

Clave:

--

Título:

PROPUESTA DE IDEAS BASE PARA UN PROYECTO DE RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LA FACHADA LITORAL DE LA ZONA DE ELS GRIELLS (L'ESTARTIT - TORROELLA DE MONTGRÍ - GERONA).

Fecha de redacción:

SEPTIEMBRE DE 2015

Tipo de trabajo:

PROPUESTA DE IDEAS BASE

Situación:

L'ESTARTIT-
TORROELLA DE MONTGRÍ.

Provincia:

GERONA

Redacción:

COMISIÓN TÉCNICA DE
VECINOS DE ELS GRIELLS -
L'ESTARTIT.

ÍNDICE DEL DOCUMENTO

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1.	Zona de proyecto y descripción de la problemática	3
1.2.	Descripción de la problemática	5
1.3.	Justificación de la necesidad de la actuación	7
2.	CONOCIMIENTO DEL MEDIO - DINÁMICA LITORAL	9
2.1.	Ordenamiento municipal	9
2.1.1.	PGMO Municipal	9
2.1.2.	Planes especiales de protección.....	11
2.1.3.	Situación actual	12
2.2.	Medio geológico	12
2.2.1.	Contexto Geológico	12
2.2.2.	Geología de la fachada litoral.....	13
2.3.	Medio Natural	15
2.4.	Dinámica litoral	21
2.4.1.	La dinámica litoral como riesgo natural en Cataluña	21
2.4.2.	Estado de conservación de la Bahía de Pals - Estartit	23
2.4.3.	Dinámica litoral en la zona de Griells	25
2.5.	Movimientos de la playa de Els Griells.....	26
2.5.1.	Monitorización de la playa	26
2.5.2.	Causas del retroceso de la playa	28
3.	HISTÓRICO DE ACTUACIONES EN LA PLAYA DE ELS GRIELLS	30
3.1.	Periodo 2008 - 2010	30
3.2.	Período 2011-2013	32
3.3.	Estado actual	34
4.	OBRAS DE DEFENSA COSTERA.....	39
4.1.	Tipologías de obras costeras	39
4.1.1.	Muros rompeolas	39
4.1.2.	Espigones costeros	43
4.1.3.	Reposición de arena	47
4.2.	Impactos que generan las obras de defensa de costa sobre el medio ambiente	48
4.2.1.	Estabilidad litoral.....	48

4.2.2.	Ecología	50
4.2.3.	Paisaje	51
4.2.4.	Uso litoral	52
5.	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA PROTECCIÓN DE GRIELLS	53
5.1.	Metodología	53
5.2.	Definición y valoración de los diferentes objetivos	54
5.2.1.	Objetivo ambiental.....	54
5.2.2.	Objetivo Económico	56
5.2.3.	Objetivo Territorial / Social	57
5.2.4.	Objetivo Funcional	58
5.3.	RESULTADOS OBTENIDOS	59
5.3.1.	Valoración de las alternativas	59
5.3.2.	Análisis de sensibilidad y robustez	59
6.	PREDISEÑO DE UN ESPIGÓN DE PROTECCIÓN LITORAL.....	62
6.1.	Espigón individual.....	62
6.2.	Grupo de espigones perpendiculares	64
6.3.	Espigones exentos.....	66
7.	GLOBALIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	69
7.1.	Reparación y restitución del Paseo Marítimo	69
7.2.	Amenaza a la Playa Principal	71
8.	CONCLUSIONES	75
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	77

1. INTRODUCCIÓN

Se redacta la presente *Propuesta de Ideas Base Para un Proyecto de Recuperación Ambiental de la Fachada Litoral de la Zona de Els Griells (l'Estartit - Torroella de Montgrí - Gerona)*, para dar un apoyo técnico al movimiento vecinal originado en el Estartit para la protección de la playa de Els Griells.

Este documento ha sido redactado por la comisión técnica de este movimiento vecinal, comisión constituida por un equipo multidisciplinar formado por profesionales en el campo de la geología, arquitectura, ingeniería, biología, ciencias económicas y derecho.

El objeto del presente documento es la definición, a nivel de estudio preliminar, de las diferentes alternativas de recuperación ambiental de la playa de Griells y de protección de la zona urbana existente en la fachada litoral de la costa en esta zona.

1.1. Zona de proyecto y descripción de la problemática

La zona objeto de este documento se sitúa en el margen noreste de la Península Ibérica, concretamente en la provincia de Gerona.

Els Griells es un paraje situado en la población costera de l'Estartit, perteneciente administrativamente al municipio de Torroella de Montgrí, situado entre la antigua (Ter Vell) y la nueva (La Gola) desembocadura del río Ter, tal y como se muestra en la figura 1.

Este paraje da nombre a la playa existente en la zona (Playa de Els Griells) y a la urbanización de la zona (Urbanización de Els Griells), construida en la década de 1960. Su extensión urbanizada es de poco más de once hectáreas, y según el Ayuntamiento de Torroella de Montgrí, en 2007, presentaba más de 1.400 viviendas de las cuales, más del 50 % son segundas residencias.

La desurbanización del litoral torroellense sucedida entre los años 80 y 90, la normativa urbanística y la declaración del Parque Natural de la zona impide el crecimiento litoral de esta urbanización, la cual presenta en los últimos años importantes carencias en el mantenimiento urbano.

Propuesta de Ideas Base para un Proyecto de Recuperación Ambiental de la Fachada Litoral de la Zona de Els Griells (l'Estartit - Torroella de Montgrí - Gerona).



Figura 1 – Plantas de situación a diferentes escalas de la zona de estudio de esta Propuesta de Ideas Base.

Administrativamente, en la zona de Els Griells tienen competencias las siguientes administraciones:

- **Administración Estatal:** MAGRAMA , dirección de costas (zona de playa y límite marítimo-terrestre).
- **Administración Autonómica:** Departamento de Territorio y Sostenibilidad (Costas) y el Departamento de Agricultura , Ganadería, Pesca y Alimentación (Parque Natural) .
- **Administración Local:** Ayuntamiento de Torroella de Montgrí y Entidad Municipal Descentralizada del Estartit (Urbanización).

1.2. Descripción de la problemática

La erosión costera en la zona de Els Griells (l'Estartit - Torroella de Montgrí) está haciendo desaparecer buena parte de la playa existente y desde hace 5 años está comprometiendo la integridad de la urbanización adyacente ya que el oleaje está desestabilizando la escollera de protección del paseo marítimo.



Figura 2 – Imagen aérea de la fachada litoral de Els Griells en el año 2.009 donde se puede observar un ancho de playa de más 20 metros.



Figura 3 – Vista hacia el sur de la playa de Els Griells en el año 2.009, con el paseo marítimo a la derecha, y donde se puede observar un ancho mínimo de playa de unos 20 metros.



Figura 4 – Misma vista hacia el sur de la playa de Els Griells, en el año 2.015 donde se pueden observar las olas rompiendo contra la base de la escollera del paseo y ya sin casi playa.

La desaparición de la playa y de la escollera de protección existente en el paseo conlleva que la zona urbanizada de Griells se encuentre totalmente expuesta a la dinámica marina, con grave peligro para las personas y los bienes que conforman los espacios públicos, las fincas y edificaciones privadas de la urbanización.

Aunque año tras año se hayan ido llevando actuaciones de urgencia estas no han supuesto nunca una solución diseñada, estructural o de carácter definitivo, siendo su eficiencia y/o durabilidad siempre menor a 1-2 años. De hecho, la última reposición de arena se realizó durante un temporal de levante y duró menos de 24 horas.

Actualmente, la estabilidad de la escollera no se encuentre asegurada, ya que la base de la misma está afectada en algunos puntos por la acción de las olas, la cuales están movilizandando la arena de la base de los bloques rocosos y haciéndolos bascular.



Figura 5 – Bloques de la escollera de sostenimiento del paseo marítimo totalmente basculados y desencajados por efecto de la incidencia directa de las olas.

La vulnerabilidad a la que están expuestos de nuevo los bienes de la zona demuestra que el tipo de actuaciones que se han ido realizando no son suficientes para garantizar el valor turístico y ambiental de la zona así como la seguridad de los bienes y de las personas que viven en la zona de Els Griells.

A parte del riesgo directo de que alguien se haga daño en la playa por caídas de piedras o por los escombros existentes en el fondo de la playa, resulta fácil hacer el ejercicio de enumerar las pérdidas, a medio / largo, plazo más que probables en la zona de Els Griells si no se actúa para corregir la situación de riesgo existente. Entre ellas, destacan:

- Daños en la urbanización de Griells y en el paseo marítimo más allá del límite marítimo terrestre.
- Afección a los cimientos de los edificios provocando asientos no admisibles por la estructuras de las viviendas.
- Daños en los inmuebles por pérdida de la capacidad de fundamento del suelo al ser erosionado por el mar.

- Entrada del mar en los bajos y sótanos de los edificios si se pierde la protección de escollera.
- Pérdida de los negocios de la urbanización.
- Pérdida del valor turístico de la zona.
- Pérdida de la zona de baño.
- Pérdida del valor natural de una playa incluida en un parque natural de Cataluña.
- Pérdida de la continuidad natural de la Bahía de Pals.
- Degradación progresiva de la zona.
- Avance de la cuña marina hacia el interior provocando la salinización de acuíferos.
- Pérdida de las inversiones y actividades económicas y negocios existentes en la zona

1.3. Justificación de la necesidad de la actuación

Como se ha mencionado anteriormente, se redacta el presente documento para afrontar la necesidad de dar solución a la problemática existente en el frente litoral de la zona de Els Griells - l'Estartit.

La desaparición de la playa y de la escollera de protección existente en la base del paseo marítimo conlleva que la zona de Els Griells sea totalmente inestable, con grave peligro para las personas y los bienes que conforman los espacios públicos, las fincas y edificaciones privadas de la urbanización.

Los antecedentes de temporales de levante de la zona, la situación de riesgo en que ha estado expuesta la urbanización y la evolución previsible de la dinámica litoral hace pensar que futuros temporales podrían llegar a causar situaciones de riesgo muy elevadas para la integridad de toda la urbanización de la fachada litoral.

Esta vulnerabilidad, a la que está expuesta la zona de Els Griells, hace imperativo iniciar una planificación de actuaciones a realizar y establecer las bases que aseguren la protección de la fachada litoral. A la espera de estudios de base que permitan un diseño preciso de soluciones ingenieriles, se ha optado por iniciar esta planificación mediante este documento de Propuesta de Ideas Base.

De esta manera, el objetivo principal de este documento es el de prediseñar diferentes tipos de actuaciones que permitan la regeneración de la Playa de Els Griells. La regeneración de esta playa permitiría también asegurar los siguientes objetivos indirectos de este estudio:

- La protección de un espacio costero caracterizado por su interés naturalístico y paisajístico.
- La recuperación de la fachada litoral y el perfil de playa que se está degenerando llevando el agua de mar literalmente dentro de la urbanización.
- La recuperación del dominio público regenerando el conjunto del límite litoral.
- La reducción del riesgo al que se encuentran expuestos los bienes y las personas de la urbanización adyacente a la playa.

- Asegurar la integridad del paseo marítimo, enfatizando el carácter peatonal del borde costero.
- El incremento de los valores turísticos, patrimoniales y económicos de esta parte de l'Estartit.

Con base a este documento se podrán iniciar las actuaciones de estudio y diseño más detalladas que permitan optimizar la solución a ejecutar una vez se realicen los estudios de base de:

- Topografía y batimetría de detalle.
- Estudios geológico-geotécnicos.
- Caracterización de datos climatológicos y de dinámica marítima.

Que permitan el diseño detallado de las soluciones y completar la realización de modelizaciones numéricas y reales a escala, adaptando la solución definitiva a nuestra zona de características especiales, como son la presencia de las Islas Medes, un pendiente submarino muy suave, una arena muy fina, corrientes dominantes de lebeche, etc.

La experiencia en la zona demuestra que la protección más eficiente del litoral viene dada por una combinación de la escollera reconstruida con un frente de playa en su pie que permita mantener la acción de las olas alejada de la base de la rocalla.

Parece también claro que asegurar la protección de esta zona tiene un coste muy reducido en comparación con el coste de los daños que se evitarían. Lo que entendemos que no puede ser es que gasten recursos año tras año haciendo actuaciones de carácter temporal que no hacen más que degradar la zona y perder recursos que se podrían destinar a una solución definitiva.

Mantener una playa al pie de la escollera no sólo tiene un significado estructural básico para el muro, sino que también garantizaría el valor turístico, económico y ambiental de un sistema de playa continuo a lo largo de esta zona de la bahía.

Cabe destacar en este aspecto, que l'Estartit es una población que representa un modelo productivo a nivel nacional por la forma en cómo gestiona el turismo, haciendo que sea una actividad claramente beneficiosa para todo el municipio. Es por ello que, las playas de la población, en tanto que recurso productivo ambiental-turístico, frágil y amenazado, deberían gestionarse y progresivamente percibirse como una infraestructura condicionante del crecimiento inmobiliario-turístico de la zona como destino y no al revés.

Regenerar playas debe implicar también recuperar terrenos del mar, campos dunares o zonas húmedas y también indirectamente apostar por procesos de recuperación en el DPMT o de desaceleración del crecimiento residencial si se quieren preservar los intereses globales (del municipio y de la provincia) de turismo, ocio y de valor natural.

2. CONOCIMIENTO DEL MEDIO - DINÁMICA LITORAL

2.1. Ordenamiento municipal

Como se ha indicado anteriormente, Els Griells, es un paraje situado en la población costera de l'Estartit, perteneciente administrativamente al municipio de Torroella de Montgrí.

