules (Foto: Google Earth y Digital Globe)



A continuación se halla la playa de Moncófar, cuya evolución reciente, entre los años 2004 y 2012, se muestra en la figura adjunta. Se aprecia crecimiento generalizado en todas las celdas en 2012, especialmente en la zona sur de todas ellas.



Figura 6.19: Evolución reciente de la playa de Moncófar (Foto: Google Earth y Digital Globe)



A continuación se halla la playa de Chilches, cuya evolución reciente, entre los años 2004 y 2010, se muestra en la figura adjunta. Se aprecia que no ha existido un crecimiento real en el tramo, únicamente al sur de los diques exentos se produjo una oscilación, con valores mínimos en 2007 y máximos en 2004 y 2010.



Figura 6.20: Evolución reciente de la playa de Chilches (Foto: Google Earth y Digital Globe)



El último de los tramos lo forma la playa de La Llosa, a continuación de Chilches, cuya evolución reciente, entre los años 2004 y 2012, se muestra en la figura adjunta. Se aprecia que no ha existido cambio apreciable en ella; solamente se detecta un leve crecimiento de la playa al sur, apoyada en el dique de encauzamiento de la gola del Estany de Almenara.



Figura 6.21: Evolución reciente de la playa de Chilches (Foto: Google Earth y Digital Globe)

Sub tramo 2.2: Playa de Casablanca (Almenara) – Puerto de Canet de Berenguer:

Este sub tramo puede dividirse, a su vez por las playas indicadas en el apartado introductorio de este capítulo:

- Playa de Almenara (playa de Casablanca)
- Playa de Corinto
- Playa de Almardá
- Playa de Canet de Berenguer

La primera de las playas, de Casablanca, ha sufrido una profunda erosión, con retrocesos máximos de la línea de orilla en torno a 75 m.



Figura 6.22: Evolución reciente de la playa de Casablanca-Almenara (Foto: Google Earth y Digital Globe)



La evolución de las siguientes playas, Corinto y Almardá, muestra que no se ha producido prácticamente variaciones; si bien, se aprecia una tendencia a retroceso en la zona norte y una acumulación en la sur. Esta acumulación se traslada con mayor intensidad a la siguiente playa al sur, de Canet de Berenguer, donde continuamente ha ido creciendo hasta, prácticamente alcanzar el extremo del dique de Puerto Siles, con crecimientos de la línea de orilla superiores a 50 m; lo que supone un aumento de superficie de playa en 2,4 km de 120.000 m<sup>2</sup> que corresponderían a un volumen aproximado de 700.000 m<sup>3</sup>.



Figura 6.23: Evolución reciente de las playas de Canet de Berenguer y Puerto de Sagunto (Foto: Google Earth y Digital Globe)

### Sub tramo 2.3: Puerto de Canet de Berenguer – Puerto de Sagunto:

Solamente posee la playa del Puerto de Sagunto, apoyada en él y cuyo límite se encuentra en el espigón norte curvo. Esta playa ha tenido un crecimiento continuo, con avances superiores a los 40 m, que corresponderían a un volumen de sedimento acumulado en ella de cerca de 250.000 m<sup>3</sup>.

### 6.3 ZONAS SENSIBLES EN EL TRAMO II

La alteración en el sistema litoral primitivo de todo el tramo de costa en estudio hasta convertirlo en dos sistemas litorales independientes, produce distorsiones en la costa al variar los parámetros de la dinámica litoral; tanto el flujo de sedimentos que provienen de la costa norte como, también, los sedimentos propios del sistema. A lo largo del tiempo, especialmente cuando la erosión ha sido tal que ha mermado la capacidad de defensa de las playas, dejando terrenos de cultivo a merced de la invasión marina y las zonas urbanas vulnerables a los embates marinos, se ha ido actuando mediante defensas con visión de solución local del problema.

Si se observa el mapa evolutivo de la costa en este tramo II, entre 1956 y 2006, se aprecian grandes zonas con fuerte erosión, tomando como origen el año 1956 y tan solo un área de fuerte acumulación de sedimento.

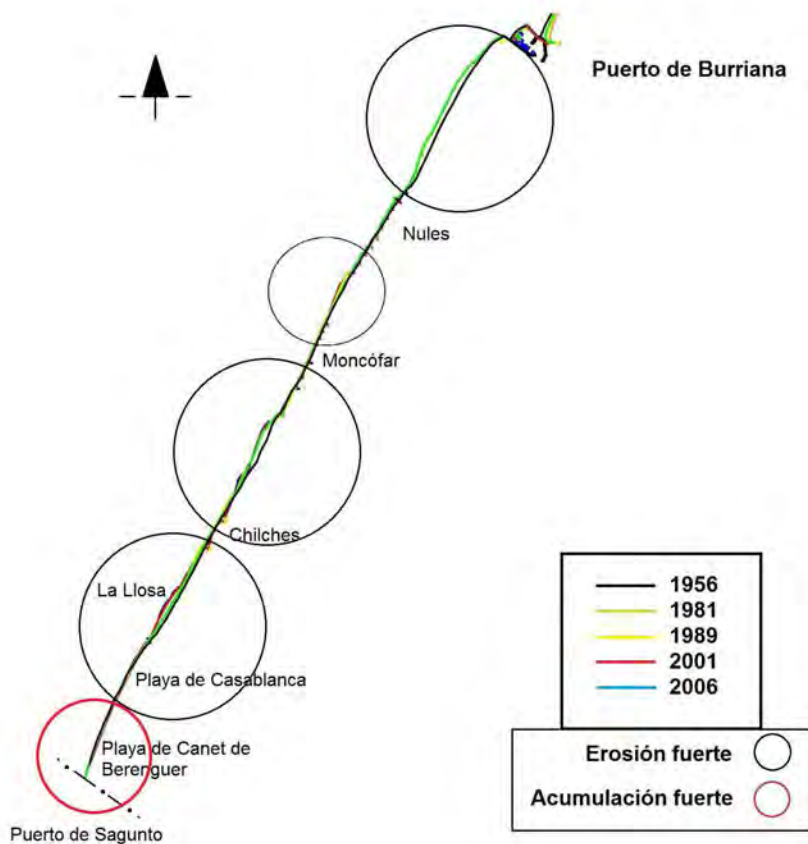


Figura 6.24: Evolución del tramo II con el comportamiento de cada una de las zonas



Pero, no debe considerarse que el problema comience en 1956; este año es un estado intermedio ya erosivo que paulatinamente fue agravando la situación creada por la ubicación de unos puertos en medio de una gran playa con un fuerte transporte longitudinal de sedimentos y la reducción de aportes propios del sistema.

Si se observa el plano general de evolución de la costa, se aprecia que las zonas con mayor rigidez, con la presencia de obras de defensa como espigones y dique exentos, han retrocedido menos que aquellas que no lo estaban; pero, probablemente esa rigidez haya alterado más la costa que sin ella. Otros tramos como la playa Sur de Burriana tuvo un gran retroceso entre 1956 y 1981 que obligó a rigidizarla mediante un dique de escollera longitudinal y, por ello, la línea se aprecia estable en la actualidad.

Los tramos con mayor retroceso continuado hasta la actualidad se centran en el sur de Moncófar y norte de Chilches, la playa de La Llosa y Casablanca. Por el contrario, las playas de Canet de Berenguer y del Puerto de Sagunto han acumulado gran cantidad de sedimento, en torno a 950.000 m<sup>3</sup>.

Todas estas descompensaciones sedimentarias son las que deben abordar las actuaciones a plantear en esta tramo, unidas a una tendencia a la uniformidad de comportamiento.

## 6.4 ACTUACIONES PROPUESTAS EN EL TRAMO II

A la vista de las propuestas de mejora en este Tramo II de la costa situada entre los puertos de Burriana y Sagunto realizada en anteriores trabajos, y la evolución que se ha ido produciendo a lo largo del tiempo, hasta la actualidad, matizada en los apartados anteriores, destacando los puntos sensibles detectados de la costa. A continuación se indican las posibles actuaciones a realizar, enumeradas por playas, de norte a sur. En ellas se muestra la posible actuación, mientras el grado de prioridad que se aprecia que puede tener, se realiza en un apartado específico de la priorización de actuaciones y secuencias en que debieran realizarse, de llevarse a cabo, si unas son dependientes de otras. Además, para cada playa, se indica el porqué de la variación, si la hubiere, de la actuación propuesta en este informe y aquella que se hizo en otro anterior.

En conjunto el tramo se ha dividido en tres zonas de actuación:

La primera de ellas discurre entre el puerto de Burriana y el Canal de la Bola que separa los términos municipales de La Llosa y Almenara en Castellón. A su vez ésta se ha subdividido en cuatro sub zonas.

La segunda de las zonas discurre entre el Canal de La Bola y el puerto de Canet de Berenguer, Puerto Siles, que a su vez se ha subdividido en dos sub zonas, separadas por el límite provincial entre Castellón al norte y Valencia al sur que forma la gola del Estany.

La tercera de las zonas corresponde a la playa del Puerto de Sagunto. Para mayor concreción estas son las divisiones:

### Sub tramo II-1 (Puerto de Burriana – canal de la Bola)

- 1) Puerto de Burriana – Nules
- 2) Nules (gola de la Marjalería) – Moncófar
- 3) Moncófar- Desembocadura del río Belcaire
- 4) Desembocadura del río Belcaire – canal de la Bola

#### Sub tramo II-2 (Canal de la Bola – puerto de Canet de Berenguer)

- 1) Canal de la Bola – gola de Queralt (o del Estany)
- 2) Gola de Queralt – puerto de Canet de Berenguer

#### Sub tramo II-3 (Puerto de Canet de Berenguer – puerto de Sagunto)

Las actuaciones que a continuación se presentan se han asociado cuando una es imprescindible para realizar la otra. Por ello, algunas actuaciones están compuestas por vertido de sedimento y un espigón sur de apoyo, ya que el apoyo norte correspondería a la actuación anterior; si ella no se realizase, para llevar a cabo la actuación en cuestión, habría que contemplar la realización del apoyo norte perteneciente a la actuación norte dicha.

#### **6.4.1 Actuaciones entre el puerto de Burriana y Nules**

En este sub tramo de costa se ha tenido en cuenta de todas las propuestas de anteriores trabajos, para realizar la propuesta de las actuaciones. Así, recorriendo de norte a sur la zona, la primera de las actuaciones se sitúa justo al sur del puerto de Burriana se mantiene básicamente la propuesta de trabajos anteriores; pero, debe tenerse en cuenta a la hora de realizar el proyecto que existe en la actualidad una salida náutica en el comienzo del contradique sur del puerto.

A continuación, frente a la playa Sur de Burriana existen algunas urbanizaciones en las que tienen como toda playa la formada por un tómbolo al abrigo de un dique exento. Las propuestas anteriores preveían la construcción de otros dos diques exentos, con similares características al actual. Aunque el comportamiento observado de este dique no es óptimo, esta alternativa de actuación puede ser viable y compatible con la regeneración futura de todo el tramo mediante la construcción de espigones y vertido de arena.



*Figura 6.25: Playa en la playa Sur de Burriana formada al abrigo de un dique exento*

El siguiente tramo de costa no alberga en su trasdós urbanización alguna, siendo una zona protegida y sin demanda de actuación. Por ello solamente se contempla vertido de arena, siendo éste compatible con las calas realizadas hasta la fecha en el dique que forma la playa Sur de Burriana, al sur del dique exento, en dos puntos de la costa.

La formación de pequeñas calas mediante la abertura de huecos en el dique longitudinal existente en la actualidad es barata y podría ser una alternativa viable a corto plazo dejando la obra de mayor envergadura, vertido de arena, propuesta para medio o largo plazo.



Figura 6.26: Calas en la playa Sur de Burriana formadas por la abertura de un hueco en el dique longitudinal (foto: DGSCyM)

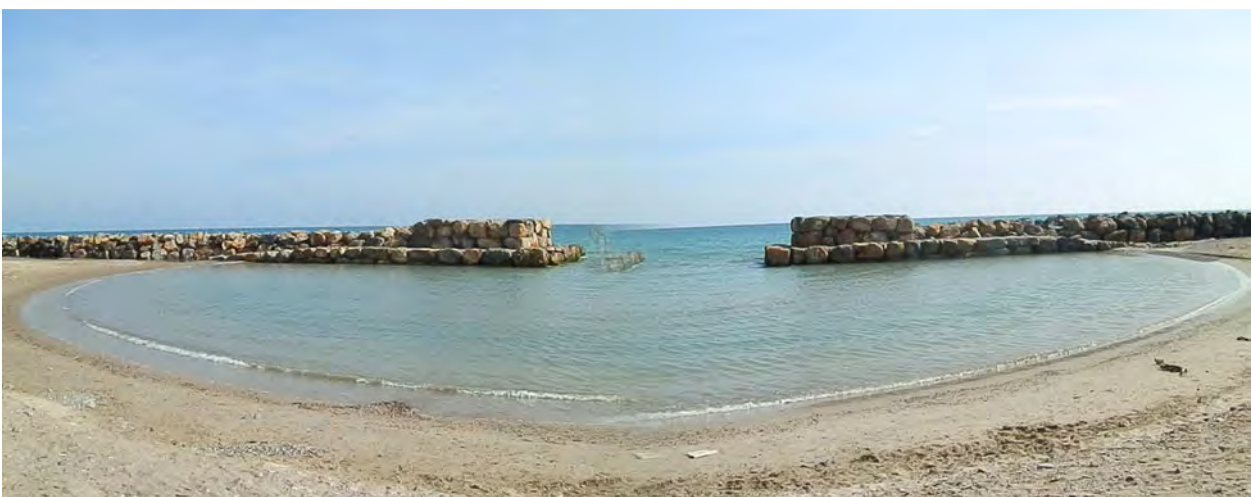


Figura 6.27: Panorámica de una de las calas formada en la playa Sur de Burriana



Siguiendo hacia el sur se entra en la zona urbana de la costa de Nules, donde el primer tramo norte tiene una anchura de playa muy estricta y, por tanto, más desprotegida. Es aquí donde se prevé la construcción de espigón el L y la ampliación de los actuales diques de encauzamiento de la gola del Estany; estando estas actuaciones acorde con las propuestas de actuación de anteriores trabajos.

El tipo de material que se ha considerado es arena, y difiere de las anteriores propuestas que suponían grava como material de aporte. Aunque la elección de un tipo u otro de material no invalidaría ninguna propuesta. Solamente variaría el volumen a verter y, posiblemente, la longitud de espigón a diseñar. Para este tramo, la necesidad total de arena rondaría 1.255.000 m<sup>3</sup>

Las actuaciones propuestas para esta zona del sub tramo serían:

1. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de, al menos 5 m, en las proximidades del espigón sur del puerto de Burriana. Y vertido de unos 300.000 m<sup>3</sup> de arena, entre estos espigones.
2. **Alternativa 1:** Construcción de dos diques exentos de 86 m y vertido de 11.088 m<sup>3</sup> de grava, en la playa situada al norte y 11.413 m<sup>3</sup> de grava en la playa situada al sur.  
**Alternativa 2:**
  - (2) Construcción de un espigón en L, hasta una profundidad de unos 5 m, separado aproximadamente 815 m del espigón situado más al norte. Y vertido de unos 290.000 m<sup>3</sup> de arena al norte.
  - (3) Construcción de un espigón, hasta una profundidad de unos 5m, separado aproximadamente unos 700 m del espigón situado más al norte. Y vertido de unos 210.000 m<sup>3</sup> de arena al norte.
4. Vertido de unos 315.000 m<sup>3</sup> de arena entre el espigón norte y el espigón sur situado a una distancia aproximada de 1130 m.
5. Construcción de un espigón en L, hasta una profundidad de unos 5m, separado aproximadamente 1130 m del espigón situado más al norte. Y vertido de unos 140.000 m<sup>3</sup> de arena. Y construcción de un espigón (alargamiento del dique de encauzamiento de la gola del Estany), hasta una profundidad de unos 5m, separado aproximadamente 736 m del espigón situado más al norte.