El Plan General Municipal de Ordenación del ayuntamiento de Torroella de Montgrí se publicó en el DOGC núm. 3654 del 11 de junio de 2002. La versión vigente actualmente es la número 4, de Mayo de 2014.

2.1.1. PGM Municipal

El Plan General constituye el instrumento de ordenación integral del territorio del municipio de Torroella de Montgrí, de conformidad con lo dispuesto en la actual legislación urbanística. Las normas incluidas en él, junto con los planos de ordenación, constituyen el cuerpo normativo específico en materia urbanística del municipio y, conjuntamente con la planificación que lo desarrolla, y conforme a la Ley del Suelo, es público, ejecutivo y obligatorio.

Según los planos de ordenación del suelo incluidos en este Plan General, la zona de Els Griells se caracteriza por una zona de suelo urbano (urbanización propiamente dicha) rodeada por suelo incluido dentro del Parque Natural del Montgrí tal y como se muestra en la figura siguiente:

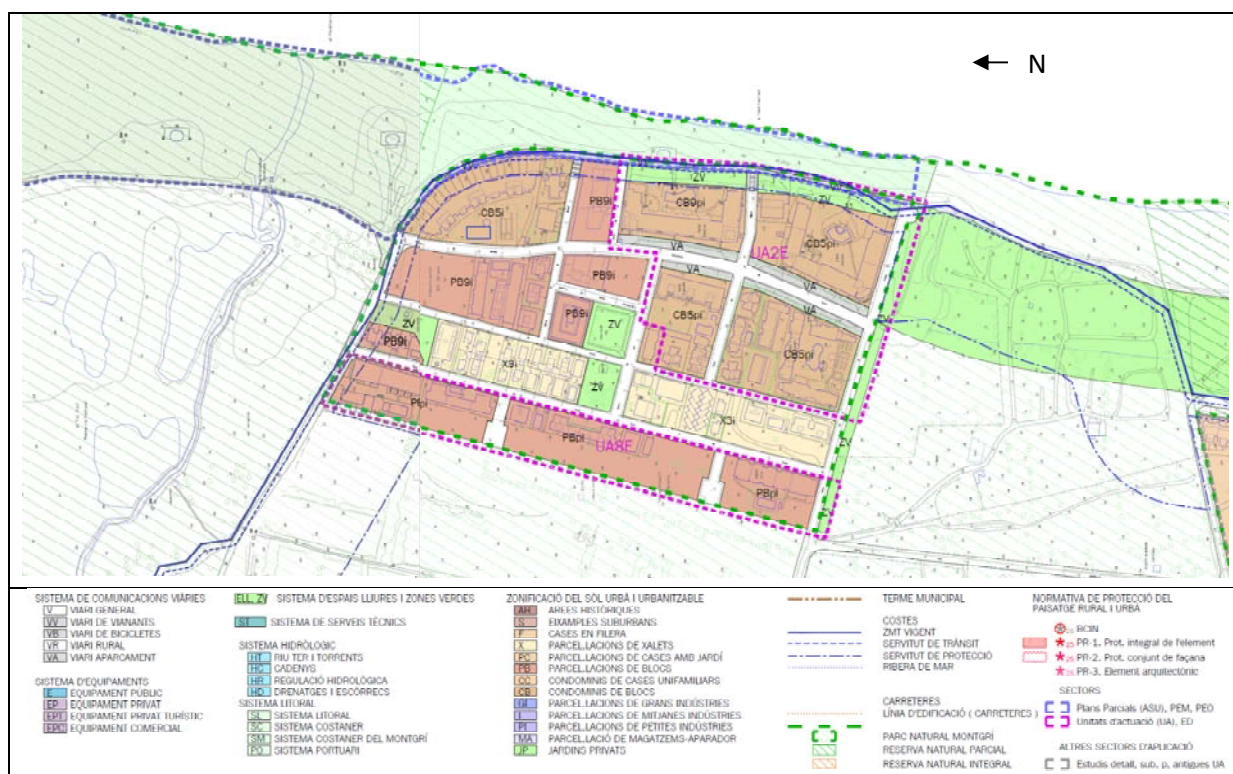


Figura 6 – Extracto de la cartografía del PGM de Torroella de Montgrí centrado en la zona de Els Griells.

Especialmente destacan los usos del suelo previstos en:

- Al Norte de la urbanización, donde limita con la Reserva Natural Parcial del Ter Vell (Bajo el amparo de la Ley de creación del Parque Natural).
- Parcialmente al Sur, donde limita con suelo considerado como Sistema de espacios libres y zonas verdes. Con la siguiente regulación en el Plan General (*Artículo 133. Sistema de Espacios Libres y Zonas Verdes (Clave ÉL-ZV)*).
 - Forman el Sistema de Espacios Libres y Zonas Verdes todos los parques, jardines, plazas, ramblas y espacios libres verdes públicos con vegetación o sin.
 - El uso fundamental de los Espacios Libres y Zonas Verdes es el descanso y el esparcimiento de la población, por lo que, únicamente, se admiten aquellas construcciones e instalaciones que ayuden a lograr este fin.
 - Las construcciones e instalaciones que se hagan no podrán ocupar más del 5% de la superficie total del Espacio Libre o Zona Verde. Asimismo, se permite el uso de aparcamiento público temporal, excepto en aquellas zonas situadas dentro de la zona de dominio público marítimo terrestre.
 - Temporalmente se admite la instalación de ferias, circos y atracciones que no estropeen los espacios ajardinados, excepto en aquellas zonas situadas dentro de la zona de dominio público marítimo terrestre.
 - En ningún caso se admitirán aprovechamientos privados de subsuelo, suelo y parte aérea de estos espacios, admitiéndose, por lo contrario, la instalación de servicios públicos en su subsuelo.
 - Se admite la posibilidad de luces y vistas de las fincas vecinas sobre los parques y jardines públicos, así como acceso peatonal y excepcionalmente acceso rodado, siempre y cuando la condición de solar se adquiera para hacer frente una vía en los términos establece el art. 119 del DL 1/1990, o porque así se admite en un planeamiento derivado que desarrolle esta zona.
 - La vegetación en los tramos urbanos de este sistema será la que se establece por el sistema viario en el artículo 127 .3 de estas normas.
- Al Este, donde limita con suelo considerado Sistema Litoral. Con la siguiente regulación en el Plan General (*Artículo 150 Definición y 151 Ordenación del Sistema Litoral (Claves S y P)*).
 - Forman el Sistema litoral aquellos suelos que forman parte del ámbito de transición tierra- marz.
 - Este sistema se divide en cuatro subsistemas:
 - Sistema litoral del dominio marítimo - terrestre, las dunas y los salobres, clave SL .
 - Sistema litoral de los acantilados, clave SC .
 - Sistema litoral de las Islas Medes , clave SM .
 - Sistema litoral ocupado por el Puerto del Estartit, clave PO .

- El Plan General propone la conservación de estos espacios por sus valores científicos, ecológicos , paisajísticos , culturales , sociales, didácticos y recreativos. Por ello , propone la protección y conservación de sus valores, y garantizar su uso y disfrute público, con las limitaciones que la conservación y la gestión conllevan.
- La ordenación de estos suelos se hará de acuerdo con la legislación sectorial correspondiente, y con la redacción de planes especiales en los que se determine la intensidad y los usos permitidos, la forma para conservar y mejorar el espacio y los valores a proteger y gestionar.

2.1.2. Planes especiales de protección

A raíz de lo indicado en el artículo 151 PGOM se incluye un Plan Especial de Protección del Frente Marítimo que incluye toda la playa de l'Estartit, desde el dique de Garbí del puerto hasta el final de la urbanización de Els Griells, incluida la franja de servidumbre de la zona marítimo -terrestre sobre la fachada urbana de l'Estartit.

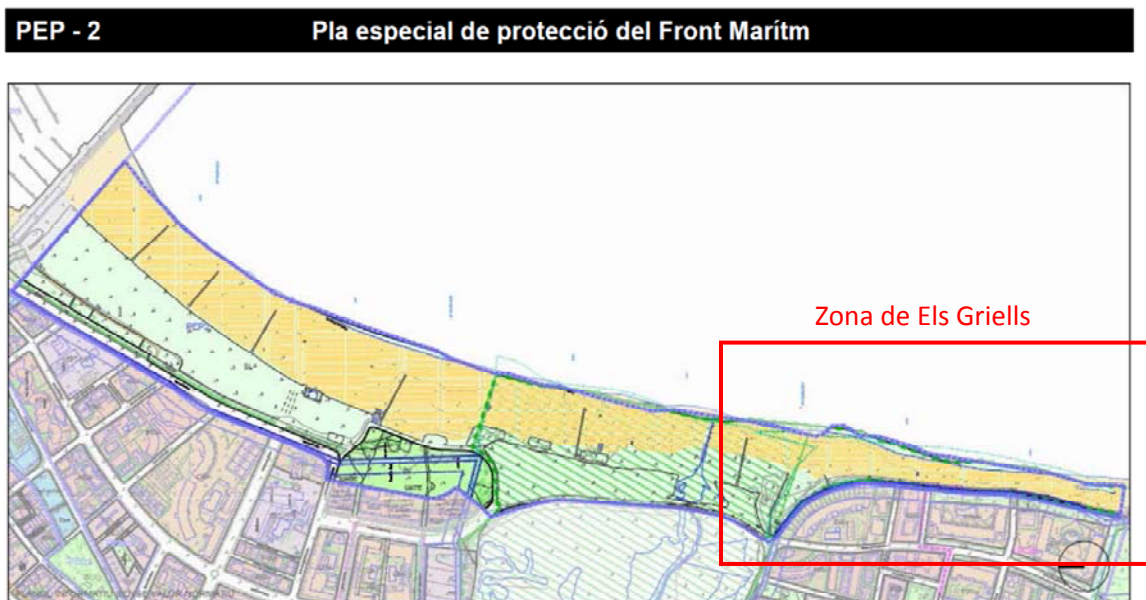


Figura 7 – Cartografía del ámbito del Plan Especial de Protección del Frente Marítimo donde se marca la zona objeto de este documento. PGOM de Torroella de Montgrí.

Se trata de un ámbito de 21,39 Hes. de gran calidad ecológica y paisajística y de un valor importante para la imagen municipal y para el ocio de sus usuarios.

Normativa específica del PEP :

El objetivo del Plan Especial es la construcción del paseo marítimo compatible con la recuperación ecológica de la zona y la integración en el sistema litoral. El Plan pretende reordenar la playa, dividiendo el espacio arenoso en cuatro bandas :

- Una primera, para la actividad del baño.
- Una segunda, por el reposo del bañista.
- Una tercera, de reserva para actividades deportivas y lúdicas, y
- Una última, para situar un gran parque urbano.

Esta nueva sección debe completarse con un nuevo diseño del paseo , sobre todo para evitar la discontinuidad entre el frente de mar y la playa.

2.1.3. Situación actual

Se estima necesario indicar que parte del PGOM queda comprometido con la situación erosiva actual de la playa de Els Griells ya que en algunas zonas, buena parte de la zona delimitada en estas cartografías ha desaparecido por acción del oleaje.

Concretamente, y respecto al Plan Especial de Protección, sus límites se han reducido de manera significativa, llegando en algunos puntos, incluso, a situarse el nivel de erosión más allá del límite de la ZMT. Son zonas clasificadas de gran calidad ecológica y paisajística y de un valor importante para la imagen municipal y para el ocio de sus usuarios por lo que resulta realmente importante recuperarlos.

2.2. Medio geológico

2.2.1. Contexto Geológico

La llanura ampurdanesa es una extensa zona deltaica formada por dos áreas cóncavas de relleno sedimentario, formando dos bahías cerradas por un cordón de playa oval. El perfil oval se debe al efecto de las corrientes marinas y de la tramontana, que han ido regularizando la forma de las bahías.

A partir de los datos sedimentológicos disponibles y del dinamismo de las costas, se puede concluir que en el Empordà se conjugan varios factores: unos que tienden a formar zonas húmedas (por la acción de desbordamiento de los ríos o por la formación de barreras arenosas creadas por las derivas litorales), y otros que tienden a su relleno (llegada de sedimentos en inundaciones fluviales o a través del aporte de los temporales de levante marinos).

La tendencia natural de esta zona de llanura, teniendo en cuenta la interacción entre los aportes fluviales naturales y la dinámica marina es la de ir creciendo, ganando terreno al mar, por la acreción de cordones litorales (Montaner y otros, 1995 ; Montaner i Solà, 2004).

Geológicamente, la configuración actual de la llanura de Griells corresponde a una antigua zona de albufera cerrada al este por un extenso cordón litoral donde a lo largo de los últimos 15.000 años el río Ter ha ido depositando sus sedimentos.

En esta zona se distinguen 2 tipos de ambientes sedimentarios con diferentes materiales naturales asociados:

- **Ambientes fluviales y palustres:** Corresponden a zonas de llanuras de inundación fluviales fácilmente inundadas en avenidas y en períodos cortos de tiempo.
Consisten básicamente en zonas de humedales y marismas, actuales o antiguas (hoy transformadas en campos de cultivo).

En estas zonas se identifican materiales arcillosos con intercalaciones arenosas. Son de tonos oscuros con un alto contenido salino y de materia orgánica vegetal y fauna litoral (Material Qm).

- **Ambiente marino:** Aquí se encuentran las zonas formadas por acción de procesos marinos, es decir, las olas del mar y la corriente litoral, ya que las mareas no son significativas: el cordón litoral actual, formado por la playa y el cordón de dunas de la playa.