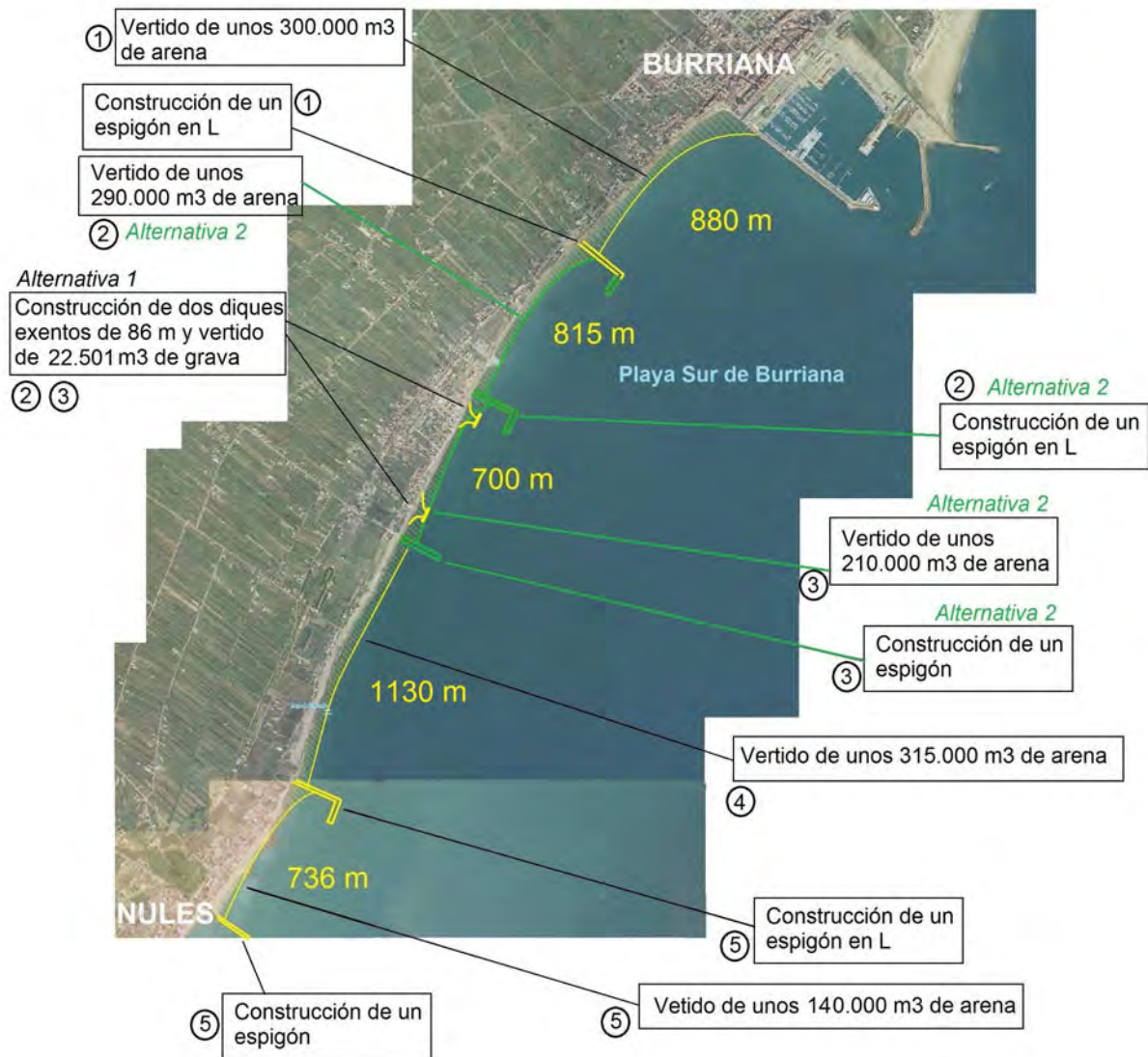


Figura 6.28: Actuaciones propuestas en el Tramo II entre el puerto de Burriana y Nules (foto: DGSCyM)

#### 6.4.2 Actuaciones entre Nules (gola de la Marjalería) y Moncófar

Como sucede con la zona anterior del sub tramo, en esta Estrategia se ha optado por una continuidad estructural de la costa. Su objetivo es reducir el número de espigones, adoptando para ellos una forma en L que provoque una difracción local que compense, en parte, el transporte longitudinal y por tanto reduzca las descompensaciones sedimentarias entre espigones, para ello deben alargarse éstos reduciendo lo más posible la tasa de sedimento que lo rebase, aproximándose por tanto a la profundidad de cierre activa.

Las anteriores propuestas solamente preveían actuaciones menores y locales; no siendo incompatible con las propuestas que plantea esta Estrategia; pudiéndose realizar en una primera fase, como se ha indicado en la zona anterior. De la misma manera hay que hablar del

material elegido, arena o grava que, como se ha escrito: el tipo de material que se ha considerado es arena, y difiere de las anteriores propuestas que suponían grava como material de aporte. Aunque la elección de un tipo u otro de material no invalidaría ninguna propuesta. Solamente variaría el volumen a verter y, posiblemente, la longitud de espigón a diseñar.

Esta zona cubre gran parte del frente costero de Nules y el frente costero norte de Moncófar. En la zona anterior (II-1-1) ya se ha propuesto como obra más al sur la construcción de un espigón que coincidiría con el dique norte de encauzamiento de la gola del Estany, y se complementaría con el alargamiento del dique sur de encauzamiento de dicha gola en esta zona.

El frente costero de Nules se plantea mejorarlo, no solamente, recreciendo su espigón sur, que preveían los anteriores trabajos, sino alargando determinados espigones, dándoles una forma de L en planta que incrementen la difracción a su resguardo y reduzcan la descompensación de la anchura de playa, realizándose en todo el frente urbano.

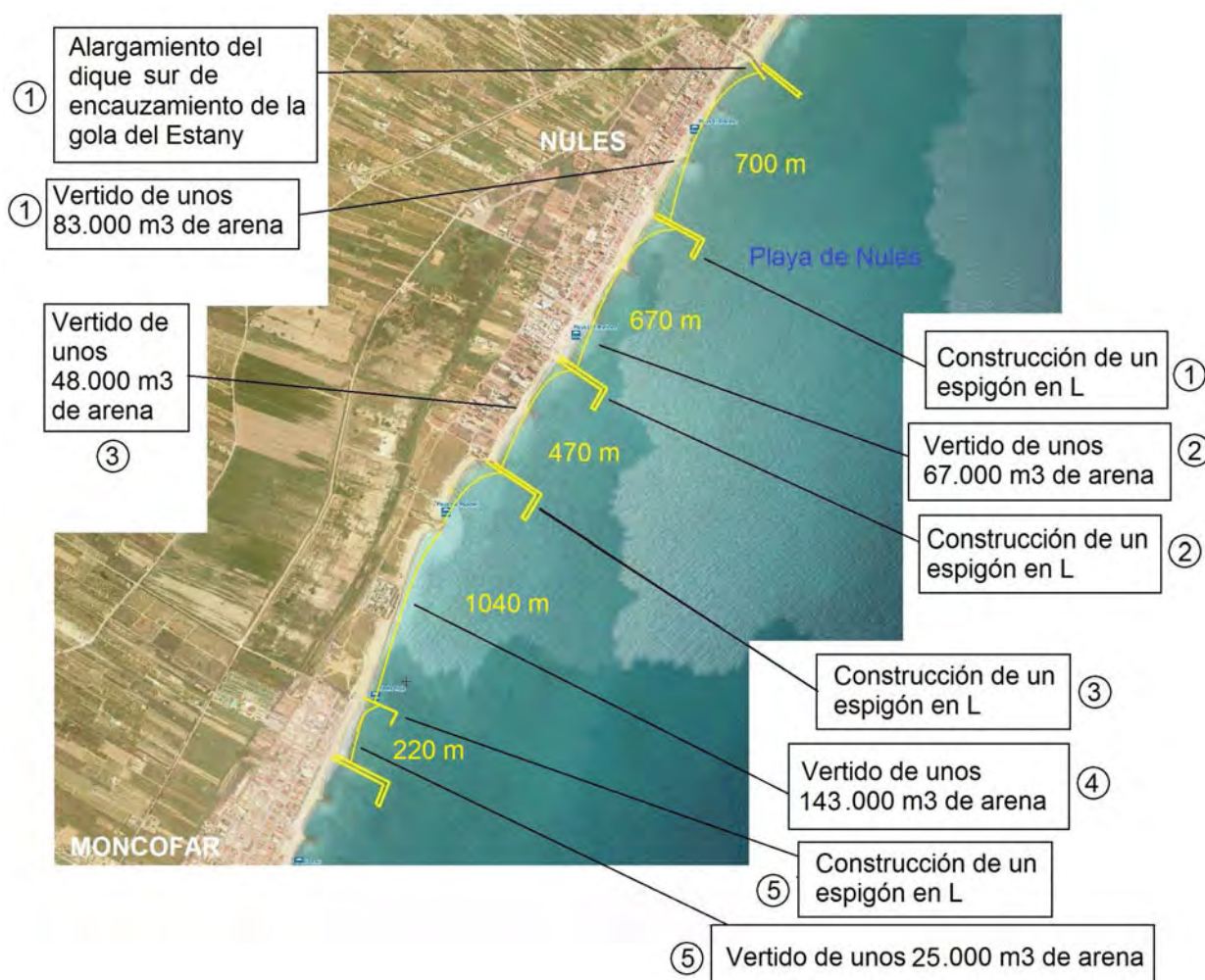


Figura 6.29: Actuaciones propuestas en el Tramo II entre Nules y Moncófar (foto: DGSCyM)



En el tramo de costa que discurre entre el final de la zona urbanizada de Nules costa y Moncófar, solamente se prevé la mejora mediante alimentación con arena.

Junto al comienzo del frente norte de Moncófar se propone la construcción de un espigón en L, para que forme una pequeña celda de 220 m, hasta los actuales espigones. Esta celda se cierra al sur con un espigón en L, prolongación del actual; pero esta obra se ha incluido como propuesta de actuación situada en la zona siguiente.

Para este tramo, la necesidad total de arena rondaría 364.000 m<sup>3</sup>

Las actuaciones propuestas para esta zona del sub tramo serían:

1. Alargamiento del dique sur de encauzamiento de la gola del Estany (que forma con la actuación 5 de la zona II-1-1 anterior el conjunto de diques de encauzamiento de la gola). Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5 m, separados a unos 700 m de los diques de encauzamiento. Y vertido de unos 83.000 m<sup>3</sup> de arena.
2. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5 m, separado unos 670 m del nuevo espigón situado más al norte. Y vertido de unos 67.000 m<sup>3</sup> de arena.
3. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5 m, separado unos 470 m del nuevo espigón situado más al norte. Y vertido de unos 48.000 m<sup>3</sup> de arena.
4. Vertido de unos 143.000 m<sup>3</sup> de arena en 1040 m de longitud entre el espigón de la actuación anterior al norte y el espigón de la siguiente actuación al sur.
5. Construcción de un espigón en L en el límite de los términos municipales de Nules y Moncófar y vertido de unos 25.000 m<sup>3</sup> de arena entre éste y el siguiente espigón sur a 220 m del primero.

#### **6.4.3 Actuaciones entre Moncófar- Desembocadura del río Belcaire**

Esta zona es una continuación natural de la anterior. Las propuestas de actuación para mejorarla solamente contemplaban la prolongación del primero, más al norte, de los espigones actuales y del penúltimo de ellos, manteniendo en ambos casos la alineación recta en planta.

El frente está formado, prácticamente, por zonas urbanas del barrio costero de Moncófar. Por ello, se plantea la misma estrategia de actuación propuesta para la misma situación de los tramos anteriores, Nules y Burriana, esto es; reducir el número de espigones, adoptando para ellos una forma en L que provoque una difracción local que compense, en parte, el transporte longitudinal y por tanto reduzca las descompensaciones sedimentarias entre espigones, para ello deben alargarse éstos reduciendo lo más posible la tasa de sedimento que lo rebase, aproximándose por tanto a la profundidad de cierre activa.

El tipo de material que se ha considerado es arena, y difiere de las anteriores propuestas que suponían grava como material de aporte. Aunque la elección de un tipo u otro de material no invalidaría ninguna propuesta. Solamente variaría el volumen a verter y, posiblemente, la longitud de espigón a diseñar. Para este tramo, la necesidad total de arena rondaría 316.000 m<sup>3</sup>

Las actuaciones propuestas para esta zona del sub tramo serían:

1. Construcción de dos espigones en L hasta una profundidad de unos 5m, separados aproximadamente unos 685m. Y vertido de unos 128.000 m<sup>3</sup> de arena.
2. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5m, separado aproximadamente unos 840m del espigón situado más al norte. Y vertido de unos 105.000 m<sup>3</sup> de arena.
3. Recrecimiento del espigón existente situado al sur, separado aproximadamente unos 660m del espigón situado al norte. Y vertido de unos 83.000 m<sup>3</sup> de arena.

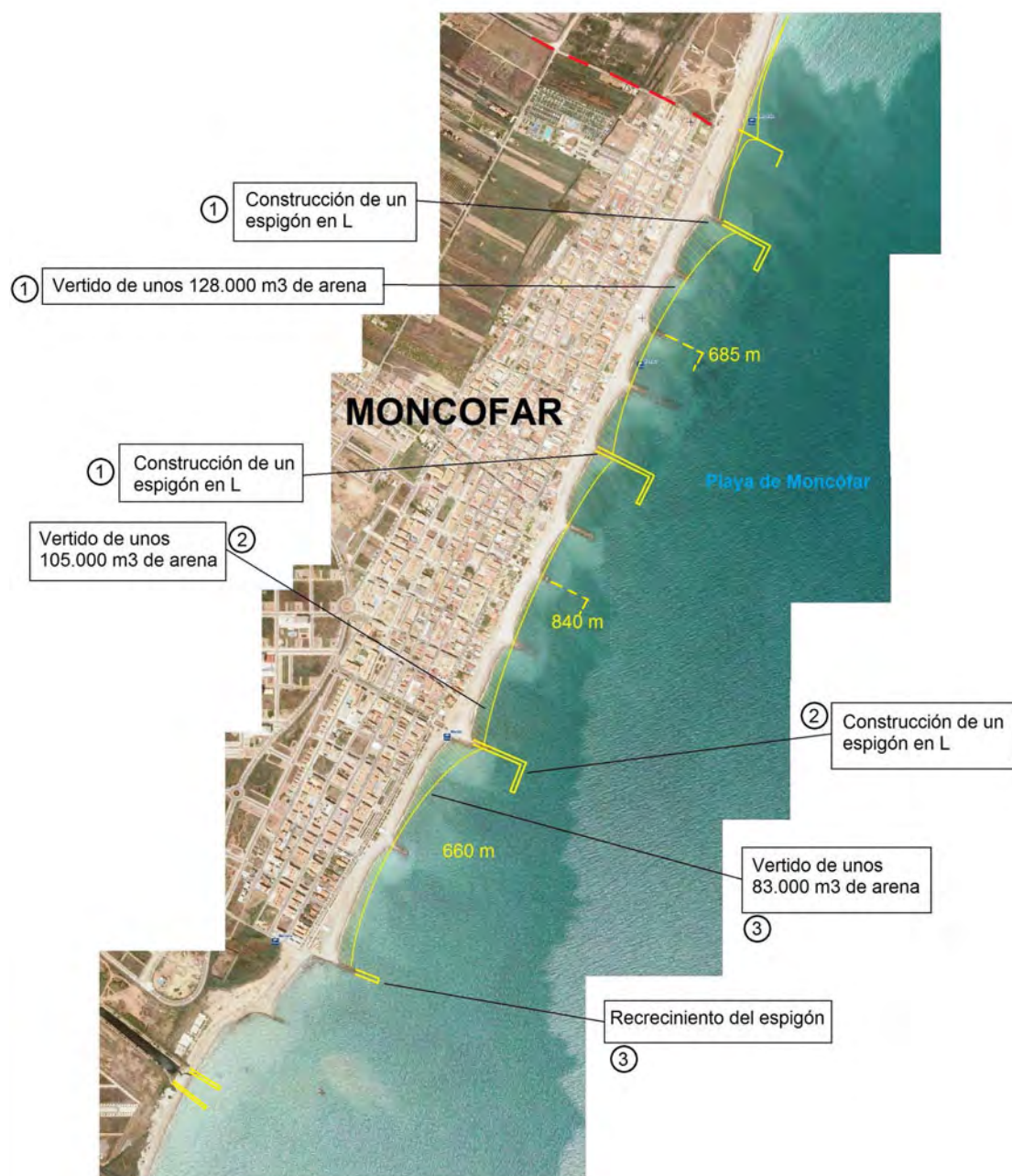


Figura 6.30: Actuaciones propuestas en el Tramo II entre Moncofar y río Belcaire (foto: DGSCyM)



Podría pensarse también como alternativa al conjunto de actuaciones planteadas para esta sub zona, la construcción de espigones intermedios en las celdas propuestas; especialmente en la primera más al norte y en la central, para ello bastaría con prolongar los existentes en la actualidad. Si bien, esto se debería hacer si en el análisis del proyecto constructivo se viese que podía no ser suficientemente estables con la longitud de las celdas planteadas.

#### **6.4.4 Actuaciones entre la desembocadura del río Belcaire y el canal de la Bola**

Esta zona costera comprende los términos municipales de Moncófar al norte, Chilches en el centro y La Llosa un pequeño tramo al sur.

El frente litoral de Moncófar se rompe por la desembocadura del río Belcaire, inicio de esta zona, que en la actualidad no posee diques de encauzamiento, pero sería conveniente prever su construcción, aunque no se contemplaba como propuesta en anteriores trabajos. A continuación se extiende, por una corta longitud, la urbanización llamada de La Torre, por la antigua torre de Biniesma del siglo XVI cuyos restos se hallan en sus inmediaciones. Su frente se encuentra protegido por una defensa longitudinal de escollera poco efectiva. En esta zona, anteriores trabajos proponían la construcción de un dique exento de 185 m (IH Cantabria 2011). En esta estrategia se ha preferido optar por una continuidad en la tipología de obras de defensa propuestas para la costa norte, esto es; construir un espigón en L y vertido de material formando una celda hasta la siguiente gola, que podría completarse con otro dique en L a la mitad del recorrido de 930 m si los estudios previos del proyecto detectasen poca estabilidad. Con ello se lograría una playa continua.

Cerca del extremo sur del término municipal de Moncófar se halla una nueva gola muy deteriorada que debiera acondicionarse dando una salida adecuada mediante dos diques de encauzamiento, aprovechando el pequeño espigón junto a la citada gola. Uno de los proyectados diques de encauzamiento de la citada desembocadura debiera proyectarse con forma en planta de L para formar una playa continua y reducir la descompensación de anchura de playa actual que se extiende hasta el dique exento norte de Chilches, provocando una difracción local que compense, en parte el transporte longitudinal y, por tanto, reduzca la descompensación sedimentaria entre espigones, para lo que deben alargarse éstos, reduciendo lo más posible la tasa de sedimento que lo rebase, aproximándose su profundidad máxima a la de cierre activa de la playa.

Los diques exentos en Chilches no han funcionado correctamente; produciéndose un problema en medio de ellos, en el centro de la celda que forma. En la actualidad se ha solucionado con escollera; pero podría contemplarse la posibilidad de construir un dique exento que estabilizase esta celda; si bien, dado la estabilidad que posee en la actualidad, esta obra no se ha incluido en la Estrategia.

Tras el dique exento sur de Chilches, la playa se hace muy estricta en anchura, no estando en muy buenas condiciones. En anteriores trabajos no se preveía actuación alguna en este tramo. En esta estrategia, se propone la prolongación del segundo espigón sur tras el indicado dique exento. Su forma en planta sería en L, similar a los anteriores espigones, por las mismas razones técnicas apuntadas para ellos. Más al sur, podría pensarse en la construcción de otro espigón en L, si el vertido de arena que se propone en este tramo no fuese lo suficientemente estable.

La Llosa tiene un frente costero muy corto; pero es, junto al sur de Chilches, donde se ha ido produciendo en los últimos tiempos las mayores erosiones del tramo. Por ello se plantea verter arena y la construcción de un espigón en L en el punto de mayor erosión y, opcionalmente, un segundo espigón en L, si el anterior no diese la suficiente estabilidad a la costa, antes de

alcanzar el final del tramo, desembocadura del canal de la Bola, donde se plantea la prolongación de los diques de encauzamiento, que se trata en la siguiente zona de costa.

También, se contempla la retroalimentación de una cantidad importante de arena procedente de la playa de Canet de Berenguer, que ha llegado hasta su prácticamente total colmatación. Para este tramo, la necesidad total de arena rondaría 464.000 m<sup>3</sup>.

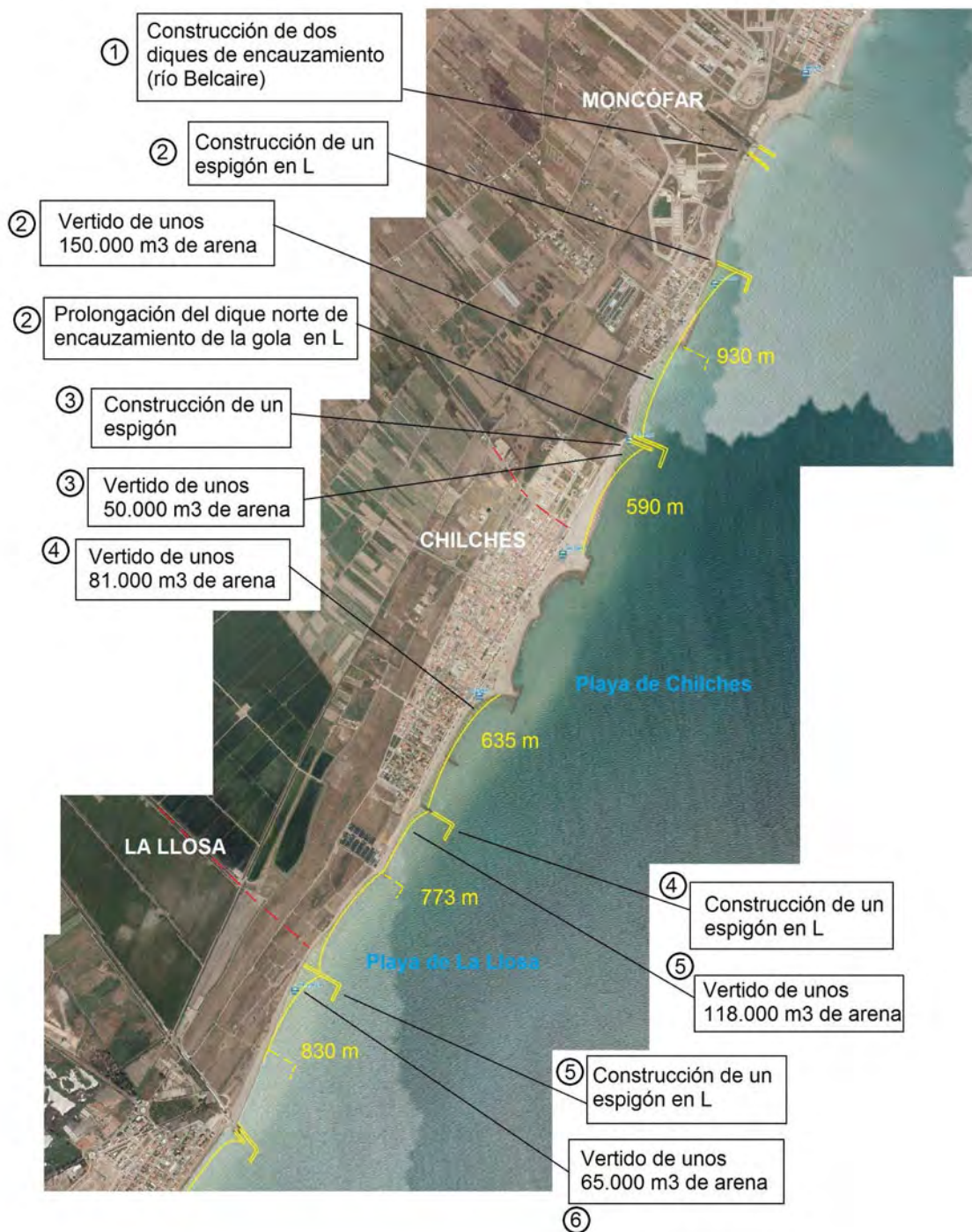


Figura 6.31: Actuaciones propuestas en el Tramo II entre el río Belcaire y el canal de la Bola (foto: DGSCyM)



Las actuaciones propuestas para esta zona del sub tramo serían:

1. Construcción de dos diques de encauzamiento en la desembocadura del río Belcaire.
2. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5m, prolongación del dique norte de encauzamiento de la gola situada entre Moncófar y Chilches. Y vertido de unos 150.000 m<sup>3</sup> de arena.
3. Construcción de un espigón en L, hasta una profundidad de unos 5m. Y vertido de unos 50.000 m<sup>3</sup> de arena.
4. Construcción de un espigón en L, hasta una profundidad de unos 5m. Y vertido de unos 81.000 m<sup>3</sup> de arena.
5. Construcción de un espigón en L, situado más al sur, hasta una profundidad de unos 5m. Y vertido de unos 118.000 m<sup>3</sup> de arena.
6. Vertido de unos 65.000 m<sup>3</sup> de arena entre el espigón situado al norte y el espigón de la gola de la Llosa.

Como se ha indicado anteriormente: Dependiendo del comportamiento que se aprecie en el estudio y análisis de los proyectos de actuación, podría pensarse en la construcción de espigones intermedios en la primera de las celdas, la más al norte, de 930 m para compartimentarla en dos y en la penúltima y última de las celdas correspondiente a la playa de La Llosa.

#### **6.4.5 Actuaciones entre el canal de la Bola y la gola de Queralt (o del Estany)**

El tramo II, sub tramo 2 forma todo un conjunto en el que solamente se aprecia una gran descompensación sedimentaria, sobre la cual debiera actuarse. Todas las alternativas de actuación de anteriores trabajos contemplan esta situación, proponiendo una retroalimentación de los depósitos acumulados en la playa de Canet de Berenguer. Al norte del sub tramo, playa de Casablanca se aprecia una continuada pérdida de playa y en la que se ha propuesto construir dos espigones el L cortos que formarían una celda.

Para la realización de esta Estrategia se ha preferido optar por un espigón más largo el L que abarque su influencia hasta el tramo de playa estable; si bien pudiera considerarse la primera de las propuestas, dos espigones cortos en L, como alternativa a la planteada de un espigón en L largo para ello deben alargarse aproximándose a la profundidad de cierre activa.

También puede optarse por reforzar este sub tramo que forma el frente de la zona norte de la playa de Casablanca añadiendo otra obra de defensa y apoyo del material en el entorno donde la costa gira bruscamente. Este apoyo podría ser de dos tipos: Optar por la construcción de un dique exento que suavice este cambio. O bien, realizar un nuevo espigón en L de características similares que el proyectado para el norte

Para este tramo, la necesidad total de arena rondaría entre 45.000 y 85.000 m<sup>3</sup>

Por tanto, pueden considerarse tres alternativas de la misma actuación en la playa de Casablanca de Almenara, siendo estas:



*Alternativa 1:*

1. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad en torno a 5 m, prolongación del dique de encauzamiento de la gola y vertido de unos 45.000 m<sup>3</sup> de arena.

*Alternativa 2:*

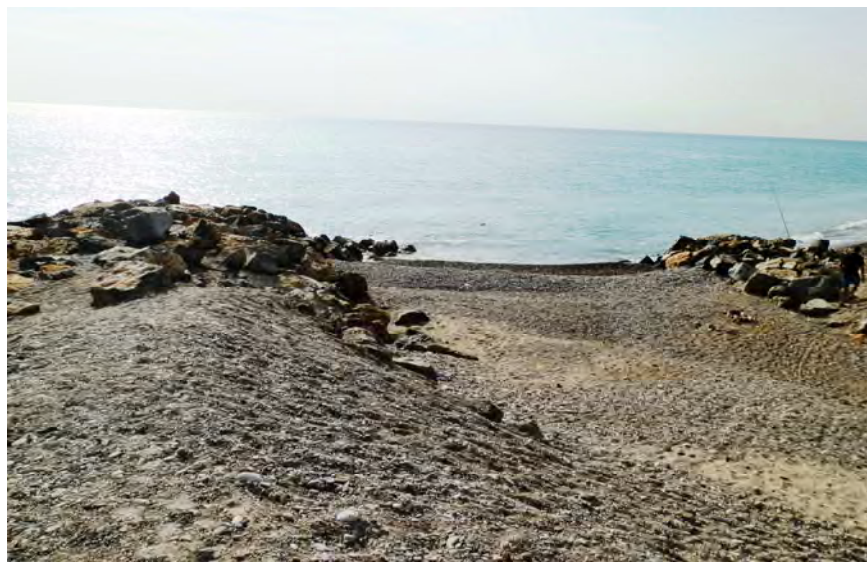
1. Construcción de dos espigones en L, uno de ellos, el norte, prolongación del dique de encauzamiento norte del canal de la Bola y prolongación del dique sur de encauzamiento. El segundo espigón a unos 750 m al sur del primero y vertido de unos 45.000 + 40.000 m<sup>3</sup> de arena en la celda y aguas abajo apoyada en el segundo espigón.

*Alternativa 3:*

1. Construcción de un espigón en L, uno de ellos, el norte, prolongación del dique de encauzamiento norte del canal de la Bola y prolongación del dique sur de encauzamiento. Construcción de un dique exento a unos 750 m al sur del espigón y vertido de unos 45.000 + 40.000 m<sup>3</sup> de arena.

Para facilitar la gestión del sedimento desde las fuentes de suministro, playas del Puerto de Sagunto y de Canet de Berenguer, se ha optado por una actuación intermedia entre estas y las zonas con déficit que se situaría junto a la desembocadura de la gola de Queralt (o del Estany), límite provincial entre Castellón al norte y Valencia al sur.

La alternativa se plantea para llevarla a cabo se ha optado por plantear la prolongación y mejora de los diques de encauzamiento, en muy mal estado en la actualidad, de la desembocadura, evitando el aterramiento y dificultad de desagüe de la gola.



*Figura 6.32: Desembocadura de la gola del Estany o de Queralt en la actualidad*

La actuación que se plantea en este punto, límite provincial entre Castellón y Valencia, sería:

2. Prolongación de los diques de encauzamiento de la gola de Queralt. El dique norte hasta una profundidad de, al menos, 3 m y el sur de 2 m.