Está compuesto por arenas de color beige con predominio de grano medio y grosero y corresponden a depósitos de playa (arenas) transportados por el viento y re TRABAJADAS por las olas (Material QPS).

En la siguiente figura se muestra la planta geológica de la zona:

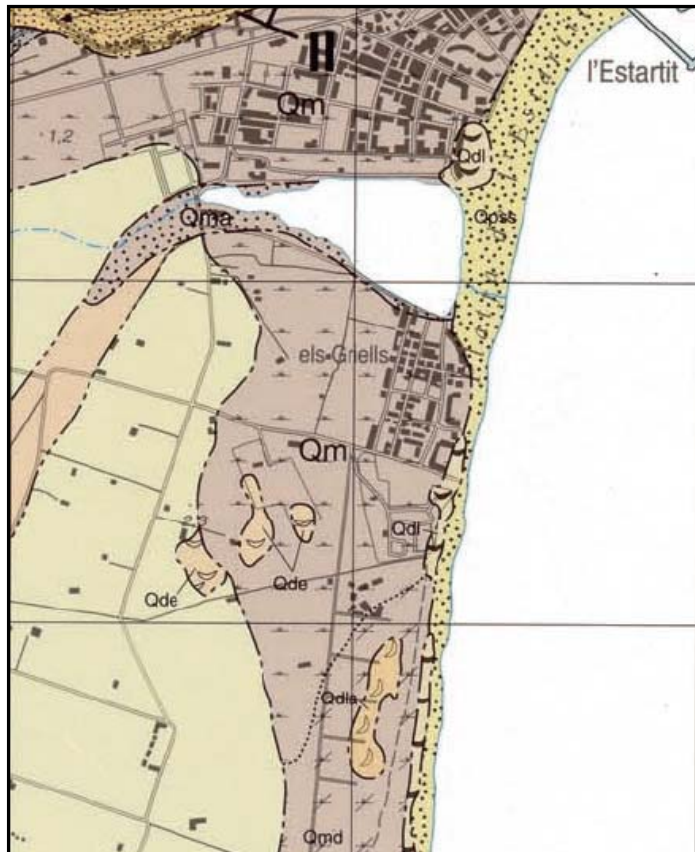


Figura 8 – Detalle de la planta geológica 1:25.000 centrada en la zona de Els Griells de l'Estartit.

Se distinguen dos unidades geológicas principales, la unidad Qm, formada por arcillas de origen palustre, y la unidad Qpss de arenas de playa.

*Mapa Geológico 1:25.000
full 297-1-2 (79-24)
Institut Geològic de Catalunya.*

2.2.2. Geología de la fachada litoral

El medio litoral se encuentra representado de forma continua a lo largo de la costa del Baix Empordà, desde L'Estartit hasta Punta Espinuda, en el límite meridional de la playa de Pals. En este medio, se distinguen tres ambientes distintos (Mas et al., 1989):

- **La playa,** influenciada directamente por la dinámica marina, es el resultado del re trabajamiento de los sedimentos fluviales por efecto del oleaje y las corrientes marinas. En la zona estudiada, la anchura media de la playa es de entre 30 y 40 m. Las arenas de la playa de la llanura presentan una granulometría comprendida entre 0,2 y 2 mm de diámetro; mostrando una carencia de granoclasificación sobre todo en la zona de la playa más próxima a la línea de costa. La granoclasificación de las arenas aumenta a medida que nos desplazamos hacia el continente, dónde el efecto de los temporales es más esporádico. En éstas, el tamaño de la arena

queda comprendido, en un alto porcentaje, entre 0,2 y 0,6 mm (Obrador et al., 1971).

Un elemento morfológico destacable es la flecha de arena que se forma en la desembocadura del río Ter. Su morfología es variable y es el resultado del equilibrio entre el ritmo de aportes de sedimento por parte del río y el de la capacidad de retrabajamiento de estos materiales por los procesos marinos (oleaje y corrientes).

En el área del Ter Vell y la Pletera, se han identificado unas depresiones de arenas que se forman en la parte interior de la playa y que se denominan depresiones de trasplaya. Estas suelen encontrarse en aquellos lugares donde el cordón litoral de dunas presenta escasa entidad.

- **El cordón litoral de dunas** se ha originado por procesos eólicos. En la fachada litoral estudiada, se extiende de forma casi continua, en la trasplaya de Pals, de La Fonollera y de L'Estartit, exceptuando la zona del Ter Vell. Las dimensiones medias de este cordón es de unos 10 a 15 m de anchura y de 2 a 5 m de altura. En el sector de La Fonollera y el Pinell también se encuentran unas depresiones someras, pero estas están situadas detrás de las dunas.

En el extremo meridional de la playa de Pals, el cordón litoral queda unido al complejo de dunas continentales que rellenan el Macizo de Begur siendo difícil diferenciarlas. Según los datos cartográficos las dunas continentales se sitúan sobre los materiales eocenos mientras que las de origen litoral lo hacen sobre la línea de costa (cuaternarios).

Los materiales que conforman las dunas proceden de los sedimentos de la playa, transportados por deflacción y acumulados en la parte interna del cordón litoral. La selección del sedimento ejercida por el viento se hace patente en las curvas granulométricas (Obrador et. al., 1971); observándose como la arena acumulada en la duna presenta un tamaño de grano considerablemente más fino que los depósitos de playa.

- **Las zonas de marismas**, situadas detrás el cordón dunar, han sido formadas en la confluencia de los procesos litorales con la dinámica fluvio-deltaica. En esta zona se localizan los estanques o lagunas litorales. Dentro de la Llanura del Baix Empordà, ocupan una franja considerable del cordón litoral.

2.3. Medio Natural

La playa de Els Griells forma parte del Parque Natural del Montgrí, las Islas Medes y el Baix Ter, siendo una zona anexa a la Reserva Natural Parcial de los Humedales del Baix Ter.

Según la lista de los hábitats presentes en Cataluña (LHC), las islas Medes y el macizo del Montgrí acogen un total de 25 hábitats diferentes, de los cuales 11 tienen interés comunitario y de éstos, 3 son de tipo prioritario.

Este parque natural se creó por la Ley 15/2010, de 21 de mayo de 2010, con el objetivo principal de unificar la normativa de protección de los tres espacios que conforman el parque natural (Macizo del Montgrí, las Illes Medes y el Baix Ter). La Ley declara como Parque Natural las Islas Medes, el macizo del Montgrí y su entorno marino así como el litoral del Baix Ter. Comprende los municipios de: Torroella de Montgrí, Pals, Bellcaire d'Empordà, Palau-Sator, Ullà, Fontanilles y Gualta, en la comarca del Baix Empordà, y la Escala, en la comarca del Alt Empordà.

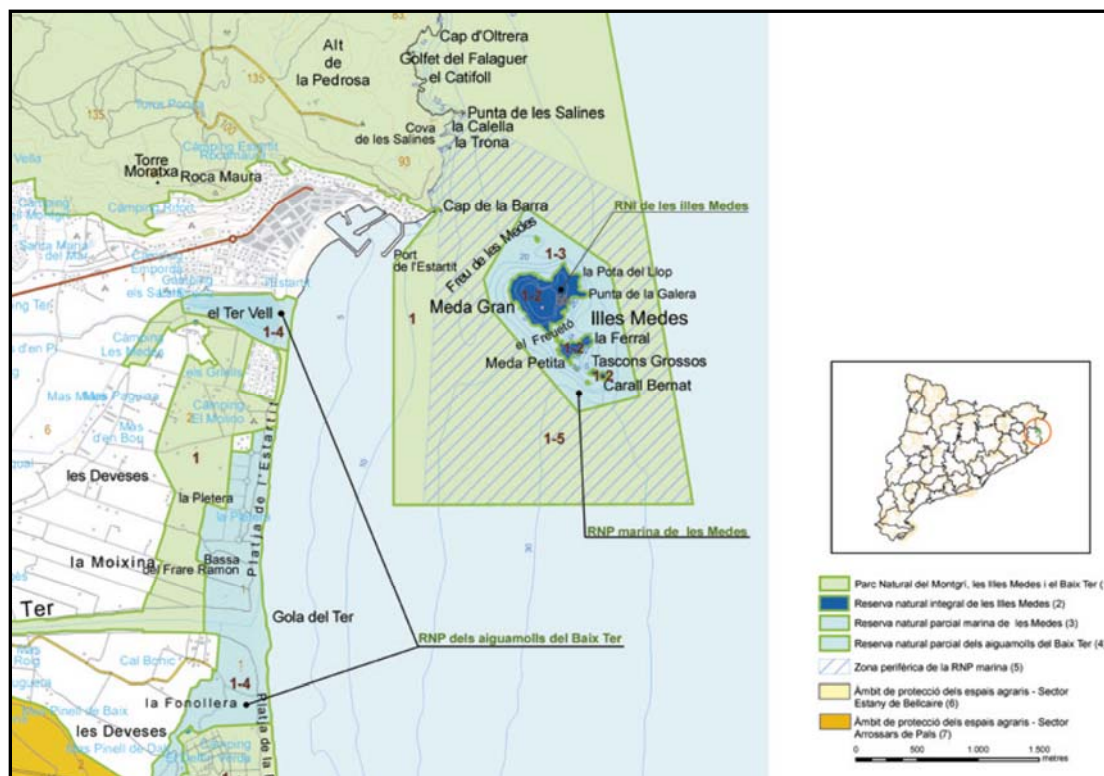


Figura 9 – Detalle del mapa del ámbito del Parque Natural del Montgrí, las Islas Medes y el Baix Ter.

La Ley declara como reserva natural parcial del ámbito marino alrededor de las islas Medes dando lugar a la Reserva Natural Parcial marina de las Islas Medes y también las lagunas y los humedales de los sectores de Ter Vell, Pletera, balsa de Fray Ramon y balsas de en Coll y sus sistemas litorales asociados que en su conjunto originan la Reserva Natural Parcial de los Humedales del Baix Ter.

La superficie emergida de las Islas Medes se declara Reserva Natural Integral.

El Espacio de Interés Natural del Montgrí configura una unidad de relieve singular dominada por una meseta con pequeñas elevaciones, situada entre la planta baja del Ter y el golfo de Roses. Los picos más altos son los situados en el suroeste, principalmente, el Montplà (310 m), la montaña de Ullà (307 m) y el Montgrí (303m). La franja litoral se extiende a lo largo de casi 10 km entre el jefe de la Barra y cala Montgó, y es el único ejemplo en Cataluña de acantilados excepcionales de casi 100 m de altura y de origen calcáreo. La geomorfología de la costa es muy diversa, y origina diferentes accidentes como cabos, calas, golfos, islotes, arcadas o cuevas, que en conjunto constituyen un paisaje de excepcional belleza, que ha sido moldeado sobre todo por la acción del mar. Otro factor paisajístico particular es la existencia de una duna continental en el lado este del macizo, formada principalmente por la acción de los vientos de tramontana que han llevado gran cantidad de arenas provenientes del Alt Empordà lo largo de los años.

El pequeño archipiélago de las Medes, de 21,5 ha de superficie, está formado por siete islotes y algún escollo, y constituye un paisaje de gran belleza único en Cataluña, debido a la gran cantidad de ambientes y especies que se encuentran. Lo que determina el valor excepcional de las Medes en el Mediterráneo es su medio marino, donde encontramos paisajes de indudable valor como paredes verticales con comunidades de corales, praderas de posidonia, fondos poco profundos dominados por algas y las cuevas y túneles excavados largo de los años por los fenómenos naturales. Las islas presentan una disimetría muy acusada entre los extremos este y oeste. Mientras que en la vertiente oriental encontramos acantilados cortados en vertical que se adentran de igual manera a los fondos marinos hasta unos 50 m de profundidad, la occidental tiene pendiente más suaves, que facilitan una accesibilidad más cómoda a la isla.

Los únicos datos de los que se dispone sobre la calidad de los fondos marinos de las playas de Torroella-L'Estartit, son que se trata de unos fondos detríticos donde abunda una especie de alga, *Cimodocea nodosa*, especie perenne que, se reproduce tanto vegetativamente como para mediante flores masculinas, de color rojo y con un largo pedúnculo, y las femeninas, situadas en la base de las hojas y protegidas por la vaina. Los frutos son discoidales y miden cerca de 1 cm de diámetro. Es una especie más resistente y tolerante que la *Posidonia*, y tiende a sustituirla donde ésta es destruida.

En la primera línea de costa deben señalarse las playas como elemento paisajístico diferencial. Las playas son sistemas dinámicos que se reducen o se amplían con los temporales y que reciben aportes de arena por parte de los ríos y de las corrientes marinas. En condiciones naturales, asociadas a las playas, pero fuera de la influencia directa de las olas, se encuentran las dunas litorales. Éstas cuentan con una vegetación muy específica adaptada a la aridez y a la pobreza del sustrato (la arena es muy porosa y no retiene el agua ni los nutrientes), a la movilidad del mismo (una planta que no cuente con un buen sistema radicular que la fije, es arrancada fácilmente cuando el viento se lleva la arena), al aporte de aerosoles por parte del mar y a los fuertes vientos de la zona, entre otros. Detrás de los sistemas dunares es donde se encuentran las marismas y lagunas costeras, también muy relacionadas con el mar y los aportes de agua salada. La construcción de embalses aguas arriba de los ríos, y de espigones y puertos deportivos en las zonas turísticas costeras, altera la llegada y deposición de sedimentos y arenas en las playas. Los procesos de erosión y de regeneración en estos ambientes son muy difíciles de

predecir y controlar, pero deben tenerse en cuenta cuando se evalúan los riesgos potenciales o reales de un ecosistema.

La playa de Els Griells supone un corredor de conexión entre los diferentes tramos de la RNP de los humedales del Baix Empordà. Éstos, son un conjunto de zonas húmedas costeras que ocupan la llanura deltaica originada por los ríos Ter y Daró, en el litoral del Baix Empordà, la mayor parte de las cuales pertenecen al término de Torroella de Montgrí. Se trata de un tramo de costa que contiene un mosaico de hábitats naturales muy diverso, con lagunas litorales, sistemas de dunas y marismas. El espacio está incluido en el Plan de Espacios de Interés Natural por el hecho de representar, junto con las zonas húmedas del Alt Empordà, un conjunto singular a nivel de Cataluña. De todo el tramo de humedales, la certificación sólo afecta a la zona de Ter Vell. Ésta, situada al sur del Estartit, ocupa una extensión aproximada de 23 ha. Se trata de la antigua desembocadura del río Ter que, al ser desviado a mediados del siglo XIX, originó lo que es hoy esta laguna costera. La zona húmeda está formada por un conjunto de humedales y lagunas de agua dulce alimentadas por el excedente de regadío de la llanura agrícola adyacente y por las aguas de precipitación. La vegetación está constituida sobre todo por cañizales, carrizales y juncales, con algunos recortes de vegetación halófila y poblamientos de tamariscos, que conforman el hábitat de una gran diversidad de aves y otros vertebrados. Esta laguna de aguas libres también constituye un hábitat excepcional para un gran número de patos y ardeidas, de peces y de invertebrados acuáticos

Los principales hábitats protegidos en la zona de Griells son

- **Dunas litorales:** Recorriendo la fachada litoral de l'Estartit y Pals, se observa una unidad prácticamente continua de arenales costeros de gran valor ecológico y que actualmente representa una de las muestras más extensas y mejor conservadas de sistemas dunares de Cataluña. Estas dunas se han formado a partir de la arena aportada por el mar, los ríos y el viento que se ha acumulado con el paso de muchos años de historia en la bahía. En estos ecosistemas se crean unas condiciones ecológicas marcadas por la movilidad y la sequedad de las arenas, en que sólo algunas plantas especialmente adaptadas pueden sobrevivir. Las especies más representativas son el barrón, fácilmente observable en las crestas de una, la cizaña de playa, el cardo marino y la campanilla de mar, entre otros.



Figura 10 – Detalle de la planta Campanilla de Mar (Calystegia soldanella).



Figura 11 – Aspecto de la Cizaña de Playa (*Elymus farctus*).



Figura 12 – Dunas colonizadas por Barrón (*Ammophila arenaria*) y Cardo marino (*Eryngium hafifimum*).

- **Marismas:** De la duna litoral hacia el interior encontramos espacios llanos y lagunas fácilmente inundables cuando llegan los temporales de levante, lluvias intensas o también riadas. Las características de su suelo arcilloso condicionan el hecho de que se mantengan el agua y las sales que lleva en disolución y que se van acumulando en el suelo durante períodos sucesivos de inundaciones y sequías. La presencia de sal en el agua y el suelo condiciona enormemente la vida de los organismos.

Es por ello que, a primera vista, paseando por la Pletera y la Gola del Ter observamos en las zonas más húmedas y saladas de la trasduna un paisaje característico tapizado de verde y pardo rojizo que ofrecen los salicorniares. Cuando la salinidad disminuye, pero la humedad se mantiene, la cobertura vegetal también varía y entonces aparecen las matas punzantes de los juncuales entre el verde de los prados.



Figura 13 – Aspecto de una pequeña marisma en la zona de la Pletera.

- **Balsas y cañizales:** Los humedales de agua dulce, creados a partir de la interacción los ríos Ter y Daró y de la acción de las corrientes marinas, son ecosistemas de elevado valor ambiental en un entorno mediterráneo donde el agua es precisamente un bien escaso.

La mayor parte de estas lagunas son antiguos tramos fluviales que han quedado apartados del curso principal actual del río, pero para los que aún circula un pequeño caudal de agua dulce. El Ter Vell, que debe su nombre al que allí desembocaba este río hasta mediados del siglo XIX, es una muestra de estos ambientes que, a pesar la huella de la mano del hombre, son un reservorio de biodiversidad. No es raro observar entre el carrizo y la anea numerosos pájaros como el ánade, la garza real o el aguilucho, y también peces, reptiles y anfibios, donde encuentran fácilmente alimento y refugio.



Figura 14 – Carrizo en la balsa del Ter Vell.

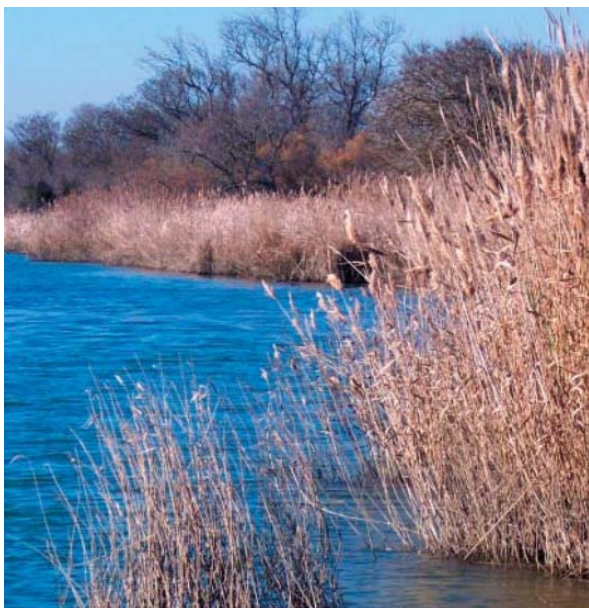


Figura 15 – Anea o Totoras en la balsa del Ter Vell.

Desde el Ayuntamiento de Torroella de Montgrí, con la colaboración de diferentes organismos y administraciones a nivel europeo, se está llevando, desde 1999, a cabo el proyecto LIFE para mejorar algunos de los espacios naturales de la zona clasificados dentro del anexo I de la Directiva de Hábitats europea y propuestos como LIC (Lugar de interés comunitario) dentro de la red natura 2000, llamado *"Restauración y ordenación de las lagunas y los sistemas costeros del Baix Ter"*.

El proyecto LIFE realiza 4 líneas de actuación: recuperación de los cordones dunar de la zona de la playa, construcción de un sistema de humedales de depuración para las aguas que entran en la laguna de Ter Vell, retirada de sedimento con alta concentración de materia orgánica de la misma y reintroducción de un pez endémico, el fartet (*Aphanius iberus*), en la zona de la Pletera. Por lo que respecta a la actuación que ha tenido lugar en la playa, para regenerar el sistema de dunas, ha sido instalar tramados de cañas para facilitar la retención de la arena. Esta estructura se consolidó con la colonización de especies vegetales, espontánea en algunos casos, y forzada en otros con especies psamófilas procedentes de vivero. Esta intervención ha permitido recuperar parte de la estructura originaria de la zona, antes de cualquier intervención del hombre. En el año 2004 la Unión Europea concedió un segundo proyecto para trabajar en la recuperación de la zona de humedales del Baix Ter, llamado *"Recuperación del hábitat de anfibios y Emys orbicularis en el Baix Ter"*, con actuaciones que afectan a las cercados vecinas en el Ter Vell pero que no tienen incidencia en la playa.

Respecto al mantenimiento del sistema dunar, conjuntamente con las diferentes administraciones que interaccionan en el espacio se estableció un protocolo de recuperación de las dunas. Se realizó el "Protocolo de criterios geoambientales para la gestión sostenible de la limpieza de los sistemas playa-duna de Torroella y Pals, Baix Empordà". Este protocolo está en fase experimental. Durante el 2011 se realizó la limpieza manual en la zona de Mas Pinell para establecer un protocolo de limpieza que respeta la recuperación de la zona dunar. Actualmente se está estudiando otro sistema de limpieza de la arena de la playa para poder favorecer la recuperación de este espacio dunar. De la

misma manera que se ha solicitado la colaboración de la empresa de limpieza para poder disponer de la máxima eficacia en esta prueba piloto.

No obstante, actualmente, la limpieza de las playas se sigue realizando de manera mecanizada, siendo muy poco respetuosos con el sistema dunar de Els Griells. Encima, habitualmente se utiliza parte del suelo catalogado como RNP, como zona de aparcamiento y circulación de vehículos durante la temporada turística, por lo que resulta imposible garantizar la recuperación de las dunas en esta zona.



Figura 16 – Fotografía aérea donde se marca la zona de playa de la Reserva Natural del Ter Vell que se acondiciona cada año para el estacionamiento de vehículos.

2.4. Dinámica litoral

2.4.1. La dinámica litoral como riesgo natural en Cataluña

El litoral catalán tiene una longitud aproximada de 600 Km, y se caracteriza por una gran diversidad morfológica así como por estar afectado por un alto grado de urbanización. El turismo asociado a playa es y ha sido un importante motor económico de nuestro país, y esto ha configurado el litoral altamente antropizado que hoy tenemos.

El litoral catalán tiene muchos actores, y las intervenciones son diversas y constantes en todos lados. Existe fragmentación de responsabilidades entre diferentes administraciones y gran dificultad de coordinación ya que en una misma zona se reparten competencias estatales, autonómicas y municipales.

A esta complejidad administrativa se añade la vulnerabilidad de toda esta zona frente a los agentes externos propios asociados a la dinámica litoral, especialmente los temporales.

Aunque existen pocos datos históricos, en la siguiente figura se resume la magnitud y la frecuencia de temporales que han afectado a la costa catalana entre los años 1992 a 2006. Esta recopilación de datos ha sido llevada a cabo por el *Consejo Asesor para el Desarrollo Sostenible (CADS)* y publicadas en el informe *RISKCAT, Los Riesgos Naturales en Cataluña*.

Historial de acontecimientos		Estimación de la recurrencia
Distribución espacial	Distribución temporal	
Longitud de costa 578Km	297 temporales registrados en los últimos 14 años (1992-2006)	Erosión Proceso continuo, no caracterizable por un periodo de retorno
Costa en erosión 192Km	147 Débiles	Temporales 20 t. / año (débiles a significativos)
Costa con infraestructuras y playas artificiales 152Km	82 Moderados	1 t. severo / 2 años
	59 Significativos	1 t. extremo / 14 años
	8 Severos	
Población en zona de costa afectada por erosión 1.000.000 hab.	1 Extremo	Tsunamis Sin registros en la costa catalana
Áreas urbanizadas e industriales afectadas por erosión 123Km ²		Olas gigantes, seiches y resonancia No se disponen de datos
Áreas de alto valor ecológico afectadas por erosión 217Km ²		

Figura 17 –Resumen de eventos meteorológicos (temporales marinos), que han afectado a la costa catalana entre el 1992 y el 2006. (Riskcat, 2008).

De esta recopilación se extrae claramente que la costa sufre el efecto de una media de 20 temporales marítimos cada año. Dándose un episodio severo como el del pasado mes de marzo con un periodo de retorno de dos años.

Hay que tener en cuenta el importante grado de urbanización de la costa catalana, lo que la hace muy vulnerable frente a cualquier fenómeno natural que afecte a esta zona, haciendo patente toda una problemática económica y ambiental asociada a la erosión y al mantenimiento de las playas tal y como se muestra en la siguiente figura.

Estimación del impacto		
Impacto social	Impacto económico directo	
	Cantidad	Descrito
Por temporales en los últimos 14 años 47 muertos	Temporales <i>Según datos de prensa</i> 2001 13.000.000 €	Temporales Temporal de 2001 Rotura de mobiliario urbano desperfectos en paseos marítimos Rotura de obras de defensa Inundación de áreas deltaicas Cortes en la vía férrea
Por erosión e inundaciones No se conoce	Taxación de pérdidas (datos del CCS) 1996 684.921 € 1997 1.310.386 € 2001 6.241.975 € 2003 1.460.122 € 2004 1.852 € 2005 4.857.886 € 2006 1.115.812 €	Otros daños ocasionados por temporales Degradación de ecosistemas Degradación de la calidad del agua
	Erosión 2006 60.000.000 € Obras de protección de las playas de Barcelona 110.000.000 € 1986-2006 Inversión mínima para la regeneración artificial de playas	Erosión Aportación de 19.000.000m ³ en 20 años

Figura 18 – Estimación del impacto económico de los temporales marinos que han afectado a la costa catalana entre el 1992 y el 2006. (Riskcat, 2008).

La vulnerabilidad de la costa a los fenómenos de erosión e inundación suele ser elevada, especialmente en los tramos de costa baja sedimentaria y en áreas con alta presión urbanística. El mapa de peligrosidad (figura siguiente) tiene como objetivo ofrecer una visión general de la peligrosidad asociada a la erosión ya la inundación litoral. Dada la diversidad de nuestra costa y la falta de datos, se debe insistir en el hecho de que este mapa de peligrosidad es orientativo. El volumen total de arena vertida en las playas desde el año 1986 es un buen indicador de cuáles son las áreas donde el riesgo asociado a la erosión es más intenso.