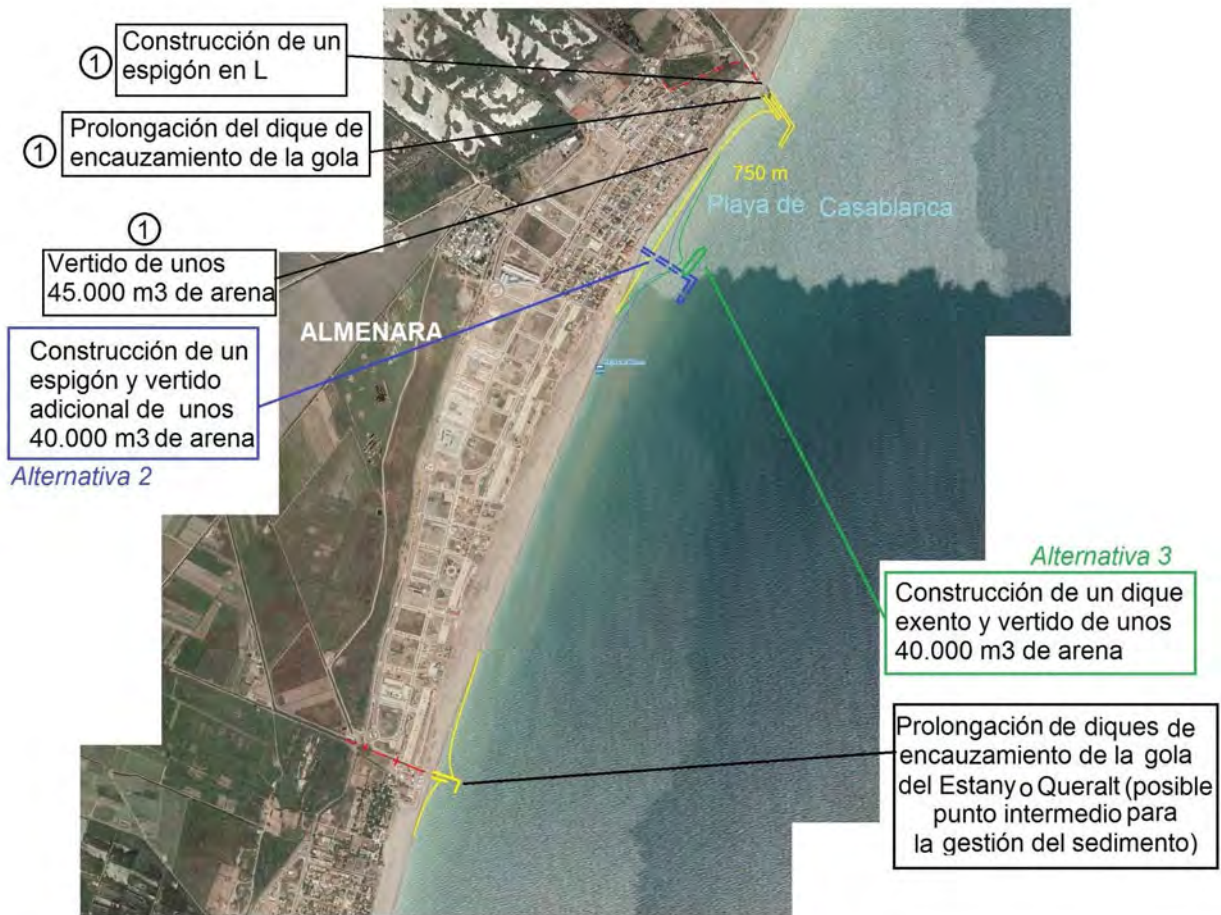


Figura 6.33: Actuaciones propuestas en el Tramo II entre el canal de la Bola y la gola del Estanyo o del Queralt (foto: DGSCyM)

#### 6.4.6 Actuaciones entre la gola de Queralt (Estany) y el puerto de Canet de Berenguer

Desde el canal de la Bola hasta el puerto de Canet de Berenguer la costa es una playa continua, desembocando la gola de Queralt en medio del sub tramo. El transporte longitudinal continuo y el freno que supone a éste el puerto de Canet de Berenguer hace que continuamente se vaya acumulando arena apoyada en el puerto. Esta descompensación sedimentaria hace que el estado de la playa de Copacabana, al norte del sub tramo, cada vez sea peor. Por ello se contempla la retroalimentación de una cantidad importante de arena procedente de la playa de Canet de Berenguer que ha llegado hasta prácticamente su total colmatación; siendo inviable la construcción de un espigón que aumente la capacidad de retención y, por tanto, la descompensación sedimentaria. Debiendo, en un primer choque, reducir la anchura de playa al menos 40 m junto al puerto; siendo el destino de la arena las playas al norte con déficit.

Para este tramo, el excedente total de arena rondaría 580.000 m<sup>3</sup>

La actuación propuesta para esta zona del sub tramo sería:

1. Retroalimentación 1er establecimiento de unos 580.000 m<sup>3</sup> de arena.



Figura 6.34: Actuaciones propuestas en el Tramo II entre la gola del Estany o del Queralt y el puerto de Canet de Berenguer (foto: DGSCyM)

Deben realizarse elementos de control sencillos para poder conocerse cuándo es necesario realizar las retroalimentaciones periódicas, impidiéndose así que se vuelva a una situación como la actual de colmatación del apoyo, ya que la arena que lo alcance intentará sobrepasar el puerto y una gran cantidad pasará a formar parte de los fondos marinos.

#### 6.4.7 Actuaciones entre el puerto de Canet de Berenguer y el puerto de Sagunto

La playa del puerto de Sagunto se halla en neto crecimiento. Teniendo en la actualidad una anchura que oscila entre un mínimo de 85 m y un máximo superior a 270 m. Por ello, no resulta recomendable ninguna obra, como algún trabajo propone. Más bien parece necesario extraer sedimento en una media en torno a 30 m, en un primer momento, que sirva para alimentar las playas aguas arriba con déficit. A la vista de la actuación anterior, se podría considerar esta playa como un depósito de sedimento solamente utilizable si no se hallase otra fuente de sedimento para las actuaciones anteriormente propuestas. El excedente total de arena rondaría 240.000 m<sup>3</sup>.

La actuación propuesta, solamente realizable si no se hallase otra fuente de sedimento para las actuaciones, para esta zona del sub tramo sería:

1. Retroalimentación 1er establecimiento de unos 240.000 m<sup>3</sup> de arena.



Figura 6.35: Actuaciones propuestas en el Tramo II entre el puerto de Canet de Berenguer y el puerto de Sagunto (foto: DGSCyM)

Al igual que se recomienda en la playa apoyada en el puerto de Canet de Berenguer, deben realizarse también en la playa del Puerto de Sagunto elementos sencillos de control de crecimiento de la playa que nos indiquen el momento idóneo para retroalimentar la arena depositada hacia el norte.

## 6.5 RESUMEN DE PROPUESTAS DE ACTUACIÓN EN EL TRAMO II

En la figura adjunta se presenta un resumen de todas las propuestas de actuación planteadas en los apartados anteriores, teniendo en cuenta que todas ellas vienen acompañadas de un orden de prioridad de realización, que se presenta en el capítulo 7 de este informe en el que se trata conjuntamente el grado de prioridad de las actuaciones propuestas en la costa.

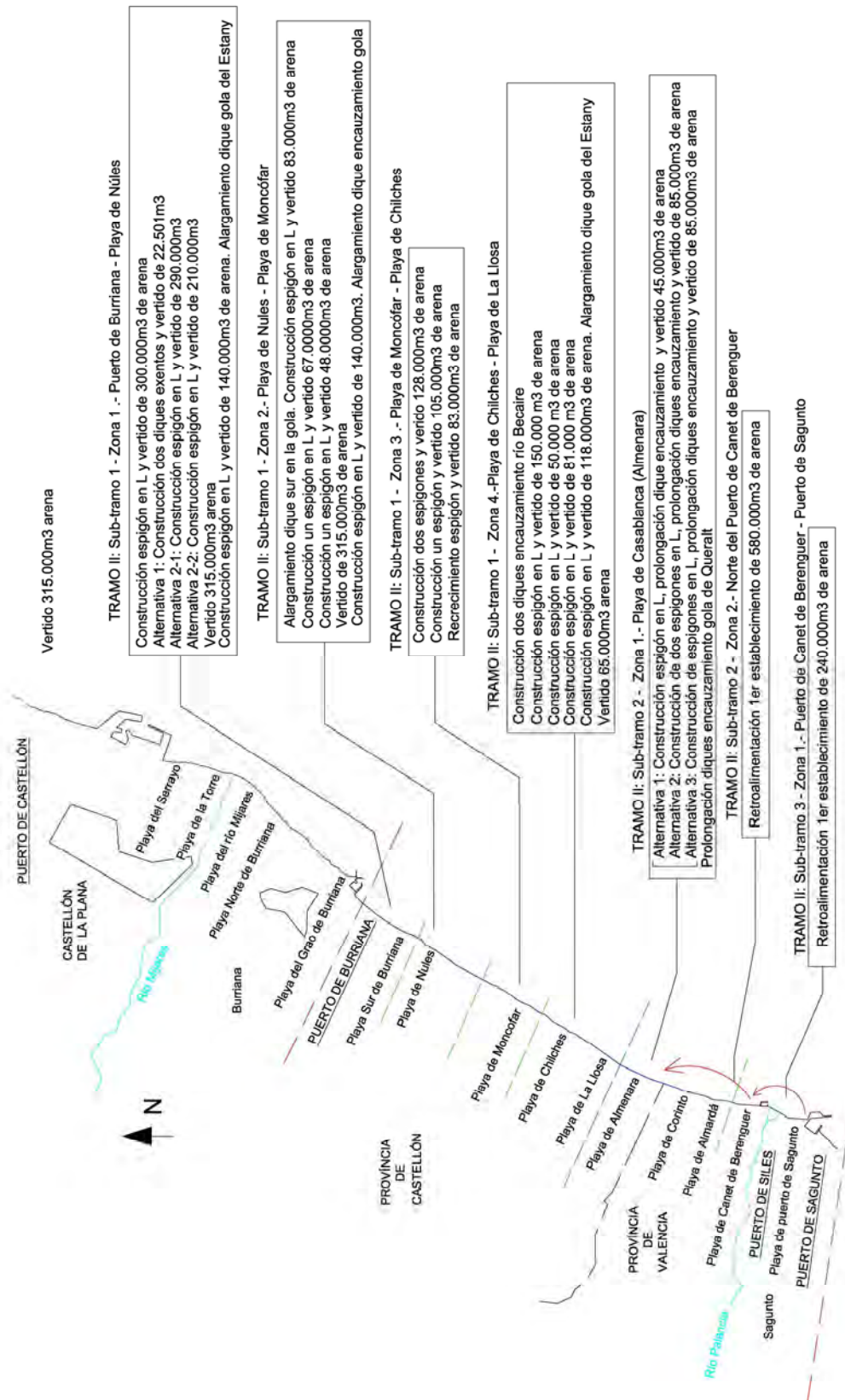


Figura 6.36: Resumen de actuaciones en el Tramo II éntrelos puertos de Burriana y Sagunto



## 6.6 NECESIDADES SEDIMENTARIAS DEL TRAMO II

Las actuaciones propuestas tienen una importante partida de vertido de sedimento que obliga a unas necesidades sedimentarias en el tramo. Si estas se consideran arena, el resumen de ellas sería:

### Sub tramo II-1:

Zona 1	1.255.000 m <sup>3</sup>
Zona 2	364.000 m <sup>3</sup>
Zona 3	316.000 m <sup>3</sup>
Zona 4	464.000 m <sup>3</sup>
<b>Total:</b>	<b><u>2.399.000 m<sup>3</sup></u></b>

### Sub tramo II-2:

Zona 1	45.000 m <sup>3</sup>
Zona 2	- 580.000 m <sup>3</sup> (disponible en el sub tramo)
<b>Total:</b>	<b><u>- 535.000 m<sup>3</sup></u></b>

### Sub tramo II-3:

Zona 1	- 240.000 m <sup>3</sup> (disponible en el sub tramo)
<b>Total:</b>	<b><u>- 240.000 m<sup>3</sup></u></b>

**TOTAL TRAMO II: 1.624.000 m<sup>3</sup>**



## **7. PRIORIZACIÓN Y FASES DE ACTUACIÓN**

La descripción de las propuestas de actuación en los dos tramos en los que se ha dividido la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto es un conjunto de obras a lo largo de la costa; pero, como también se ha indicado, necesitan de una organización también en el tiempo, esto es; dar unas pautas de realización, o lo que es lo mismo una priorización. De ello se ocupa este capítulo que, como primer punto, aborda la metodología seguida para valorar la prioridad de cada una de las actuaciones propuestas. Seguidamente, se analizan las variables y que condicionan esas prioridades y cómo lo hacen. A continuación, se da una prioridad de actuación por sectores y, finalmente, se proponen unas fases generales de realización.

### **7.1 METODOLOGÍA PARA LA PRIORIZACIÓN DE ACTUACIONES**

La decisión de actuar en un lugar de la costa antes o después de otro lugar, o a la vez, suele depender de criterios reglados en los cuales intervienen tanto valores sociales, como medioambientales y económicos que pueden englobarse en las llamadas matrices de decisión en las que se valoran a la vez todas estas variables de forma conjunta. No es el propósito de este informe adentrarse en la construcción de este tipo de metodología reglada para la toma de decisiones; pero, sí utilizar la filosofía que estas metodologías ofrecen.

Las fases de decisión para priorizar las actuaciones propuestas en los apartados anteriores se pueden resumir en los siguientes puntos:

- ✓ Elección de las variables consideradas para la priorización de actuaciones
- ✓ Criterios para la aplicación de las variables y condicionantes de priorización
- ✓ Aplicación a los sectores en que se ha dividido la costa castellonense y valenciana
- ✓ Fases principales de actuación

### **7.2 VARIABLES DE PRIORIZACIÓN**

El estadio de las actuaciones que contemplan las propuestas presentadas en los dos capítulos anteriores debe considerarse como un punto final del proyecto de Estrategia de Actuación en la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto; pero, como se ha indicado anteriormente, no implica necesariamente que tengan que realizarse a la vez, ni tan siquiera de manera concatenada y seguida. La realización de estas acciones dependerá de atender a las necesidades que en cada momento vayan surgiendo en el desarrollo costero del litoral entre los puertos de Castellón y Sagunto. Pero, dentro de que todas estas actuaciones son demandadas, muchas de estas necesidades son prioritarias respecto de otras. Las variables que indican la necesidad o prioridad pudieran dividirse en cuatro tipos:

- Sociales
- Medioambientales
- Económicas
- Seguridad



### **7.2.1 Variables sociales**

Las variables sociales se englobarían dentro de una de las funciones demandada a la playa: Lúdico o de esparcimiento. Las localidades con fachadas costeras tienen en la playa y su entorno uno de los lugares de esparcimiento más utilizados y su existencia suelen ser una demanda colectiva de mejora de su calidad de vida. Pero, ello requiere una cierta continuidad y estabilidad en el tiempo de ese entorno de esparcimiento, siendo admisible los vaivenes debido a las inclemencias del clima marítimo, pero no su desaparición sistemática en poco tiempo tras la reparación de la playa. Ello obliga a acciones que intenten asegurar una cierta perdurabilidad en el tiempo; reduciendo, en lo posible, esa sensación de pérdida sistemática de la playa. Pero como todo entorno urbano, y la playa no es menos, requiere de un cuidado y gestión del bien, en este caso la arena, obligada a realizar retroalimentaciones periódicas que uniformicen la anchura de playa en las celdas en que se ha dividido para un mejor mantenimiento y estabilidad de la playa, reduciendo la intensidad del transporte longitudinal de sedimentos a lo largo de la costa. Con ese mismo objetivo se han diseñado los espigones en L que intentan utilizar la difracción como elemento de retención de arena en los lugares donde primeramente y más intensamente se trasladan hacia el sur.

En ciertos casos, como sucede con Burriana, la erosión costera ha sido lo suficientemente grande como para fragmentar la ciudad.

### **7.2.2 Variables medioambientales**

Las variables medioambientales se englobaría parcialmente dentro de las funciones demandadas a las playas, como hábitat, ya que dentro de este aspecto medioambiental se ha incluido, intentar que los tramos de costa sean lo más naturales posibles. Dentro del aspecto medioambiental podría entenderse la protección de espacios con especial sensibilidad medioambiental como humedales... La costa entre los puertos de Castellón y Sagunto es especialmente sensible al último de estos aspectos, al encontrarse en la franja litoral terrestre a una cota muy baja, La Plana, especialmente sensible a la invasión marina que se ha visto protegida por la llamada "mota" o cordón litoral que recorre la costa que en ocasiones.