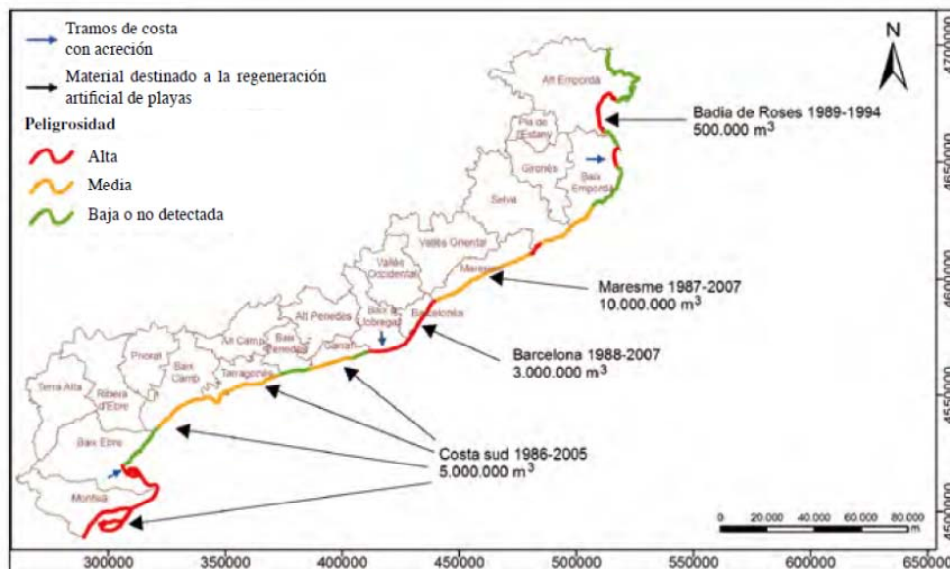


Figura 19 – Mapa de peligrosidad de erosión/inundación en el litoral catalán. Se indican los tramos con acreción y la cantidad (m^3) de material destinado a la regeneración artificial de playas (Riskcat, 2008).

En general, se considera que la peligrosidad es más elevada en las desembocaduras de los grandes ríos y en la ciudad de Barcelona, es media en los tramos de costa arenosa y altamente urbanizada (Maresme, Costa Dorada) y es baja o no detectada en los tramos de costa rocosa.

2.4.2. Estado de conservación de la Bahía de Pals - Estartit

El estado de la costa y el aprovechamiento de los recursos costeros de Cataluña ha sido objeto de estudio de numerosos trabajos promovidos por la administración. Uno de los últimos estudios efectuados ha sido realizado por el *Centro Internacional de Investigación de los Recursos Costeros del Laboratorio de Ingeniería Marítima de la Universidad Politécnica de Cataluña*.

Este trabajo, realizado recopilando datos de 2001 a 2010 y titulado *Estado de la zona de costera en Cataluña* concluye que, en términos generales, la costa de la provincia de Girona se clasifica como una costa erosiva, donde un 80,05% de la extensión de las playas está en retroceso, con una tasa de erosión media de -1,5 m/a. De todos los tramos costeros gerundenses, las mayores tasas de erosión se registran en los sectores donde se ubican las mayores bahías de Pals y Rosas (con una tasa de erosión media de unos 2,2 m/a), y al sector situado alrededor de la desembocadura del Tordera (con una tasa de

erosión media de 1 m/a). Sólo estas tres zonas ya representan aproximadamente el 70% de la costa de Girona.

En concreto, la zona de costa de la bahía de Pals-Estartit se encuentra dominada por un ambiente natural relativamente poco urbanizado. A modo de ejemplo un 43% de las playas presentan un sistema dunar.

Esta característica de espacio natural queda reflejada por la baja presencia de colectores pluviales. Sólo la playa Principal del Estartit presenta un puerto y en el 64% de las playas se observa una zona destinada al fondeo de embarcaciones. Más de la mitad de las playas (57%) presenta un paseo marítimo o de paso, y en una tercera parte de estos casos el paseo alcanza ambos extremos de la playa. El acceso a las playas es mayoritariamente por caminos (71,4%), con accesos adaptados para personas con discapacidad y todas las playas presentan una zona muy próxima para el aparcamiento de coches.

La playa tiene un uso totalmente turístico, con un grado de ocupación alto en un 79% de los casos. Esta actividad es compartida con la práctica deportiva, la pesca y el naturismo. La mitad de las playas no tiene ningún distintivo de calidad y la otra mitad ha obtenido los distintivos de bandera azul, Q o norma ISO 14011/EMAS. Todos los usos están regulados y el nivel de servicios es máximo en un 79% de los casos. Todas las playas tienen un servicio de limpieza y en la mayoría se puede llegar en transporte público.

El resultado de los análisis realizados muestra un problema significativo de pérdida de superficie de playa, especialmente en la Playa Gran de Pals y en la Playa de Els Griells como consecuencia del impacto de temporales, mientras que se registran problemas de acumulación en el extremo norte de la playa de l'Estartit y en las playas de Mas Pinell, Montgó, del Racó y de sa Riera.

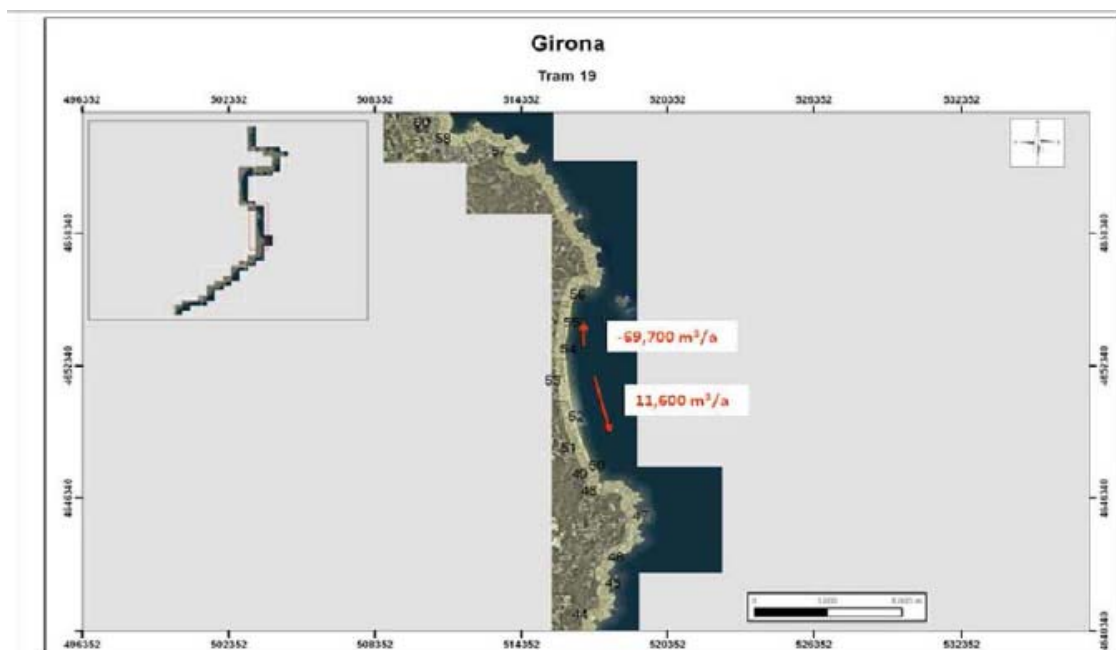


Figura 20 – Tasas de transporte longitudinal neto (en miles de m³/año) estimadas con un modelo de simulación informática (*Estado de la zona de costera en Catalunya, 2010*).

Esta distribución irregular de los sedimentos se comprueba en diferentes simulaciones informáticas que permiten modelar la cantidad de sedimentos y su transporte. Estos modelos, tal y como se muestra en la figura anterior, muestran el transporte de sedimentos hacia el norte, quedando atrapados en el pie de la estructura del puerto de l'Estartit, el cual tiene una influencia crucial en la movilización de la arena en la bahía.

2.4.3. Dinámica litoral en la zona de Griells

El equilibrio ambiental de la zona húmeda del Baix Empordà depende del aporte sedimentario de los ríos de la zona, pero especialmente del Ter, y del extenso cordón litoral que cierra la zona de albufera.

El río Ter y Daró representan un aporte continuo de sedimentos que alimenta el sistema costero de la bahía de l'Estartit - Pals. Al entrar los sedimentos transportados por el río al medio costero éstos son trabajados por la dinámica marina, transportándolos y depositándolos en la zona de playa.

Las dinámicas marinas que afectan a la morfología de la playa de Griells son función del clima marítimo (oleaje, nivel del mar, viento, sistema de corrientes, etc.), es decir, de los agentes que son capaces de movilizar el sedimento que llega a la costa transportado por los ríos. Los principales agentes dominantes en la zona son:

Agentes erosivos:

- **Condiciones medias del oleaje:** La propagación del oleaje se encuentra influenciada fundamentalmente por la batimetría, comenzando a interactuar el oleaje con los sedimentos en zonas de escasa profundidad.
- **Condiciones extremas de oleaje:** Los temporales de mayor intensidad proceden de la ENE y del E. Son los temporales de oleaje proveniente de levante, con las olas producidas por vientos originados en los Alpes septentrionales de Italia, frecuentemente muy fuertes y persistentes. Se dan con una frecuencia de 8 a 10 veces al año.
- **Régimen de mareas:** Corresponde a un mar micromareal y a la marea meteorológica (por efectos atmosféricos) que puede llegar a presentar una amplitud de onda en torno a 0,25 m. En general presentan efectos poco relevantes pero en combinación con un temporal de levante pueden presentar afecciones en la costa muy importantes.

Agentes de transporte:

- **Sistema de corrientes:** En el área de Pals-Estartit la corriente superficial general es hacia el norte, que es el resultado acumulativo de varias corrientes, siendo éste agente el principal responsable de la distribución de sedimentos en la zona
- **Vientos:** Los vientos tienen un importante efecto en la zona al generar olas y movilizar arena desarrollando las dunas características de estas playas.

2.5. Movimientos de la playa de Els Griells

2.5.1. Monitorización de la playa

A lo largo de los últimos años, la playa de Els Griells, ha sido monitorizada paralelamente por dos estudios morfodinámicos independientes.

El primero de ellos, llevado a cabo por ingeniero técnico agrícola especializado en topografía José Pascual y Massaguer, presenta un seguimiento topográfico de la posición de la línea de playa desde el año 1993.

Este estudio muestra una evolución de la playa diferenciada.

- Entre los años 1993 y 2003 la playa de Griells mostraba una dinámica estable (sin pérdidas ni ganancias de arena significativos).



Figura 21 – Playa de Griells a principios del siglo XXI.

- Entre 2003 y 2015 el comportamiento de la playa de Griells empieza a ser de carácter claramente erosivo con pérdidas de arena de más de 10 metros de media, tal y como muestra la figura siguiente.

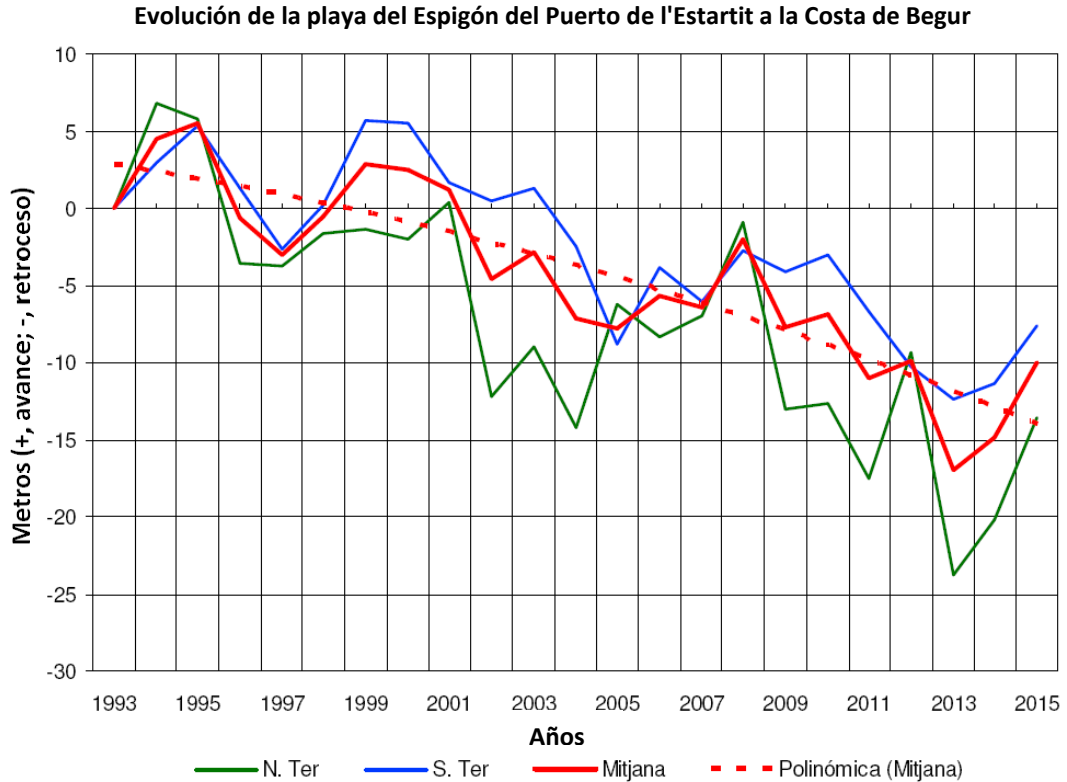


Figura 22 – Evolución de la playa, al norte y al sur de la desembocadura del Ter (en verde y azul respectivamente), en rojo, el valor promedio. En línea discontinua se muestra la tendencia inferida; mostrando una clara aceleración del proceso erosivo (*Pascual, 2015*).

El segundo estudio, realizado ya en esta segunda etapa regresiva, se llevó a cabo en el año 2010. En este estudio, realizado por el Laboratorio de Ingeniería Marítima de la Universidad Politécnica de Cataluña (en el trabajo Estado de la Zona Costera en Cataluña) se caracterizó la playa y se cuantificó el ritmo erosivo al que estaba sometida la playa tal y como se muestra en el siguiente cuadro:

Descripción General		Morfodinámica		Hidrodinámica	
Longitud	1.522,25 m	Estado Evolutivo	Erosiva	Altura media oleaje	0,61 m
Ancho	Media: 68,3 m		-1,47 m/a	Altura TR 10 años	6,4 m
	Màx: 89,0 m		-117.052,5 m ³ /a	Dirección más frecuente	0 N (27%)
	Mín: 22,1 m				

Valga decir que, cuando se hicieron estos estudios, se contaba con una playa con una anchura media de más de 50 metros (con un mínimo de 22 m) tal y como se muestra en la siguiente imagen de 2009.



Figura 23 –Playa de Griells en el verano del 2009.

Por lo que la significación de la afección global de este fenómeno erosivo era relativa y difícilmente apreciado por la población. Actualmente, 5 años después, casi no hay playa, representando una auténtica pérdida para la población y un riesgo para las personas.

2.5.2. Causas del retroceso de la playa

La forma de una playa la configuran los fenómenos naturales como el oleaje, los temporales de mar, los vientos y las corrientes marinas. No obstante, tal y como se ha indicado anteriormente, parece que la dinámica natural de estos fenómenos ha cambiado en los últimos años.

La pérdida de sedimento continuo que está sufriendo la playa de Els Griells responde a numerosas causas, algunas asociadas a fenómenos climáticos, pero también por causas asociadas a la gestión y planificación del territorio por parte de las administraciones locales, autonómicas y estatales.

Sin estudios concretos resulta difícil cuantificar el peso relativo de las principales causas que están afectando la dinámica litoral de Griells, no obstante, en el marco temporal en que nos movemos, hay 5 causas que son claramente identificables en la zona.

- **Reducción de los aportes sedimentarios:** Geológicamente, tanto el golfo de Roses, como la zona del Baix Ter, a lo largo de los siglos se han ido rellenando con los sedimentos aportados por los ríos. Este hecho ha cambiado debido a la construcción de diferentes presas y embalses.

Los embalses tienen un efecto negativo doble, (1) hacen que los sedimentos que antes llegaban a la playa, ahora queden retenidos en estas construcciones y (2) reducen el riesgo de riadas (al reducir las cuencas de recepción) de los ríos de la zona, perdiendo así éstos buena parte de su capacidad de transporte de sedimento hacia las playas.

- **Aumento del nivel del mar:** Se trata de un fenómeno de escala regional y de escala global que, desde que tenemos datos en el Estartit, se puede cifrar en un ascenso de unos 3 a 4 mm. por año respondiendo a causas de tipo:
 - **Climático:** Causas globales relacionadas con el cambio climático, como por ejemplo el aumento de la temperatura media y la reducción de los hielos en los polos terrestres.
 - **Antrópicas:** Causas a nivel regional en todo el Mediterráneo y relacionadas con la acumulación de contaminantes y vertidos en el fondo del mar que están modificando el nivel de base y haciendo subir su nivel medio de base.
- **Subsidencia natural de la cuenca sedimentaria:** Se trata de una causa geológica regional que afecta a toda la llanura ampurdanesa con valores de descenso de la tierra que pueden llegar a más de 1 mm. por año.
- **Modificaciones de la línea de costa:** Ampliaciones del Puerto Deportivo, la construcción de nuevas escolleras, la utilización de la playa como zona aparcamiento de vehículos,... son fenómenos que modifican la incidencia de las corrientes marinas y del transporte de sedimento que modelan la playa.

A modo de ejemplo, el Dique de Garbí del puerto constituye una importante barrera al movimiento de arena en la playa, provocando una acumulación continua de arena en su pie que se debe ir retirando periódicamente.

- **Limpieza mecanizada de la playa:** Otra causa que con anterioridad no había existido, es el hecho de limpiar y remover la arena con maquinaria pesada.

En el Estartit, hasta el año 2003, la playa se limpiaba manualmente; a partir de entonces, sin embargo, se empezó a limpiar mecánicamente con maquinaria arrastrada por un tractor. Desde que se pasa la maquinaria, esta mezcla la arena, le hace perder compacidad y los granos de arena se reorientan. Los granitos más finos y menos pesados de niveles inferiores se desplazan hacia la superficie, por lo que facilita a los agentes externos, especialmente el viento para que se los lleve. Los granos más pesados, por contra, se quedan más bajos pero sin el soporte estructural que le daban la partículas más finas, siendo entonces fácilmente movilizables en la zona más cercana al mar, por efecto de las olas.

La acción combinada de estas cinco causas está claramente afectando, y negativamente, a la integridad de la playa de Els Griells de l'Estartit. Resulta claro que en el caso de l'Estartit la acción antrópica en los entornos de la playa está complementando a los efectos negativos globales asociados al cambio climático y acelerando sus efectos negativos.

Todos estos datos hacen pensar que la situación actual es claramente más grave, y con una significación económica más elevada, que los datos recopilados en el informe RISKCAT del año 2.008. Creándose así la necesidad de que se realice una intervención humana en el sentido contrario; es decir, en el de proteger la arena de la zona.

3. HISTÓRICO DE ACTUACIONES EN LA PLAYA DE ELS GRIELLS

La playa de Els Griells de l'Estartit es una zona con un alto valor natural (forma parte del PEIN y de un Parque Natural), un importante recurso turístico y una protección natural de los edificios y de los bienes inmuebles asociados a la urbanización de Els Griells.

Hace ya más de 7 años desde que el CADS (Consejo Asesor para el Desarrollo Sostenible) de la Generalidad de Cataluña emitió el informe RISKCAT, Los Riesgos Naturales en Cataluña donde se dejaba constancia del riesgo litoral en la zona de Griells y de una periodicidad de dos años de episodios erosivos severos.

Desde entonces se han producido varios de estos episodios severos de erosión litoral que han hecho que buena parte de la playa desaparezca. Estos episodios, han sido tan marcados que han obligado a realizar intervenciones de urgencia para proteger la integridad de la fachada litoral y salvar las temporadas turística de la zona.

3.1. Periodo 2008 - 2010

El episodio erosivo más importante de este periodo fue el del día de San Esteban de 2008, seguido por el efecto de los temporales de levante de 2009 y 2010. En este intervalo de dos años desaparecieron los 50 metros de anchura de playa que tenía en promedio este sector de costa. Esta situación provocó que el oleaje afectara a la protección de escollera existente, socavando el subsuelo del paseo y provocando grietas en el pavimento, tal como se muestra en las siguientes imágenes.



Figura 24 – Aspecto del paseo a finales de septiembre de 2010 donde se abrieron cicatrices indicadoras de inestabilidades siendo inspeccionadas por técnicos de costas. Se observa la reducción de la anchura de la playa respecto a las imágenes de años anteriores (Web Ayuntamiento Torroella de Montgrí).

La erosión de la playa siguió avanzando hasta desestabilizar por completo la escollera de protección, arruinando el paseo en todo el frente de la urbanización y llegando el mar a amenazar a los edificios de la urbanización existentes en el trasdós de la escollera.



Figura 25 – Aspecto del paseo a principios de diciembre de 2010, con la escollera ya desestabilizada por socavación del oleaje al desaparecer la playa.

El 14 de Abril de 2011 el Consejo de Ministros del estado se responsabilizó de ejecutar las obras de emergencia para la reparación de los daños causados en la costa de Girona como consecuencia del temporal registrado en esta provincia durante los días 10, 11 y 12 de octubre de 2010. El importe total destinado a estas obras ascendió a 396.000 euros.

El mismo Consejo de Ministros valoraba que todos los desperfectos ocasionados por el temporal suponían un riesgo para las personas usuarias de estos bienes de dominio público y consideraba de máxima urgencia ejecutar el trasvase de unos 35.000 metros cúbicos de arena por medios terrestres, desde el puerto de l'Estartit hasta el paseo marítimo de Els Griells.

Asimismo, establecía que habría que desarrollar obras para el retroceso, reparación y protección mediante talud de escollera de un tramo de unos 250 metros en el paseo marítimo de Els Griells.

Esta reparación se concretó en un documento con una breve descripción, presupuesto y planos de actuación, iniciándose las obras el día 21 de abril 2011 las cuales se prolongaron durante 2 meses.



Figura 26 – Vista hacia el norte de un tramo del paseo marítimo de Els Griells recientemente reparado y con la playa regenerada artificialmente. Mes de junio del 2011. El Punt Avui 17/06/2011.

3.2. Período 2011-2013

A principios de 2013 se repitió un episodio de temporal de levante severo que volvió a afectar significativamente a la zona de Els Griells, confirmando el periodo de retorno de dos años para estos fenómenos, ya indicado en el informe del RISKCAT del CADS.

De nuevo, el oleaje se llevó buena parte de la arena de la playa y afectó la protección de escollera existente. Sin embargo, esta vez, la afección se dio un centenar de metros más al norte de la zona afectada en 2010, seguramente debido a que esta zona ya se debilitó en los episodios de 2010 y no se reforzó en las reparaciones hechas en 2011.

Los daños inducidos por el temporal del año 2013 llegaron a llevarse toda la playa, parte de la escollera y un tramo del Paseo Marítimo de l'Estartit al principio de Griells (ya por detrás del límite de la ZMT).



Figura 27 – Vista hacia el sur de los daños en el paseo de Els Griells una vez pasado el temporal de levante del mes de Marzo de 2013. No hay protección de playa, la escollera de protección se ha hundido parcialmente y el paseo marítimo ha colapsado quedando expuestos en la dinámica litoral parte de los bienes urbanos de la zona.

La destrucción del paseo dejó expuesta parte de la urbanización frente a una situación de riesgo ante el oleaje, de una manera aún mucho más grave que en el año 2010. De nuevo, y en este sentido, las administraciones competentes en la zona decidieron hacer actuaciones de urgencia para la protección de la zona.

Se desplazaron técnicos de costas a evaluar los daños, se iniciaron obras para restituir una escollera de protección y se habilitó de nuevo el paseo marítimo en esta zona, pero con una disminución de su ancho de un 50 %.



Figura 28 – Obras de restitución de la escollera de protección mediante piedras de gran tonelaje, Abril 2013. Obsérvese la falta de cimentación de la escollera, y el uso de hechadizos para completar el trasdós del muro.



Figura 29 – Aspecto final de las actuaciones de reconstrucción de la escollera y del paseo realizadas en abril de 2013.

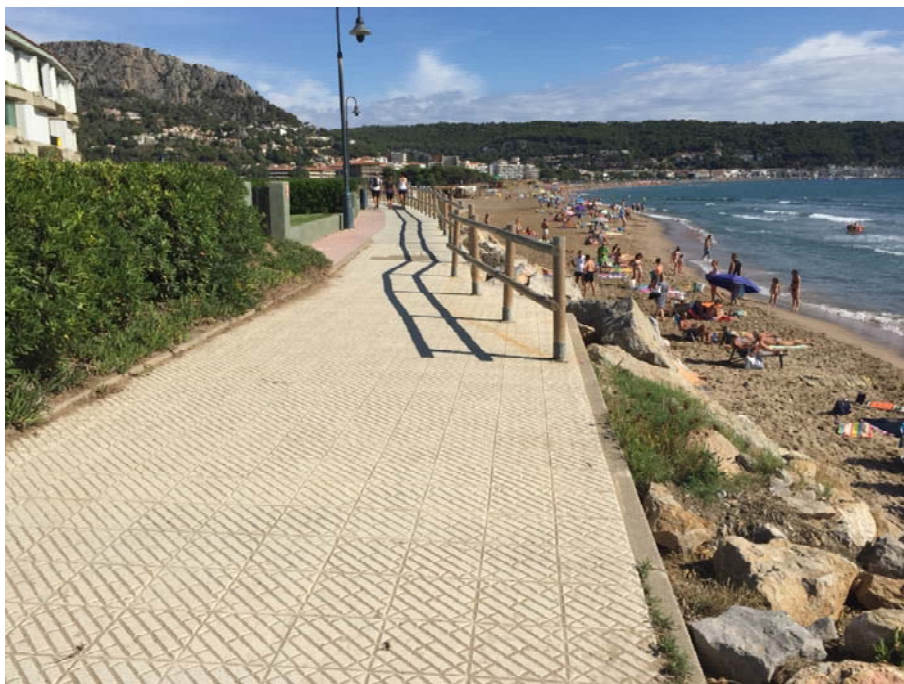


Figura 30 – Aspecto final de las actuaciones de reconstrucción de la escollera y del paseo realizadas en abril de 2013. Se puede observar el retranqueo del paseo marítimo en la zona desestabilizada quedando el antiguo DMT en el pie de la escollera, cuando antes se situaba en coronación.

3.3. Estado actual

Aunque se ha restituido parcialmente el muro de escollera en las dos ocasiones en que el frente marítimo ha estado más expuesto y que se ha ido añadiendo arena anualmente en la playa, ninguna de las actuaciones realizadas ha durado más de dos años ni han llevado asociado un proyecto de regeneración o reconstrucción de la fachada litoral de la zona.