### **7.2.3 Variables económicas**

El interés económico de la costa es evidente en una doble visión. Por una parte, los intereses económicos que la costa defiende en su trasdós que se pueden ver afectados si aumenta la vulnerabilidad de la costa. Ello se hace patente debido a la baja cota respecto del mar de los terrenos que en algunos casos no sobrepasa el medio metro, defendidos por las playas y cordón litoral que se desarrolla tras ellas, sustituidos por diques longitudinales en ciertos puntos. Por otra parte, el aspecto lúdico de la playa, una de las tres funciones dadas a las playas, se puede traducir en intereses económicos; tanto desde oferta urbana de esparcimiento, como mejora de la oferta turística. Muchos de los núcleos de población costera de este tramo litoral no tiene un gran desarrollo turístico; frenado, entre otras variables, por el estado de sus playas. Correspondiendo a los frentes costeros con mejor estado de sus playas con los núcleos con mayor desarrollo turístico.

### **7.2.4 Variables de seguridad**

Pero, finalmente, la playa tiene una función de defensa frente a los embates del mar. Esta defensa es tanto más importante e imprescindible cuanto más se va aumentando la



vulnerabilidad de la costa, esto es; cuando se pueden producir daños a personas o bienes derivados de la actividad marina. Gran parte de la costa en estudio tiene su trasdós a una cota muy baja, en algunos lugares a cota 0,5 m, lo que quedaría expuesta a la invasión marina para acciones importantes de oleaje si no existiera playa y el cordón litoral en su trasdós, conocido con el nombre de mota. Cuando esta estructura no existe por haberla erosionado el mar, se ha recurrido a su protección mediante diques longitudinales. Todo ello hace que la seguridad ante la intrusión marina sea un elemento muy importante a tener en cuenta.

### 7.3 CONDICIONANTES DE PRIORIZACIÓN DE LAS ACTUACIONES

Este tramo de costa ha ido sufriendo continuas erosiones desde la construcción de los puertos de Castellón y Burriana, que se han ido agravando con el tiempo. Las soluciones que se han dado históricamente a la erosión continuada de la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto han sido siempre locales. Intentando solucionar un problema en un lugar concreto, independiente del resto. La “onda erosiva” que va recorriendo de norte a sur del tramo parece como si una vez desaparecido la fracción más fina, arena, se hubiera estabilizado; pero esa apreciación no es del todo correcta. La desaparición de la arena y sustitución por gravas y bolos hace que la dinámica sedimentaria cambie; teniendo una apreciación subjetiva de estabilidad, mientras no haya una energía suficiente de oleaje que haga mover este material significativamente hacia el sur. En este contexto, cabe recordar que, desde finales de 2001 y principios de 2002, no ha habido años energéticos de oleaje importantes. Aun así, aunque más lentamente, la fracción gruesa de sedimento, gravas principalmente, aparecen cada vez más frecuentemente en las playas al sur del tramo, Canet de Berenguer. Ello hace sospechar que esta pretendida estabilidad no es tal, sino más bien una ralentización de la erosión debido a los factores anteriormente apuntados.

Desde el punto de vista indicado en el párrafo anterior, hay que elegir entre las dos opciones de sedimento a aportar. No siendo válido hacerlo en un lado de una forma y en la misma unidad o sub unidad sedimentaria de otra; a no ser que se creen barreras lo suficientemente potentes para independizar las dinámicas de uno u otro lado.

Si se opta por la arena, habría que verterla sobre las gravas y bolos actuales; no machacando éstos ni retirarlos. Los espigones de protección deben ser lo suficientemente largos para aproximarse a la profundidad activa de cierre; pudiendo suponerse situada entre 6 y 7 m, por ello en las alternativas se indica una profundidad en torno a 5 m; pero que tiene que ser fijada con mayor exactitud en la realización del proyecto de la actuación.

A la hora de abordar los condicionantes que prioricen las actuaciones, debe tenerse en cuenta a análisis de las variables sociales, medioambientales, económicas y de seguridad, realizado en el apartado anterior.

Las prioridades de actuación se ordenan según los tres escalones siguientes:

- Prioridad alta
- Prioridad media
- Prioridad baja

La primera de ellas, prioridad alta, conlleva la necesidad actual y pronta de realizar la actuación. Puede ser debido, al menos, a una de las siguientes causas:



- Núcleo urbano o turístico sin playa que la demande, al menos por tres de los tipos de variables antes mencionadas.
- Estado de deterioro grave de una de las variables.
- Falta de seguridad.

La segunda de ellas, prioridad media, conlleva la necesidad actual de mejora, pero no una urgencia inmediata o pronta. Puede ser debido principalmente a, al menos, una de las siguientes causas:

- Núcleo urbano o turístico sin playa que la demande, al menos por dos de los tipos de variables antes mencionadas.
- Estado de deterioro apreciable de una de las variables.

La tercera de ellas, prioridad baja, conlleva la necesidad actual de mejora, pero no una urgencia inmediata o pronta. Puede ser debido principalmente a, al menos, una de las siguientes causas:

- Núcleo urbano o turístico sin playa que la demande, al menos por uno de los tipos de variable antes mencionada.
- Estado apreciablemente mejorable de una de las variables.

## 7.4 PRIORIDADES DE LAS ACTUACIONES

Con las premisas expuestas en los dos apartados anteriores, a continuación se definen los grados de prioridad de cada una de las actuaciones planteadas para cada una de los tramos en que se ha dividido la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto.

### **7.4.1 Prioridad de las actuaciones en el Tramo I: Puerto de Castellón – Puerto de Burriana**

Se analizan una por una las actuaciones indicadas en el capítulo 5, siguiendo la ordenación que en éste se ha efectuado y, al final, se da una lista por orden de prioridades de las actuaciones.

#### **7.4.1.1 Prioridades en el sub tramo 1: Puerto de Castellón y el río Mijares**

Las actuaciones propuestas en este sub tramo se pueden dividir en dos zonas: La más al norte playa de Ben Afelí se ha considerado la que recoge el proyecto de actuación previo de esta zona. Y la segunda la propuesta está realizada para esta Estrategia de Actuación.

- 1- En la playa de Ben Afelí: acortamiento del dique exento norte y retirada del dique exento sur.

- 2- En la playa de La Torre: construcción de un espigón algo más al sur del actual dique exento sur. Y alargamiento de espigón inmediatamente al sur del actual dique exento sur.
- 3- En las playas de La Torre y Ben Afelí: vertido de 83.776 m<sup>3</sup> de grava.
- 4- En la playa de La Torre: prolongación del espigón inmediatamente al sur del dique exento sur hasta una profundidad en torno de 5 m, finalizado en L. Y vertido de 45.000 m<sup>3</sup> de sedimento (arena o grava).
- 5- En la playa de La Torre: prolongación del espigón inmediatamente al sur del anterior hasta una profundidad en torno de 5 m, finalizado en L. Y vertido de 45.000 m<sup>3</sup> de sedimento (arena o grava).

Las actuaciones planteadas en la playa de Ben Afelí tienen por objetivo la mejora del estado actual de la playa. Aun no existiendo riesgo ya que la actual playa tiene una anchura suficiente, la demanda social hace que se interesa mejorar esta playa reordenando sus obras para dar una mayor eficacia y servicio, frente a una zona urbanizada. Por ello se le ha considerado de prioridad alta.

La zona sur de la playa, playa de La Torre se encuentra menos urbanizada, habiendo sido donde se han realizado las últimas actuaciones en esta zona. Por ello se considera que las actuaciones 4 y 5 pertenecientes a esta playa tienen prioridad media, siendo necesarias para eliminar la descompensación en la anchura de playa.

#### **7.4.1.2 Prioridades en el sub tramo 2: Río Mijares y el puerto de Burriana**

Las actuaciones propuestas en este sub tramo son:

1. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad, al menos, de 5 m junto a la desembocadura del río Seco, y eliminación de los dos espigones pequeños existentes en la actualidad.
2. Vertido en la primera celda norte de unos 110.000 m<sup>3</sup> de sedimento procedente de la celda más al sur de la playa del grao de Burriana.
3. Prolongación de los dos espigones siguientes de la playa del Grao de Malvarrosa y L'Arenal hasta una profundidad, al menos, de 5 m en L.
4. Retroalimentación periódica de la zona de playa apoyada en el dique del puerto de Burriana, haciéndola retroceder unos 20 m, extrayendo en torno a 110.000 m<sup>3</sup> y construcción de un espigón corto de control. Continuando las retroalimentaciones en la medida que se necesite y se acumule en esta playa. Ya que tiene una anchura excesiva de más de 320 m. De ella debe extraerse para las actuaciones que se plantean en el tramo al sur del puerto de Burriana.



Podría pensarse en la retirada de más material procedente, especialmente, de la celda más al sur.

Las playas en este sub tramo tienen un gran problema: la descompensación sedimentaria. Continuamente se va acumulando sedimento en las celdas más al sur. Ello crea una necesidad de gestionar este sedimento en dos vías: Reducción de la acumulación en las celdas más al sur, estando la apoyada en el dique del puerto de Burriana totalmente colmatada; y uso del sedimento sobrante para combatir el déficit en otros puntos de la costa.

La primera de las vías obliga a realizar alguna barrera más efectiva que los espigones actuales por lo que se plantea la construcción de un espigón al norte que serviría de retención y punto de acumulación del sedimento en exceso en la playa Norte de Burriana para uso con otras zonas con necesidad.

El tramo norte de la playa, primera de las celdas, se encuentra en un estado estricto, con necesidad de reducir la descompensación sedimentaria. Por ello se ha considerado que las actuaciones planteadas en él, actuaciones 1 y 2, tendrían una doble finalidad: Por una parte reducir la cantidad de sedimento que se acumula junto al puerto; y por otra, crear una nueva celda que compense el desequilibrio existente en la actualidad podría considerarse prioridad alta.

La tercera de las actuaciones no resulta prioritaria ya que su fin es la mejora del desequilibrio que existe en la anchura de la playa; pero ello no afecta a la seguridad y por ello se supone de prioridad baja.

La cuarta actuación viene ligada a la 1ª y 2ª actuación, además de servir de fuente de sedimento para otras actuaciones, por lo que esta es de la misma prioridad que las anteriores: Alta.



Figura 7.1: Prioridades de actuación del Tramo I: Puerto de Castellón – Puerto de Burriana (foto: DGSCyM)



#### 7.4.2 **Prioridad de las actuaciones en el Tramo II: Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto**

Las prioridades de actuación de este tramo de costa se ha separado siguiendo la división que se ha hecho en el capítulo anterior a presentar las propuestas de actuación. Así, los sub tramos y zonas que comprende son los siguientes:

- Sub tramo II-1: Puerto de Burriana – Canal de la Bola
  - Zona II-1-1: Puerto de Burriana – Nules
  - Zona II-1-2: Nules – Moncófar
  - Zona II-1-3: Moncófar – Río Belcaire
  - Zona II-1-4: Río Belcaire – Canal de la Bola
- Sub tramo II-2: Canal de la Bola – Puerto de Canet de Berenguer
  - Zona II-2-1: Canal de la Bola – Gola de Queralt (o Estany)
  - Zona II-2-2: Gola de Queralt (o Estany) – Puerto de Canet de Berenguer
- Sub tramo II-3: Puerto de Canet de Berenguer – Puerto de Sagunto

Siguiendo la metodología utilizada en el capítulo anterior, a continuación se presentan las prioridades por las zonas indicadas anteriormente para este tramo.

##### 7.4.2.1 **Prioridades de las actuaciones en la Zona II-1-1: Puerto de Burriana – Nules**

Las actuaciones que se proponen para esta zona son:

1. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de, al menos 5 m, en las proximidades del espigón sur del puerto de Burriana. Y vertido de unos 300.000 m<sup>3</sup> de arena, entre estos espigones.
2. **Alternativa 1:** Construcción de dos diques exentos de 86 m y vertido de 11.088 m<sup>3</sup> de grava, en la playa situada al norte y 11.413 m<sup>3</sup> de grava en la playa situada al sur.  
**Alternativa 2:**
  - (2) Construcción de un espigón en L, hasta una profundidad de unos 5 m, separado aproximadamente 815 m del espigón situado más al norte. Y vertido de unos 290.000 m<sup>3</sup> de arena al norte.
  - (3) Construcción de un espigón, hasta una profundidad de unos 5m, separado aproximadamente unos 700 m del espigón situado más al norte. Y vertido de unos 210.000 m<sup>3</sup> de arena al norte.
4. Vertido de unos 315.000 m<sup>3</sup> de arena entre el espigón norte y el espigón sur situado a una distancia aproximada de 1130 m.
5. Construcción de un espigón en L, hasta una profundidad de unos 5m, separado aproximadamente 1130 m del espigón situado más al norte. Y vertido de unos 140.000 m<sup>3</sup> de arena. Y construcción de un espigón (alargamiento del dique de encauzamiento de la gola del Estany), hasta una profundidad de unos 5m, separado aproximadamente 736 m del espigón situado más al norte.

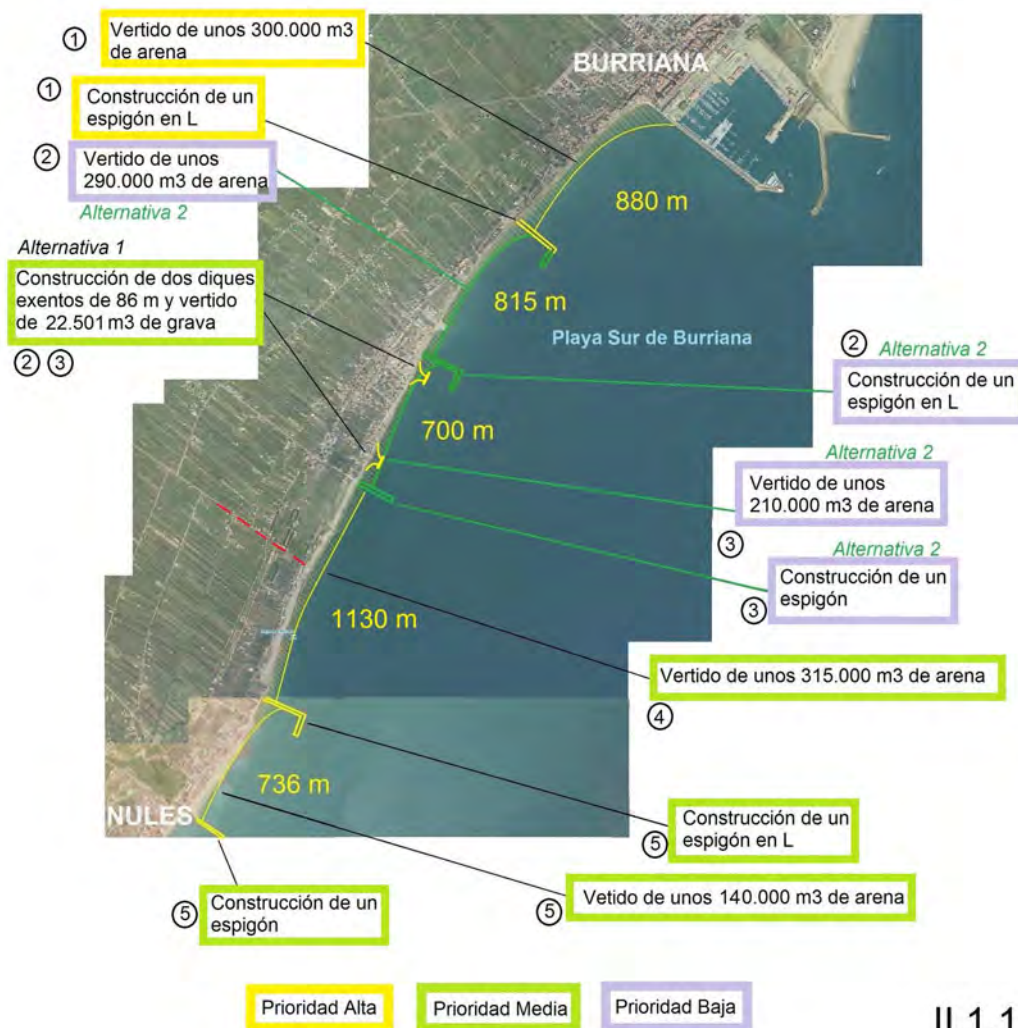
El estado erosivo al que se ha visto sometida la playa Sur de Burriana es tan profundo que ha afectado al propio entramado de la ciudad. Las propuestas de actuación anteriores tienden a restablecer ese desequilibrio que se ha recogido en la primera de las propuestas de actuación

de esta zona II-1-1. La situación actual de este frente de costa es de total deterioro del litoral de un núcleo urbano, por ello se considera esta actuación con prioridad alta.

La costa al sur de la actuación anterior se encuentra escollerada, mediante un dique longitudinal en talud. En este frente se ha propuesto para su mejora cuatro actuaciones: las numeradas con 2, 3, 4 y 5. La primera de estas actuaciones engloba dos alternativas posibles. La primera de las alternativas es la planteada en anteriores propuestas; pero al no existir una demanda social, ni se encuentre en riesgo la seguridad se ha considerado con prioridad media. Si se considera la segunda de las alternativas propuestas, que engloba dos actuaciones –2ª y 3ª- la demanda y necesidad son aún menores por lo que solamente se puede plantear como alternativa para el futuro, y por tanto sería de prioridad baja.

La alternativa de actuación 4 solamente plantea vertido de sedimento, en un frente de costa de terrenos protegidos. Por todo ello solamente se ha considerado como prioridad media.

La última de las actuaciones planteadas corresponde a una zona peri urbana de Nules, en la cual tiene un tramo norte con anchura de playa muy estricta, pero no con una situación grave de seguridad. Todo ello ha llevado a considerarla de prioridad media.



II.1.1

Figura 7.2: Prioridades en la zona II-1-1 entre el Puerto de Burriana y Nules (foto: DGSCyM)



#### 7.4.2.2 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-1-2: Nules - Moncófar

Las actuaciones que se proponen para esta zona son:

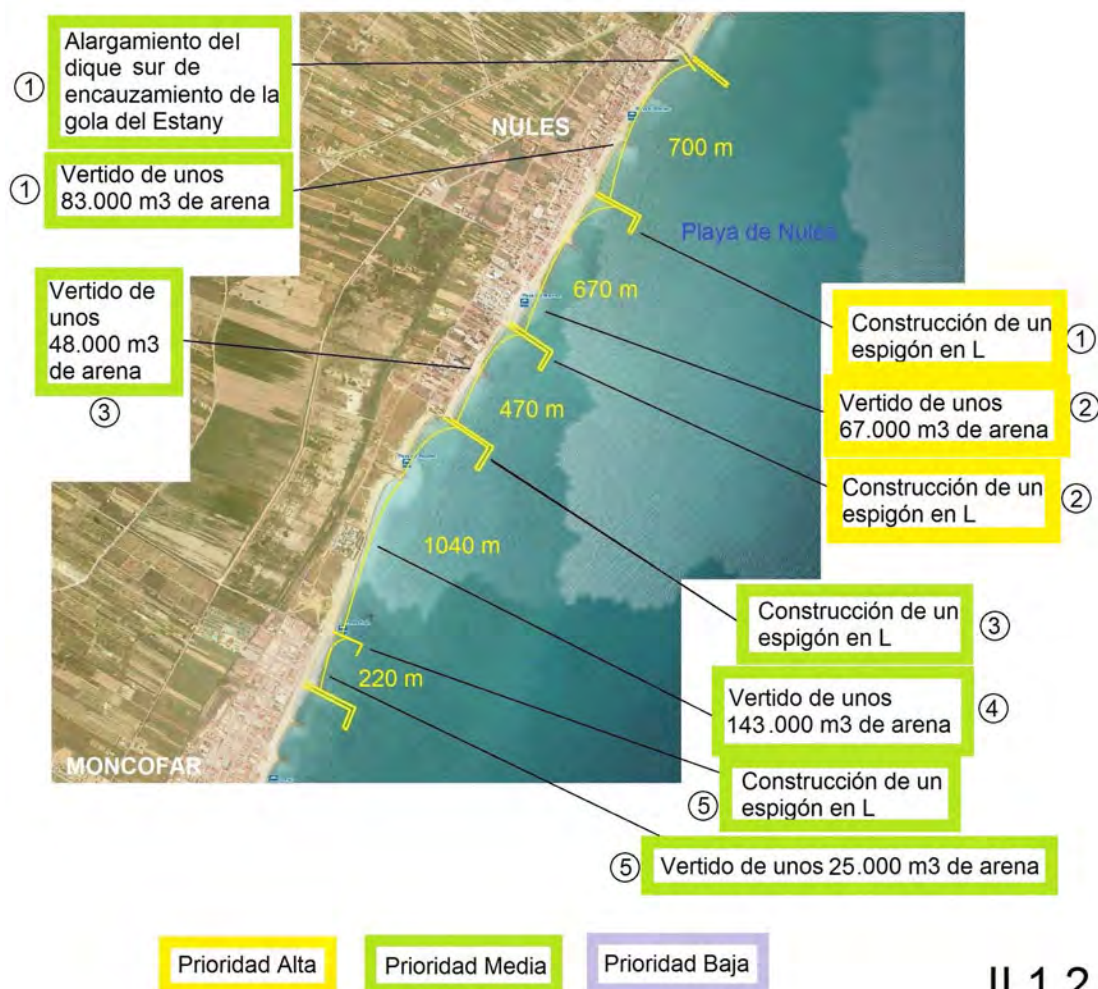
1. Alargamiento del dique sur de encauzamiento de la gola del Estany (que forma con la actuación 5 de la zona II-1-1 anterior el conjunto de diques de encauzamiento de la gola). Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5 m, separados a unos 700 m de los diques de encauzamiento. Y vertido de unos 83.000 m<sup>3</sup> de arena.
2. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5 m, separado unos 670 m del nuevo espigón situado más al norte. Y vertido de unos 67.000 m<sup>3</sup> de arena.
3. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5 m, separado unos 470 m del nuevo espigón situado más al norte. Y vertido de unos 48.000 m<sup>3</sup> de arena.
4. Vertido de unos 143.000 m<sup>3</sup> de arena en 1040 m de longitud entre el espigón de la actuación anterior al norte y el espigón de la siguiente actuación al sur.
5. Construcción de un espigón en L en el límite de los términos municipales de Nules y Moncófar y vertido de unos 25.000 m<sup>3</sup> de arena entre éste y el siguiente espigón sur a 220 m del primero.

Esta zona comprende en su tramo norte un frente urbanizado, de Nules, con una exigencia de seguridad, social y económicas importantes. En la actualidad, estas variables se encuentran en un estado de deterioro solamente en la segunda celda planteada de 670 m que comprendería parte de la actuación 1, y toda la actuación 2, y por tanto se considera que tiene una prioridad alta. La gola del Estany podría tener problemas de desagüe; pero su estado mejoraría con el espigón, dique de encauzamiento, planteado en la anterior zona, por ello, podría considerarse la ampliación del dique sur de encauzamiento y en vertido de sedimento en la primera de las celdas, actuación 1, con prioridad media, pudiendo pasar a prioridad alta el dique sur de encauzamiento si se observase que es imprescindible realizar ambos diques de encauzamiento a la vez.

La última de las celdas planteadas en el frente de costa urbanizado de Nules no parece que ninguna de las variables se encuentre en un estado grave de deterioro, ni tan siquiera apreciable. Por ello se considera que la actuación planteada en este lugar, actuación 3, solamente tiene una prioridad media.

Pasada la zona urbana de Nules, la costa se interna en tierra por efecto de la erosión. Esta situación hace que algunas instalaciones se encuentre expuesta, con un estado de deterioro apreciable, por lo que las actuaciones propuestas en este tramo sur -actuaciones 4 y 5, y parte de la 3- tengan, al menos una prioridad media, pudiéndose valorar este estado de deterioro y si éste requiere una prioridad alta.





II.1.2

Figura 7.3: Prioridades en la zona II-1-2 entre Nules y Moncofar (foto: DGSCyM)

### 7.4.2.3 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-1-3: Moncofar y río Belcaire

Las actuaciones que se proponen para esta zona son:

1. Construcción de dos espigones en L hasta una profundidad de unos 5m, separados aproximadamente unos 685m. Y vertido de unos 128.000 m<sup>3</sup> de arena.
2. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5m, separado aproximadamente unos 840m del espigón situado más al norte. Y vertido de unos 105.000 m<sup>3</sup> de arena.
3. Recrecimiento del espigón existente situado al sur, separado aproximadamente unos 660m del espigón situado al norte. Y vertido de unos 83.000 m<sup>3</sup> de arena.

Esta zona comprende todo el frente costero de la zona urbanizada de Moncófar. En la actualidad no se ha hallado zonas que tengan un estado de deterioro apreciable de alguna de las variables. Por ello las actuaciones planteadas, tres en total, entran dentro del campo de la mejora de la situación actual y, por tanto, todas ellas se las considera con prioridad media.



Figura 7.4: Prioridades en la zona II-1-3 entre Moncófar y río Belcaire (foto: DGSCyM)

#### 7.4.2.4 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-1-4: Río Belcaire – cana de la Bola

Las actuaciones que se proponen para esta zona son:



1. Construcción de dos diques de encauzamiento en la desembocadura del río Belcaire.
2. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5m, prolongación del dique norte de encauzamiento de la gola situada entre Moncófar y Chilches. Y vertido de unos 150.000 m<sup>3</sup> de arena.
3. Construcción de un espigón en L, hasta una profundidad de unos 5m. Y vertido de unos 50.000 m<sup>3</sup> de arena.
4. Construcción de un espigón en L, hasta una profundidad de unos 5m. Y vertido de unos 81.000 m<sup>3</sup> de arena.
5. Construcción de un espigón en L, situado más al sur, hasta una profundidad de unos 5m. Y vertido de unos 118.000 m<sup>3</sup> de arena.
6. Vertido de unos 65.000 m<sup>3</sup> de arena entre el espigón situado al norte y el espigón de la gola de la Llosa.

Esta zona comprende los frentes de costa de los municipios de Moncófar, su zona sur, Chilches y La Llosa. Se han planteado seis propuestas de actuación. La primera de ellas en el inicio del tramo, desembocadura del río Belcaire, se plantea la construcción de dos diques de encauzamiento que, en la actualidad, no posee, por ello se considera esta actuación de prioridad alta, dado que un aterramiento de una de estas desembocaduras puede provocar en estados de desagües importantes inundaciones tierra adentro.

La segunda de las actuaciones comprende el extremo sur del municipio de Moncófar donde existe una urbanización, La Torre, en la llamada playa de Beniesma que se halla escollerada en su zona norte, dado el peligro para la seguridad de la urbanización. Esta circunstancia que pueda considerarse la actuación con prioridad alta.

La tercera de las actuaciones tiene un doble objetivo; Primeramente, dotar de un dique de encauzamiento sur de la gola con el objetivo de que su salida no se aterre y evitar inundaciones, y además, servir de apoyo norte de la playa que haga reducir, con su forma en L, el desequilibrio de la anchura de playa actual. La construcción del dique de encauzamiento sur parece necesaria para aumentar la seguridad frente a las inundaciones por lo que se considera de prioridad alta. Mientras que la prolongación hasta un espigón en L y vertido de arena no parece que obedezca a las exigencias más que dé prioridad media.

La cuarta actuación tiene por objeto principal la mejora de la anchura de la playa en la zona sur urbanizada de Chilches. La anchura que posee en la actualidad se sitúa entre 25 y 30 m. Siendo estricta esa anchura, especialmente para eventos extraordinarios y cambio climático; aunque no requiere una actuación urgente por lo que su prioridad es media.

La quinta de las actuaciones se sitúa al final del término municipal de Chilches e inicio de La Llosa, en la actualidad no se hallan urbanizados ni existe actividad de importancia por lo que su prioridad se considera baja.

La sexta de las actuaciones intenta paliar el déficit de sedimento por la importante erosión que se ha producido en esta zona por ello se considera que su prioridad es alta.



## II.1.4

Figura 7.5: Prioridades en la zona II-1-4 entre el río Belcaire y el canal de la Bola (foto: DGSCyM)

#### 7.4.2.5 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-2-1: Canal de la Bola - Gola de Queralt (o Estany)

Las actuaciones que se proponen para esta zona son:

##### *Alternativa 1:*

1. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad en torno a 5 m, prolongación del dique de encauzamiento de la gola y vertido de unos 45.000 m<sup>3</sup> de arena.

##### *Alternativa 2:*

1. Construcción de dos espigones en L, uno de ellos, el norte, prolongación del dique de encauzamiento norte del canal de la Bola y prolongación del dique sur de encauzamiento. El segundo espigón a unos 750 m al sur del primero y vertido de unos 45.000 + 40.000 m<sup>3</sup> de arena en la celda y aguas abajo apoyada en el segundo espigón.

##### *Alternativa 3:*

1. Construcción de un espigón en L, uno de ellos, el norte, prolongación del dique de encauzamiento norte del canal de la Bola y prolongación del dique sur de encauzamiento. Construcción de un dique exento a unos 750 m al sur del espigón y vertido de unos 45.000 + 40.000 m<sup>3</sup> de arena.
2. Prolongación de los diques de encauzamiento de la gola del Estany o de Queralt. El dique norte hasta una profundidad de, al menos, 3 m y el sur de 2 m.

Esta es la zona más al sur de la costa castellonense que coincide con el frente costero del término municipal de Almenara. Se proyectan dos actuaciones, una al comienzo, norte, y otra al final de tramo, sur.

La primera de las actuaciones se plantea como estado de grave deterioro que se ha ido produciendo, y se produce, en la playa de Casablanca, justo al sur de la salida del canal de La Bola. Dado el estado de grave deterioro de la costa que ha obligado a la construcción de un escollero longitudinal de protección de las construcciones, esta actuación se considera de prioridad alta, sea cual sea la alternativa elegida de las tres planteadas.

La segunda de las actuaciones que se propone es la prolongación de los diques de encauzamiento de la gola de Queralt, o del Estany, con un doble objetivo prioritario: El primero de ellos es dar una salida adecuada al mar de la gola, evitando aterramientos en la salida que puedan provocar inundaciones en la tierra al trasdós. E segundo es servir de apoyo para tener un punto intermedio de reserva de sedimento procedente de la playa de Canet de Berenguer para ser usada en la gestión del sedimento en todo el tramo. Además esta obra reducirá el crecimiento de la playa de Canet de Berenguer. Por todos estos motivos se considera que esta actuación es de prioridad alta.