Como se puede observar en las figuras anteriores, ninguna de las escolleras reconstruidas se han realizado según las guías de buenas prácticas existentes (especialmente la Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera del propio Ministerio de Fomento). Los muros se realizaron sin estructurarles una cimentación, con bloques poco recomendables para escolleras (redondeados y muy heterogéneos), utilizando escombros para rellenar espacios, sin realizar ningún control de calidad de ejecución, etc.

Al no presentar una cimentación rígida y situándose la base del muro a la misma cota del oleaje, el propio efecto del oleaje provoca una socavación de la escollera. Al desaparecer parte de la arena del pie de la escollera, los bloques de roca del muro pierden sustentación y basculan, desestabilizando toda la estructura de una forma global.

La máxima muestra de falta de planificación de las actuaciones de urgencia realizadas ocurrió este mes de junio del 2015. En esas fechas se realizó una importante aportación de arena para intentar recuperar parte de la playa. Pero la reposición de arena se realizó durante un pequeño temporal de mar, resultando en que la reposición de más de 35.000 m³ de arena duró escasamente 24 horas, ya que el mar se las llevó.

Este mes de Julio, a escasos 2 años de las últimas intervenciones en los muros de escollera y justo un mes reponerse hay arena, el frente de Els Griells se encuentra de nuevo en una situación de riesgo inminente:

- **Playa parcialmente desaparecida:**



Figura 31 – La pérdida de buena parte de la cobertura de arena ha hecho que la playa de Els Griells vaya perdiendo todos los servicios construidos para poder optar al distintivo de calidad de la bandera azul (puestos de socorrista, baños, duchas, accesibilidad a PMRs,).

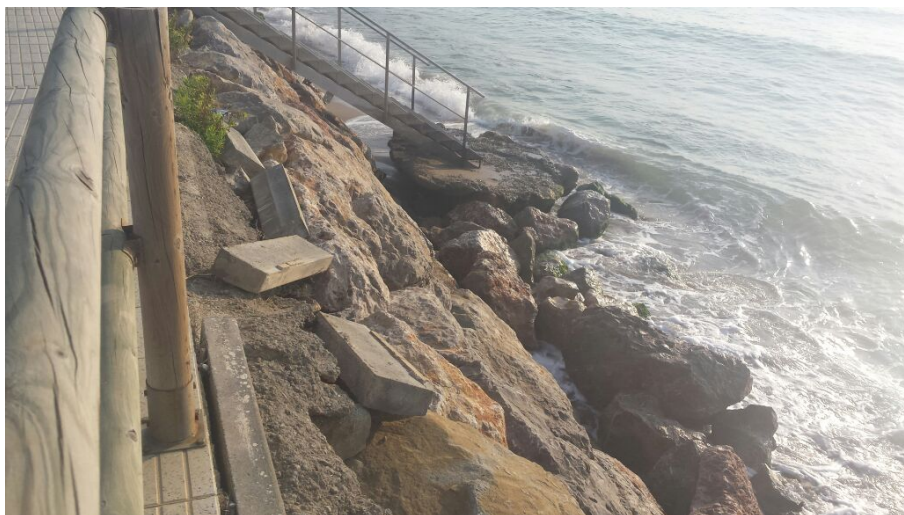


Figura 32 – Aspecto de las escaleras de acceso a la playa. Obsérvese el bloque de hormigón de cimentación de las escaleras, es el que ocupa el lugar de la zanja que se está abriendo en la figura 26, en la reparación del año 2011.



Figura 33 – Bloques de la escollera de sostenimiento del paseo marítimo totalmente basculados y desencajados por efecto de la incidencia directa de la olas y suponiendo un riesgo para los usuarios de la playa. Obsérvese que es la escollera reconstruida en el año 2013 que se muestra las figuras 28 y 29.

- Paseo marítimo y edificios mostrando las primeras evidencias de inestabilidades:



Figura 34 – Rotura de los paramentos del paseo y primeras grietas en el pavimento. Nótese el desplazamiento entre el techo de la escollera y el hormigón de limpieza que se situó en coronación. Escollera construida el 2011.



Figura 35 – Rotura vertical del paramento de una rampa del paseo (actualmente único acceso de PMRs) causado por el basculamiento de la escollera que sustenta el paseo marítimo.



Figura 36 – Grietas en tabiques en el edificio Artit causadas por el basculamiento de la escollera que sustenta el paseo marítimo. Categoría de daños 1 a 2 (Muy leves a Leves) según *Burland 1995*.



Figura 37 – Apertura de las juntas de dilatación entre bloques del edificio Voramar causada por el basculamiento de la escollera que sustenta el paseo marítimo. Categoría de daños 1 a 2 (Muy leves a Leves) según *Burland 1995*.

- **Movimiento vecinal:**

Se ha organizado un movimiento vecinal en el municipio para reclamar soluciones definitivas para la regeneración del frente litoral de Els Griells. Este movimiento ha recogido más de 3.000 firmas de diferentes usuarios de la playa secundando la petición.



Figura 38 – Portada del periódico El Punt Avui el día 17 de agosto de 2.015 de la manifestación popular acaecida para reclamar mejoras soluciones urgentes para la urbanización de Els Griells de l'Estartit.



Figura 39 – Detalle de la protesta, de unas trescientas personas (entre vecinos y veraneantes), acompañadas de pancartas de color amarillo en más de un idioma. Los manifestantes quieren que el Estado ponga fin a la regresión de la playa porque ven peligrar, incluso, sus pisos, muy cerca de la zona de baño y del paseo.

4. OBRAS DE DEFENSA COSTERA

Para el diseño de una obra de defensa costera debe destacarse el factor práctico conjugado con el aspecto estético, permitiendo así la integración de dicha obra con el medio natural donde se pretende construir. De igual manera, se deben analizar detalladamente los efectos que este tipo de obras generan sobre el medio ambiente.

Debe tenerse en cuenta, a la hora de señalar los objetivos generales que se persiguen con el diseño de estructuras de defensa para la estabilización de una playa, lo siguiente (CERC, 1992):

- La sola estabilización de una playa mediante estructuras de defensa no proporciona la arena suficiente para el mantenimiento de la anchura de la playa; éstas simplemente redistribuyen y mantienen la arena existente no capturando más.
- Una playa y/o una duna regenerada es a menudo vulnerable en corto espacio de tiempo debido a la intensidad de los temporales. Las defensas costeras construidas en conjunción con la regeneración de una playa y/o duna pueden aumentar a menudo la durabilidad de la playa. Si el ahorro que se produce por la disminución de pérdidas de arena, que deben reponerse realimentando cada cierto tiempo, es mayor que el coste de las estructuras su construcción podría estar plenamente justificada.

4.1. Tipologías de obras costeras

A continuación se clasifican las diversas obras de defensa de costa según su tipología:

- Defensas duras: Las obras de defensa duras llevan aparejadas una estructura resistente, su clasificación depende de las características de la obra que se tome para ordenarlo. La clasificación más corriente suele ser en función de la situación relativa en que se encuentra respecto de la línea de costa, pudiendo ser: defensas longitudinales, espigones o diques perpendiculares y diques exentos.
- Obras de defensa blandas: Dentro de las obras de defensa blandas suele englobarse la alimentación artificial, las defensas dunares y los trasvases de arena u otros materiales sedimentarios.

Para cada tipo de problemática costera existen numerosas tipologías de soluciones, incluso combinaciones entre ellas. Se detalla en los capítulos siguientes las principales características de las soluciones más extendidas.

4.1.1. Muros rompeolas

Son estructuras consideradas como de defensa dura, capaces de aguantar el oleaje y situadas justo en la línea de costa, marcando claramente el límite entre tierra y el mar. Los principales objetivos de estas estructuras son los de proteger la costa de la acción del oleaje y de las corrientes, así como asegurar una contención del terreno existente en su trasdós.

Existen tres tipologías distintas de muros de rompeolas según su forma:

- Los **muros rompeolas** propiamente dichos (o malecones): Son estructuras rígidas de hormigón verticalizadas y diseñadas para aguantar el impacto directo del oleaje. Si existe cierta profundidad de lámina de agua en la zona, requieren una cimentación sumergida y pueden utilizarse también para el atraque de embarcaciones.
Si la profundidad del mar es escasa, suelen requerir una protección de escollera en su base para reducir el impacto directo del oleaje en la cimentación del muro (similar a la reparación que se realizó en el Paseo Marítimo de l'Escala).

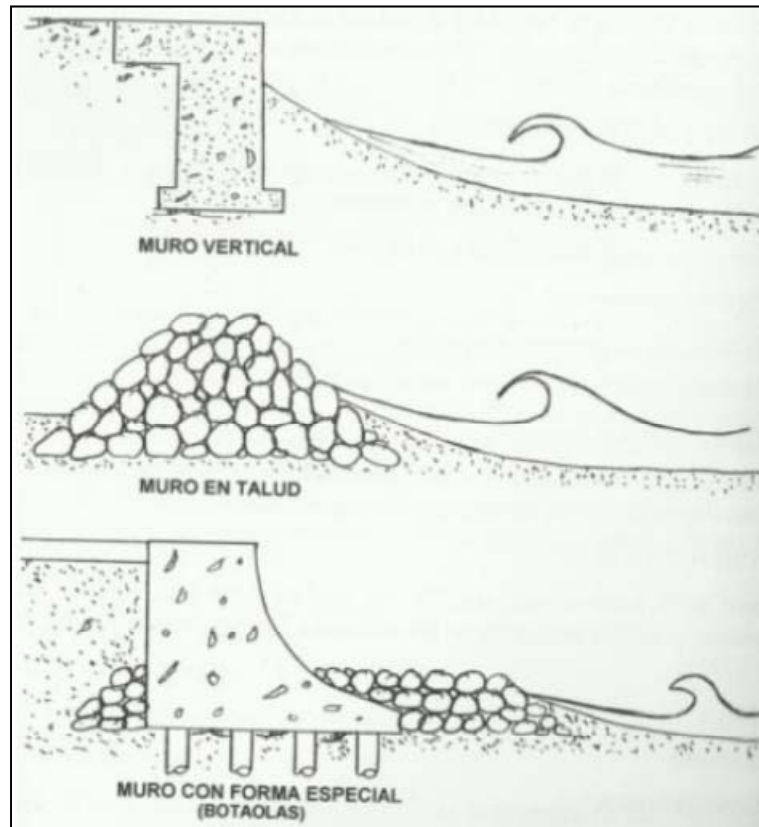


Figura 40 – Tipos de muros rompeolas de defensa costera (Modificado del CERC 1984).

- Los **muros mamparo** (o bulkheads): Son estructuras similares a los rompeolas pero ejecutados con tablestacas, pilotes metálicos o paneles de madera ya que no están sometidos a un impacto de oleaje muy exigente.

Al igual que los rompeolas, si existe cierta profundidad en la zona requieren una cimentación sumergida y pueden utilizarse también para el atraque de embarcaciones. Si la profundidad del mar es escasa, suelen requerir una protección de escollera en su base para reducir el impacto directo del oleaje en la cimentación del muro.

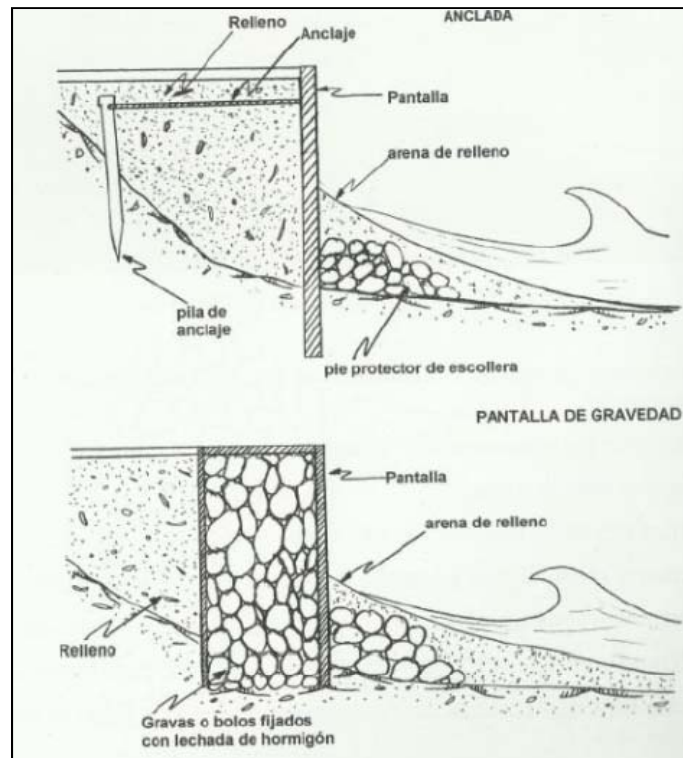


Figura 41 – Tipos de muros mamparo para la defensa costera (Modificado del CERC 1984).

- Los **encachados de piedra** (o revetments): Son recubrimientos superficiales constituidos por materiales que puedan disipar la energía del oleaje. Los más usuales son con material de escollera, pero también se usan con sacos de arena o paneles de madera.