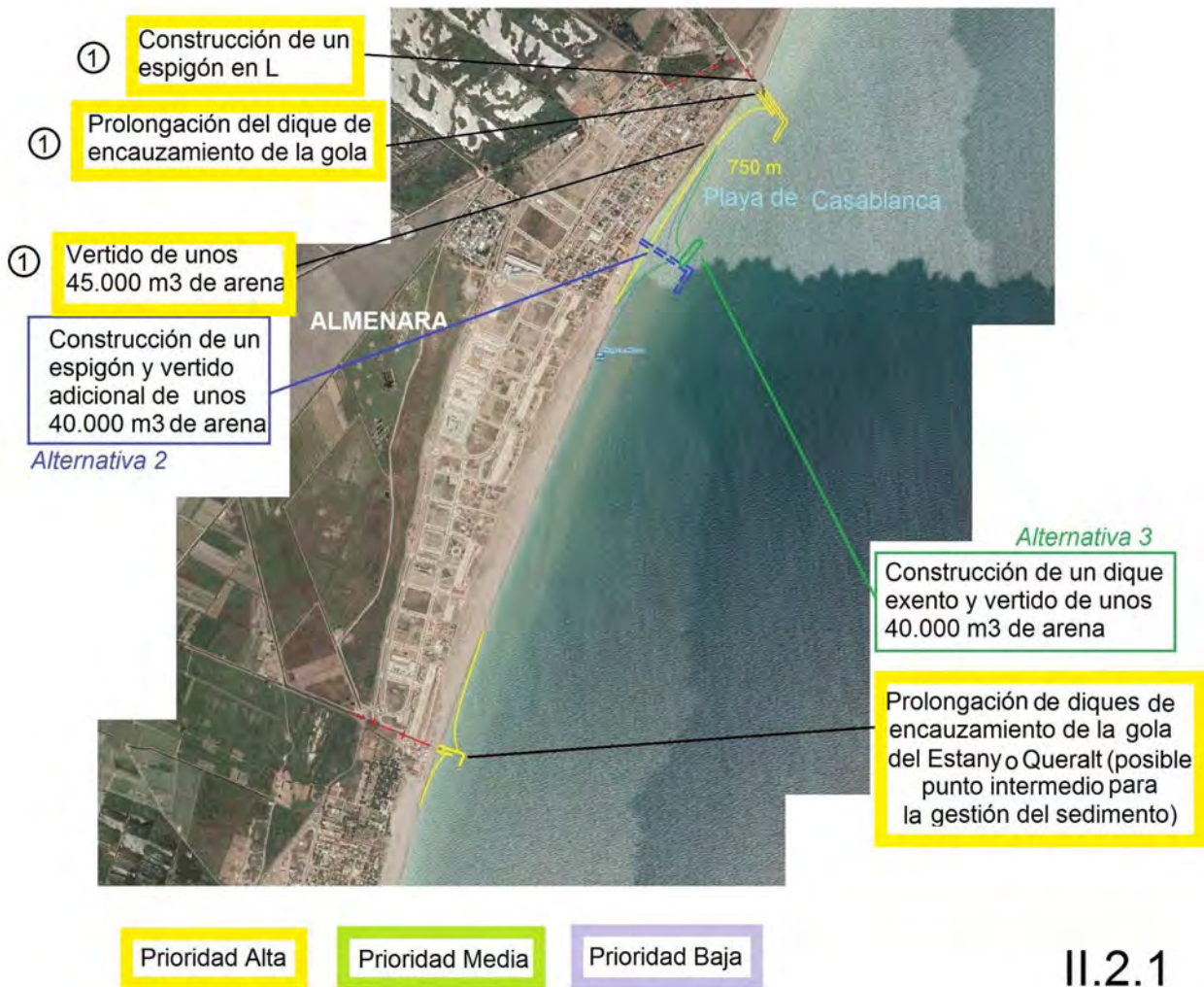


Figura 7.6: Prioridades en la zona II-2-1 entre el canal de la Bola y la gola de Queralt (foto: DGSCyM)

#### 7.4.2.6 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-2-3: Gola de Queralt (o Estany) – Puerto de Canet de Berenguer

La actuación propuesta para esta zona del sub tramo sería:

1. Retroalimentación 1er establecimiento de unos 580.000 m<sup>3</sup> de arena.

En esta zona solamente se plantea una actuación que es complementaria y se supedita a las que se realicen aguas arriba y necesiten de material de aporte. Por tanto, en principio, se supone de prioridad alta, supeditada a lo antedicho.



Retroalimentación 1er establecimiento de  
~ 580.000 m<sup>3</sup> (retroceso medio de 40,5 m de playa)

Prioridad Alta

Prioridad Media

Prioridad Baja

II.2.2

Figura 7.7: Prioridades en la zona II-2-2 entre la gola de Queralt y el puerto de Canet de Berenguer (foto: DGSCyM)

#### 7.4.2.7 Prioridades de las actuaciones en la Zona II-3: Puerto de Canet de Berenguer – Puerto de Sagunto

La actuación propuesta para esta zona del sub tramo sería:

1. Retroalimentación 1er establecimiento de unos 240.000 m<sup>3</sup> de arena.

La actuación propuesta, solamente realizable si no se hallase otra fuente de sedimento para las actuaciones, como se ha indicado en el capítulo anterior. Por ello se considera esta actuación de prioridad baja.



Figura 7.8: Prioridades en la zona II-3 entre los puertos de Canet de Berenguer y Sagunto (foto: DGSCyM)

## 7.5 RESUMEN DE LAS PRIORIDADES DE LAS ACTUACIONES PROPUESTAS

A continuación, se muestran en tres figuras las actuaciones para todo el tramo de costa entre los puertos de Castellón y Sagunto, separado en prioridades –alta, media y baja- .



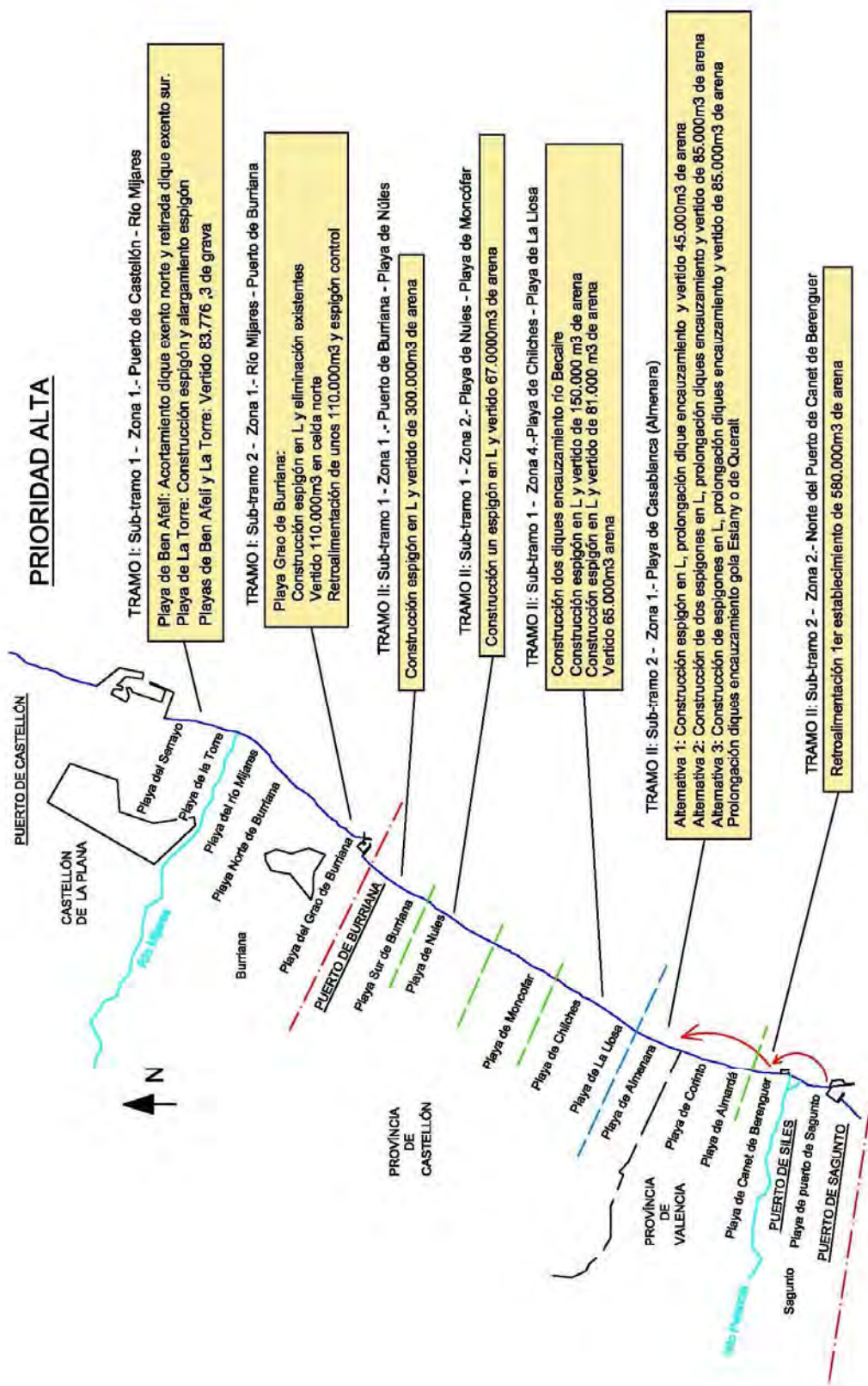


Figura 7.9: Actuaciones de prioridad alta en todos los tramos

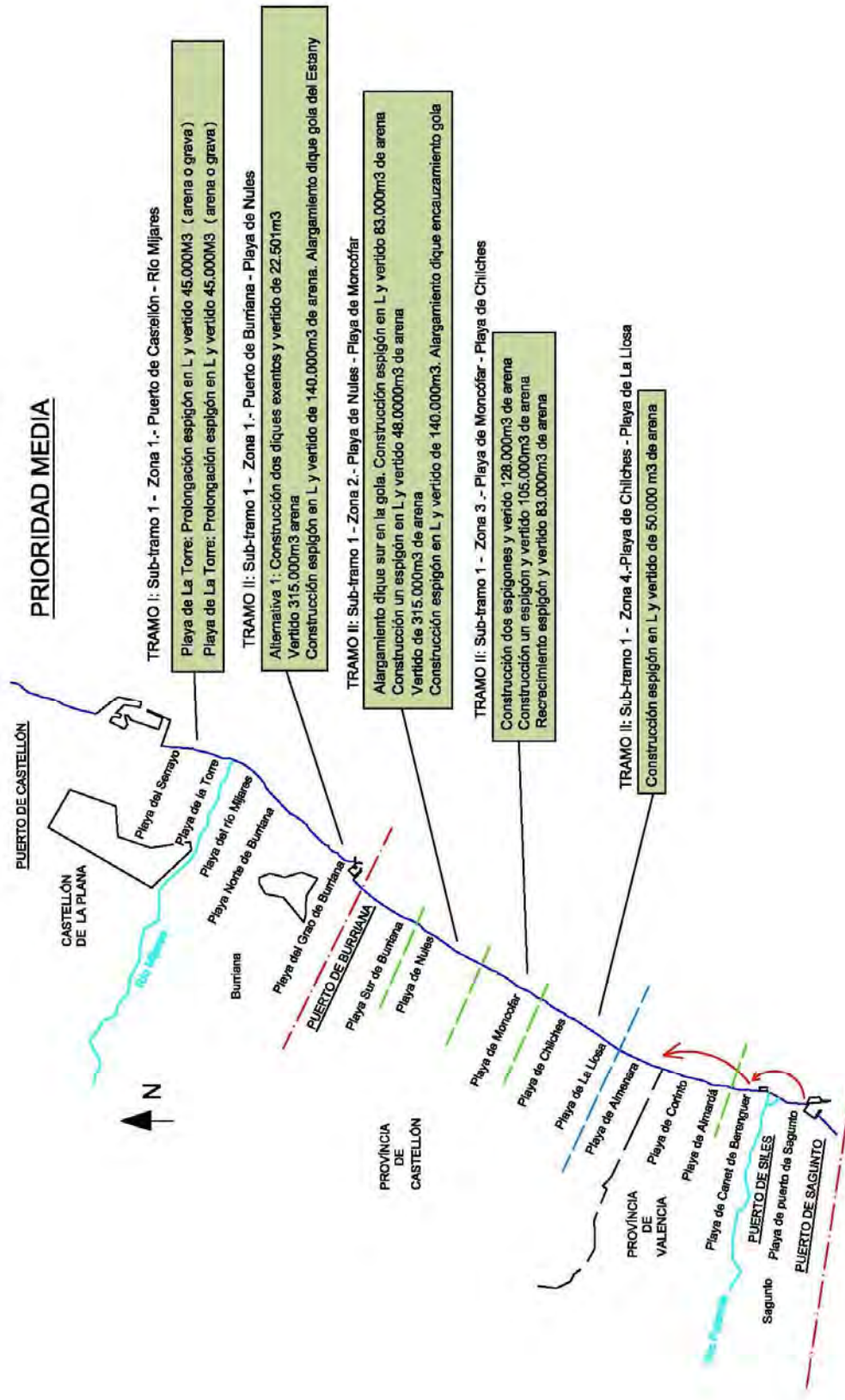


Figura 7.10: Actuaciones de prioridad media en todos los tramos

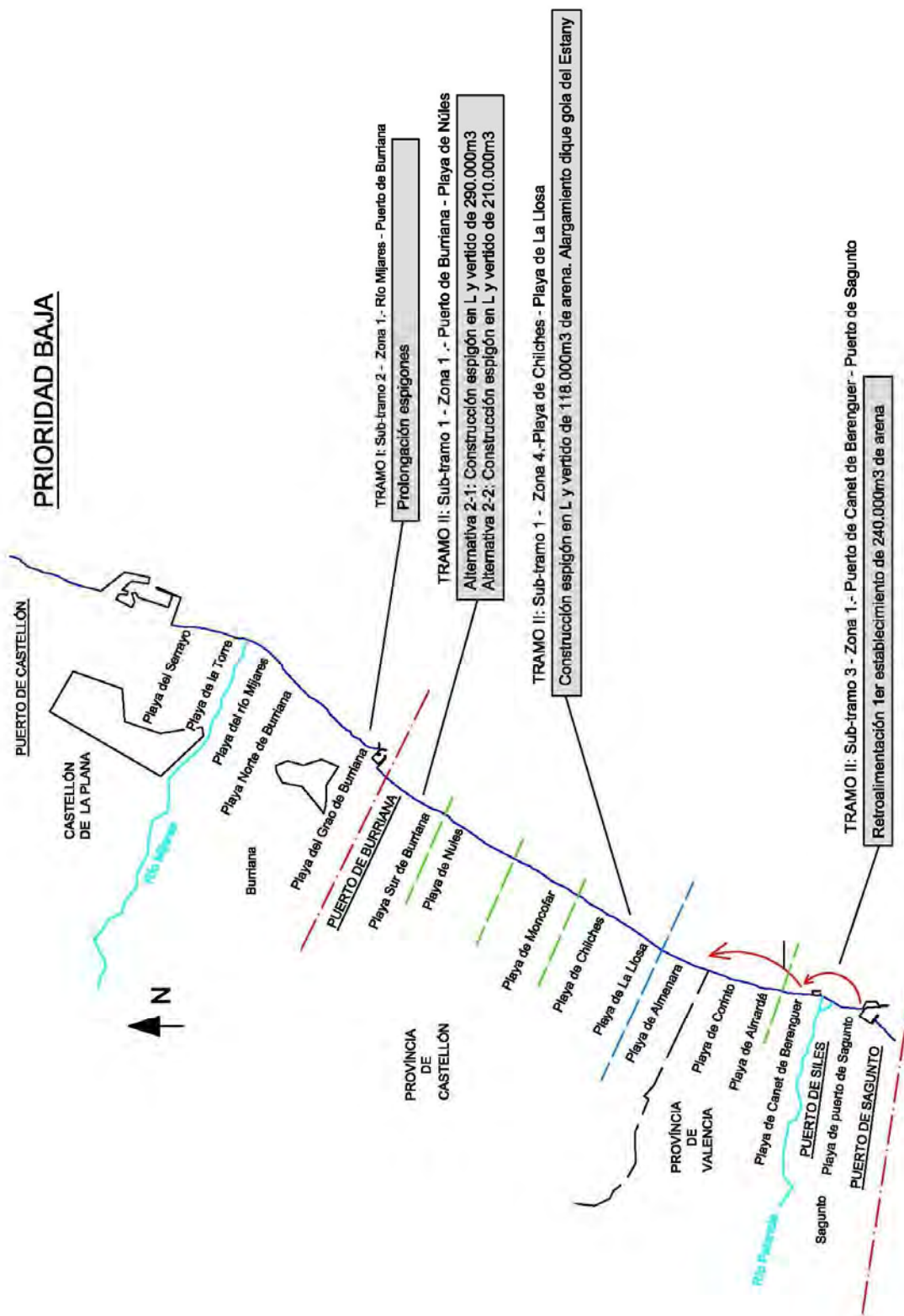


Figura 7.11: Actuaciones de prioridad baja en todos los tramos



## 7.6 CONSIDERACIONES PARA REALIZAR LAS FASES DE ACTUACIÓN

La cantidad de obras planteadas es suficientemente grande como para poder plantearse en una serie de fases de actuación. Estas fases dependen de muy diversas variables, algunas de ellas exceden del propio objetivo del trabajo. Pero, otras de ellas son intrínsecas a las propias propuestas, prioridades, y otras dependen de la dinámica litoral imperante y de la división considerada de la costa.

Antes de entrar a considerar las variables propias de este trabajo que condicionan las fases de realización, es conveniente dar unas pinceladas al primero de los grupos. La ordenación de una franja litoral involucra a muchos entes que deben asumir su implicación como los puertos que han ido asentándose en la costa, la fragmenta transversalmente. También, el urbanismo que ha condicionado la necesidad de un tipo de costa y las golgas que desembocan en la costa cuyo efecto sobre la inundación o no de los terrenos colindantes con la costa depende de la facilidad de desagüe. Y finalmente, las diversas fuentes de sedimento con que se cuenta para la gestión de la costa y la realización de las actuaciones propuestas.

Una vez expuestas las consideraciones sobre las variables que condicionan las fases de realización de una estrategia como la propuesta en este estudio. Se van a considerar de manera prioritaria:

1. La dinámica litoral y consecuencias de la actuación
2. La necesidad lúdica y de defensa de la playa
3. La demanda social
4. El grado de prioridad dado a la actuación

Empezando por la cuarta de las variables consideradas, habría que dividir la realización de las actuaciones en tres etapas principales que contendrían sucesivamente en el tiempo: Prioridad alta, media y baja.

Pero, si bien, las etapas 2 y 3, prioridad media y baja, no necesitan especialmente de fases de actuación en primer momento; solamente las condicionadas por el tiempo y presupuesto cuando en el tiempo se decidan hacer.

La etapa 1, Prioridad Alta, contiene muchas actuaciones por ello se debe subdividir en Fases. Se ha considerado cuatro fases de actuación de prioridad alta que pueda ser compatible sus presupuestos con la demanda requerida en la costa.

Estas fases son solamente una propuesta de escalonamiento de la realización de las actuaciones que se ha realizado, además de los puntos anteriores, atendiendo a: 1º) Actuaciones previstas o en fase muy avanzada de propuesta, 2º) Interés concreto social, encauzado mediante las jefaturas de costas, 3º) Actuaciones en propuestas anteriores y zonas urbanas, y 4º) Resto.

Por tanto, las actuaciones de prioridad alta ha han dividido en cuatro fases, siendo estas y sus actuaciones las siguientes:

### FASE 1

- Zona I-1-1: Puerto de Castellón – Río Mijares: Actuaciones 1, 2 y 3
- Zona II-1-1: Puerto de Burriana – Nules: Actuación 1
- Zona II-2-1: Canal de la Bola – Gola de Queralt: Actuación 1

## FASE 2

- Zona II-1-4: Río Belcaire – Canal de la Bola: actuaciones 1 y 4
- Zona II-2-1: Canal de la Bola – Gola de Queralt: Actuación 2

## FASE 3

- Zona I-2-1: Río Mijares – Puerto de Burriana: Actuaciones 1, 2 y 4

## FASE 4

- Zona II-1-2: Nules – Moncófar: Actuación 2
- Zona II-1-4: Río Belcaire – Canal de la Bola: actuaciones 2 y 6

Las actuaciones 4 de la Zona I-2-1 (Río Mijares – Puerto de Burriana) y 1 de la Zona II-2-2 (Gola de Queralt – Puerto de Canet de Berenguer) se pueden considerar complementarias a las actuaciones que en cada momento requieran de su material.



## 8. CONCLUSIONES

Este apartado supone la síntesis del informe final, en él se presentan una serie de propuestas de actuación, separada por tramos, sub tramos y zonas en que se ha dividido la costa levantina entre los puertos de Castellón y Sagunto. Antes de plantear las posibles actuaciones a tener en cuenta en este tramo de costa, se actualizan todos los datos disponibles sobre la costa y, a continuación, se analiza el impacto que sobre la costa tiene la elevación del nivel del mar por cambio climático, usando para ello los últimos datos presentados en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC presentado en mes de marzo del presente año. Finalmente, se dividen todas las actuaciones según su prioridad de actuación

Los valores y posiciones de las obras que se presentan a continuación en todas las alternativas son de carácter orientativo; debiendo realizarse estudios y proyectos que ajusten y definan con mayor concreción.

### 8.1 ALTERNATIVAS DE ACTUACIÓN DE ALIMENTACIÓN

Las propuestas de actuación se han estudiado teniendo en cuenta las propuestas que se plantearon en trabajos e informes anteriores. Éstas se han separado primero espacialmente en los dos tramos de costa y, a su vez, éstos se han subdividido en sub tramos y en zonas. Y segundo, temporalmente por el grado de prioridad, considerando tres grados: Alta, media y baja.

La división considerada de la costa es la siguiente:

#### Tramo I: Puerto de Castellón – Puerto de Burriana

- Sub tramo I-1: Puerto de Castellón – Río Mijares
- Sub tramo I-2: Río Mijares – Puerto de Burriana

#### Tramo II: Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto

- Sub tramo II-1: Puerto de Burriana – Canal de la Bola
  - Zona II-1-1: Puerto de Burriana – Nules
  - Zona II-1-2: Nules – Moncófar
  - Zona II-1-3: Moncófar – Río Belcaire
  - Zona II-1-4: Río Belcaire – Canal de la Bola
- Sub tramo II-2: Canal de la Bola – Puerto de Canet de Berenguer
  - Zona II-2-1: Canal de la Bola – Gola de Queralt (o Estany)
  - Zona II-2-2: Gola de Queralt (o Estany) – Puerto de Canet de Berenguer
- Sub tramo II-3: Puerto de Canet de Berenguer – Puerto de Sagunto

Debe tenerse en cuenta que estas alternativas no son únicas, ni las prioridades y secuencias de actuación, fases, son rígidas; pueden desarrollarse teniendo en cuenta otras consideraciones.

Por tramos y grados de prioridad las actuaciones propuestas en la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto son las siguientes:

## **Tramo I: Puerto de Castellón – Puerto de Burriana (Figura 7.1)**

### **A- Sub tramo I-1: Puerto de Castellón – Río Mijares:**

#### **PRIORIDAD ALTA**

- 1- En la playa de Ben Afelí: acortamiento del dique exento norte y retirada del dique exento sur.
- 2- En la playa de La Torre: construcción de un espigón algo más al sur del actual dique exento sur. Y alargamiento de espigón inmediatamente al sur del actual dique exento sur.
- 3- En las playas de La Torre y Ben Afelí: vertido de 83.776 m<sup>3</sup> de grava.

#### **PRIORIDAD MEDIA**

- 4- En la playa de La Torre: prolongación del espigón inmediatamente al sur del dique exento sur hasta una profundidad en torno de 5 m, finalizado en L. Y vertido de 45.000 m<sup>3</sup> de sedimento (arena o grava).
- 5- En la playa de La Torre: prolongación del espigón inmediatamente al sur del anterior hasta una profundidad en torno de 5 m, finalizado en L. Y vertido de 45.000 m<sup>3</sup> de sedimento (arena o grava).

### **B- Sub tramo I-2: Río Mijares – Puerto de Burriana:**

#### **PRIORIDAD ALTA**

1. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad, al menos, de 5 m junto a la desembocadura del río Seco, y eliminación de los dos espigones pequeños existentes en la actualidad.
2. Vertido en la primera celda norte de unos 110.000 m<sup>3</sup> de sedimento procedente de la celda más al sur de la playa del grao de Burriana.
4. Retroalimentación periódica de la zona de playa apoyada en el dique del puerto de Burriana, haciéndola retroceder unos 20 m, extrayendo en torno a 110.000 m<sup>3</sup> y construcción de un espigón corto de control. Continuando las retroalimentaciones en la medida que se necesite y se acumule en esta playa. Ya que tiene una anchura excesiva de más de 320 m. De ella debe extraerse para las actuaciones que se plantean en el tramo al sur del puerto de Burriana.

#### **PRIORIDAD BAJA**

3. Prolongación de los dos espigones siguientes de la playa del Grao de Malvarrosa y L'Arenal hasta una profundidad, al menos, de 5 m en L.

## **Tramo II: Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto**

### **A- Zona II-1-1: Puerto de Burriana – Nules (Figura 7.2):**



#### PRIORIDAD ALTA

1. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de, al menos 5 m, en las proximidades del espigón sur del puerto de Burriana. Y vertido de unos 300.000 m<sup>3</sup> de arena, entre estos espigones.

#### PRIORIDAD MEDIA

2. **Alternativa 1:** Construcción de dos diques exentos de 86 m y vertido de 11.088 m<sup>3</sup> de grava, en la playa situada al norte y 11.413 m<sup>3</sup> de grava en la playa situada al sur.
4. Vertido de unos 315.000 m<sup>3</sup> de arena entre el espigón norte y el espigón sur situado a una distancia aproximada de 1130 m.
5. Construcción de un espigón en L, hasta una profundidad de unos 5m, separado aproximadamente 1130 m del espigón situado más al norte. Y vertido de unos 140.000 m<sup>3</sup> de arena. Y construcción de un espigón (alargamiento del dique de encauzamiento de la gola del Estany), hasta una profundidad de unos 5m, separado aproximadamente 736 m del espigón situado más al norte.

#### PRIORIDAD BAJA

##### **Alternativa 2:**

- (2) Construcción de un espigón en L, hasta una profundidad de unos 5 m, separado aproximadamente 815 m del espigón situado más al norte. Y vertido de unos 290.000 m<sup>3</sup> de arena al norte.
- (3) Construcción de un espigón, hasta una profundidad de unos 5m, separado aproximadamente unos 700 m del espigón situado más al norte. Y vertido de unos 210.000 m<sup>3</sup> de arena al norte.

#### B- Zona II-1-2: Nules – Moncófar (Figura 7.3):

#### PRIORIDAD ALTA

2. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5 m, separado unos 670 m del nuevo espigón situado más al norte. Y vertido de unos 67.000 m<sup>3</sup> de arena.

#### PRIORIDAD MEDIA

1. Alargamiento del dique sur de encauzamiento de la gola del Estany (que forma con la actuación 5 de la zona II-1-1 anterior el conjunto de diques de encauzamiento de la gola). Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5 m, separados a unos 700 m de los diques de encauzamiento. Y vertido de unos 83.000 m<sup>3</sup> de arena.
3. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5 m, separado unos 470 m del nuevo espigón situado más al norte. Y vertido de unos 48.000 m<sup>3</sup> de arena.
4. Vertido de unos 143.000 m<sup>3</sup> de arena en 1040 m de longitud entre el espigón de la actuación anterior al norte y el espigón de la siguiente actuación al sur.
5. Construcción de un espigón en L en el límite de los términos municipales de Nules y Moncófar y vertido de unos 25.000 m<sup>3</sup> de arena entre éste y el siguiente espigón sur a 220 m del primero.



C- Zona II-1-3: Moncófar – Río Belcaire (Figura 7.4):

PRIORIDAD MEDIA

1. Construcción de dos espigones en L hasta una profundidad de unos 5m, separados aproximadamente unos 685m. Y vertido de unos 128.000 m<sup>3</sup> de arena.
2. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5m, separado aproximadamente unos 840m del espigón situado más al norte. Y vertido de unos 105.000 m<sup>3</sup> de arena.
3. Recrecimiento del espigón existente situado al sur, separado aproximadamente unos 660m del espigón situado al norte. Y vertido de unos 83.000 m<sup>3</sup> de arena.

D- Zona II-1-4: Río Belcaire – Canal de la Bola (Figura 7.5):

PRIORIDAD ALTA

1. Construcción de dos diques de encauzamiento en la desembocadura del río Belcaire.
2. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad de unos 5m, prolongación del dique norte de encauzamiento de la gola situada entre Moncófar y Chilches. Y vertido de unos 150.000 m<sup>3</sup> de arena.
4. Construcción de un espigón en L, hasta una profundidad de unos 5m. Y vertido de unos 81.000 m<sup>3</sup> de arena.
6. Vertido de unos 65.000 m<sup>3</sup> de arena entre el espigón situado al norte y el espigón de la gola de la Llosa.

PRIORIDAD MEDIA

3. Construcción de un espigón en L, hasta una profundidad de unos 5m. Y vertido de unos 50.000 m<sup>3</sup> de arena.

PRIORIDAD BAJA

5. Construcción de un espigón en L, situado más al sur, hasta una profundidad de unos 5m. Y vertido de unos 118.000 m<sup>3</sup> de arena.

E- Zona II-2-1: Canal de la Bola – Gola de Queralt (o Estany) (Figura 7.6):

PRIORIDAD ALTA

*Alternativa 1:*

1. Construcción de un espigón en L hasta una profundidad en torno a 5 m, prolongación del dique de encauzamiento de la gola y vertido de unos 45.000 m<sup>3</sup> de arena.

*Alternativa 2:*

1. Construcción de dos espigones en L, uno de ellos, el norte, prolongación del dique de encauzamiento norte del canal de la Bola y prolongación del dique sur de



encauzamiento. El segundo espigón a unos 750 m al sur del primero y vertido de unos 45.000 + 40.000 m<sup>3</sup> de arena en la celda y aguas abajo apoyada en el segundo espigón.

#### *Alternativa 3:*

1. Construcción de un espigón en L, uno de ellos, el norte, prolongación del dique de encauzamiento norte del canal de la Bola y prolongación del dique sur de encauzamiento. Construcción de un dique exento a unos 750 m al sur del espigón y vertido de unos 45.000 + 40.000 m<sup>3</sup> de arena.
2. Prolongación de los diques de encauzamiento de la gola del Estany o de Queralt. El dique norte hasta una profundidad de, al menos, 3 m y el sur de 2 m.

#### F- Zona II-2-2: Gola de Queralt (o Estany) – Puerto de Canet de Berenguer (Figura 7.7):

##### PRIORIDAD ALTA

1. Retroalimentación 1er establecimiento de unos 580.000 m<sup>3</sup> de arena.

#### G- Sub tramo II-3: Puerto de Canet de Berenguer – Puerto de Sagunto (Figura 7.8):

##### PRIORIDAD BAJA

1. Retroalimentación 1er establecimiento de unos 240.000 m<sup>3</sup> de arena.

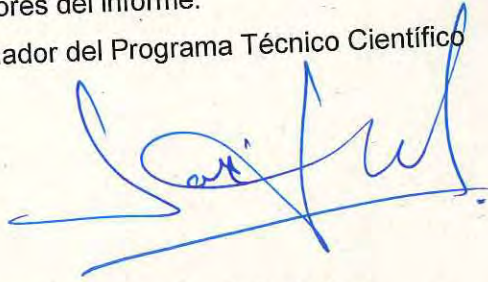
La actuación propuesta, solamente realizable si no se hallase otra fuente de sedimento

## **8.2 MANTENIMIENTO**

El mantenimiento anual de todo el tramo, considerando las actuaciones que requieren vertido de material, se determina como un porcentaje de reposición del sedimento. Si se considera una vida útil de 25 años, los costes anuales de reposición serían, por tanto, del 4% del coste de vertido del sedimento para el primer establecimiento que compensaría las posibles necesidades sedimentarias debidas al cambio climático.

Los autores del informe:

Coordinador del Programa Técnico Científico



Fdo.: José Manuel de la Peña Olivas  
(Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos)



Fdo.: Ana Isabel Antón Camacho  
(Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos)

EXAMINADO Y CONFORME:

El Director de la U. A. De I+D+i



Fdo.: Antonio Lechuga Álvaro  
(Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos)

Vº Bº.

El Director del Centro de Estudios de Puertos y Costas



Fdo.: José María Grassa Garrido