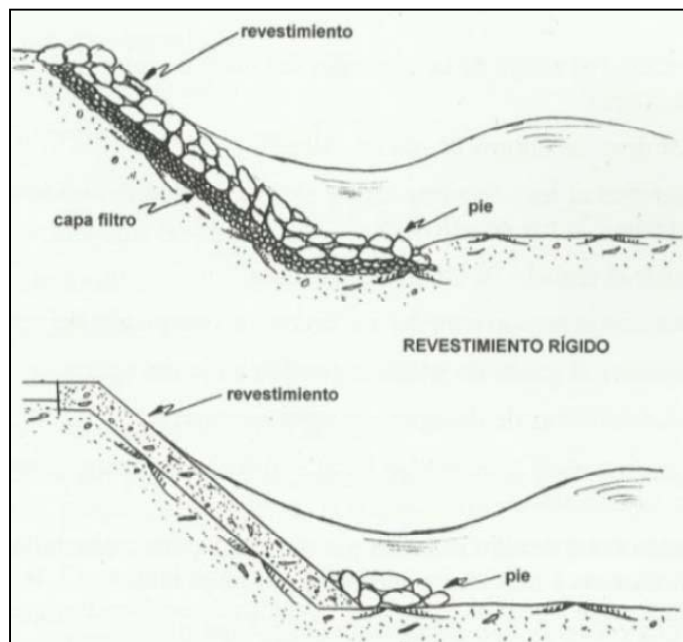


Figura 42 – Tipos de revestimientos superficiales para la defensa costera (Modificado del CERC 1984).



Figura 43 – Aspecto de un muro rompeolas en Galveston (EEUU) con una protección de escollera a su pie.



Figura 44 – Aspecto de un muro mamparo con tablestacas metálicas y acondicionado como paseo marítimo en la costa norte de Ohio (Cleveland, EEUU).



Figura 45 – Aspecto de una protección superficial mediante bloques de escollera en la costa norte de Kent (Reino Unido).

Este tipo de estructuras ofrecen una protección directa y eficiente del terreno situado detrás de ellas. No obstante, cuando se construyen en zonas de costa en recesión, estas estructuras no paran la dinámica erosiva que las motiva, sino que lo más probable es que esta continúe más allá de los márgenes del nuevo muro (incluso puede que en zonas anteriormente no afectadas).

4.1.2. Espigones costeros

Un espigón es una estructura de protección costera dura construida desde la orilla y que interrumpe el flujo de agua, limitando el movimiento de sedimentos. Por lo general se construyen de madera, de hormigón o de bloques de escollera.

Su objetivo principal es interrumpir parcialmente el transporte litoral de sedimentos reteniendo parte de la arena movilizada por las corrientes.

Según su forma o disposición respecto la costa, se distingue entre:

- Los **espigones perpendiculares**, como su nombre indica, se disponen con una alineación perpendicular a la costa. El espigón así dispuesto actúa como un obstáculo físico, deteniendo y acumulando sedimentos en el lado donde incide la corriente, pero creando cierta erosión en su trasdós. Es por ello que suelen diseñarse con un cambio en su orientación longitudinalmente o en grupos de varios espigones para contrarrestar el efecto negativo en su parte trasera.
- Los **espigones o diques exentos** son obras marítimas generalmente paralelas a la línea de orilla y no conectadas a ésta, cuyo objetivo principal es proteger la zona de su trasdós de la incidencia directa del oleaje reduciendo su energía.

Esta variación en las características hidrodinámicas en el trasdós hace que la obra actúe en la costa a modo de “obstáculo dinámico” ya que la interacción y/o alteración de las tasas de transporte de sedimentos que generan se deben a la modificación del flujo en el trasdós. Este tipo de espigones no llega a alterar el transporte de sedimentos regional de una forma tan brusca como hacen los espigones perpendiculares.

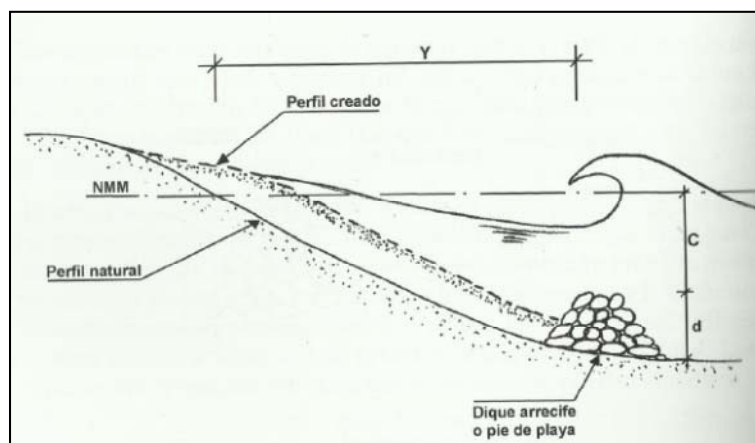


Figura 46 – Esquema de un dique exento sumergido. (Modificado del CERC 1984).

Existen tres tipologías de diques exentos: los emergidos, y los sumergidos (figura anterior) y los de baja cota de coronación, siendo estos últimos muy adecuados, ya que además de reducir el impacto visual de la obra, consigue una mayor renovación de las aguas y una reducción en los costes de construcción, ya que necesitan menor cantidad de material al coronar a una cota menor y con una sollicitación del oleaje menor.

Los diques sumergidos son diseñados como un filtro de olas, las alturas de ola pequeñas (sin incidencia erosiva) consiguen atravesar el dique sin disminuir demasiado su energía, mientras que las olas con mayor altura rompen en la estructura perdiendo gran parte de su fuerza (y de su capacidad de erosión). Se ha demostrado que la erosión o acreción de sedimento está fuertemente ligada a la altura de las olas, así por ejemplo, las olas de tormenta, que tienen una mayor altura, tienden a erosionar, mientras que las olas de baja energía, que son las de menor altura, tienden a acumular sedimento.

En la práctica los diques o espigones más usualmente empleados son aquellos construidos con escollera o bloques artificiales, con núcleo o sin él, con una sección en talud por ambos paramentos, teniendo cotas de coronación de rebasables a cota fija. Por su forma en planta suelen ser rectos, en L o en T. Son los más empleados debido a su simpleza estructural, su bajo coste, su difícil destrucción y fácil reparación de daños si los necesitasen, especialmente en el morro de la obra que es la zona que está más expuesta a la acción directa del oleaje.

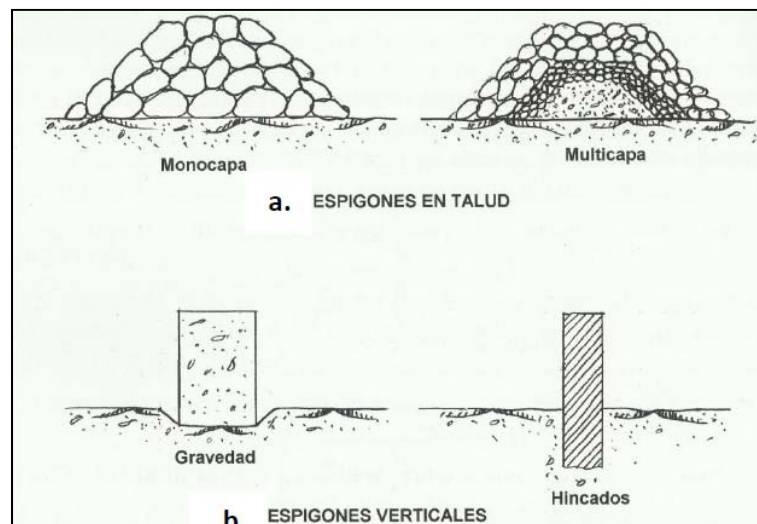


Figura 47 – Tipos de secciones transversales de espigones, a. en talud; b; verticales (Modificado del CERC 1984).

Algunas de las ventajas de este tipo de estructuras son, en primer lugar y debido a su propio diseño, la capacidad de controlar de una forma efectiva la erosión, reteniendo sedimento. En segundo lugar, reducir las corrientes de retorno a lo largo de la zona de abrigo y por tanto evitar parte del transporte offshore. Y en tercer lugar, la reducción de altura de ola y peralte en la zona protegida.

Este tipo de obra también tiene algunos inconvenientes tales como el elevado precio relativo de construcción, la dificultad del mantenimiento (en el caso de los diques exentos), la posibilidad de accidentes de embarcaciones, surfistas... Además, pueden suponer una barrera total para el transporte de sedimento si su diseño no es el adecuado, generar grandes velocidades de la corriente entre los espaciados en series de diques peligrosas para el baño, etc...



Figura 48 – Aspecto de un espigón perpendicular a la costa, en la playa de Canet. Nótese el cambio de orientación del morro del espigón para disminuir la erosión en el trasdós del espigón.



Figura 49 – Aspecto de una serie de espigones perpendiculares a la costa en la playa de Barcelona.



Figura 50 – Aspecto de una serie de espigones perpendiculares a la costa, en la playa de Sitges.



Figura 51 – Aspecto de una serie de espigones exentos, paralelos a la costa, en la playa de Calonge.



Figura 52 – Aspecto de una serie de espigones exentos, paralelos a la costa en Sea Palling (Norfolk, Reino Unido).



Figura 53 – Aspecto de una serie de espigones exentos, paralelos a la costa y sumergidos, en Cijin (Taiwan).

4.1.3. Reposición de arena

Las playas no son una estructura propiamente dicha, pero suponen uno de los medios más efectivos para disipar la energía del oleaje y asegurar la protección de una zona costera si se asegura su mantenimiento.

Reponer arena a una playa en retroceso puede considerarse por si sola como una medida de protección y regeneración costera que aseguraría resolver las dos problemáticas que se juntan en la zona de Els Griells. No obstante, es importante recalcar que reponer arena no solucionaría el problema erosivo, sino que éste continuaría por lo que la reposición de arena debería de ser periódica.

Ésta periodicidad hace que la solución sea poco viable si se ha de mantener varios años ya que tiene un coste asociado importante y requiere una fuente constante de arena capaz de asumir la demanda necesaria para la regeneración de la playa. Respecto a esto, cabe tener en cuenta que el costo de m^3 de arena es relativamente elevado para pequeños movimientos de tierra mediante camiones, pero que para grandes movimientos de arena, si están bien planificados, puede ser muy rentable utilizar sistemas de dragado marino que permitan la obtención de grandes volúmenes de arena a costes unitarios más económicos.



Figura 54 – Reposición de arena en las playas del Maresme mediante el dragado del fondo marino con barco draga.



Figura 55 – Construcción de una playa artificial en Santa Cruz de la Palma mediante el dragado de arena del fondo marino con barco draga.

Una de las soluciones más usuales resulta en combinar la reposición de arena con medidas paralelas para intentar incrementar la capacidad de fijación de la arena, como por ejemplo:

- Combinar la reposición de arena con otras soluciones estructurales tipo espigones.
- Favorecer la creación de dunas (con estructuras de retención de arena mediante cañas o geosintéticos).
- Favorecer la colonización de plantas de ambientes dunares.
- Limpieza manual de la arena.
- Realizar aportes de arenas de mayor tamaño de grano y más difícilmente erosionados.

4.2. Impactos que generan las obras de defensa de costa sobre el medio ambiente

Los impactos medioambientales que pueden producir las obras de defensa costeras se pueden analizar clasificándolos en tres grupos: obras longitudinales, diques y espigones (transversales y exentos) y alimentación artificial (*Enríquez y Berenguer, 1986*). En el análisis de cada uno de los grupos nombrados anteriormente, se deben considerar 4 tipos de impactos básicos sobre el medio:

4.2.1. Estabilidad litoral

En la estabilidad litoral deben estudiarse todos los aspectos que hacen que un tramo de costa se encuentre estable, siendo el transporte sólido litoral el de mayor importancia. El estudio de la evolución del transporte sólido litoral debe extenderse a toda una unidad fisiográfica donde se localiza la actuación en la costa, tanto durante la fase de obra como tras su ejecución.

- **Muros rompeolas:** Las obras longitudinales ligadas a la orilla del mar interfieren moderadamente el transporte longitudinal; pero pueden interrumpir transversalmente el ciclo del perfil de bonanza y temporal, ya que no permiten que el material de la playa se incorpore a la dinámica propia del perfil de la playa.

Al efecto transversal, hay que unir las reflexiones del oleaje que se generan y provocan un aumento en el nivel de agitación delante de la estructura. Los dos efectos transversales indicados pueden ser negativos para la propia estructura; ya que aumentan el riesgo de desplazamiento de su pie y, además, provocan erosiones paralelas en su entorno. En el supuesto en que la obra se sitúe a una distancia suficiente de la línea de orilla, sin alcanzar el mar, los efectos transversales indicados desaparecerían en su mayoría, si bien, posiblemente en este supuesto también desaparecería la razón que motivaría la construcción de dicha obra.

- **Diques y espigones:** Los diques y espigones transversales tienen comportamientos distintos respecto a la dinámica litoral dependiendo de la longitud de éstos, que hacen que sean o no barreras totales al paso de sedimentos. A su vez, el impacto de análisis medioambiental en la estabilidad litoral de este tipo de obras debe estar condicionado a la existencia o no de transporte sólido litoral.

En el supuesto de existencia de un transporte longitudinal de cierta importancia, una obra transversal que interrumpiera totalmente el paso de sedimentos haría que la unidad fisiográfica se compartimentara, reduciendo la influencia sedimentaria a barlovento de la obra, provocando a su vez, en la subunidad fisiográfica a sotavento, una erosión importante que podría llegar a ser bastante significativa. Este efecto pernicioso para toda la costa situada a sotamar, se podría ver en el futuro subsanado si la acumulación de material sedimentario fuera tal que permitiese rebasar la obra del espigón.

Cuando el transporte longitudinal es prácticamente nulo, el efecto de los espigones se reduce hasta ser su influencia prácticamente insignificante. Si bien en el mismo grado se reduciría la eficacia de la misma obra que posiblemente no tenga demasiado sentido su construcción.

Los diques exentos tienen un comportamiento totalmente diferente según a la distancia que se sitúen de la costa. Aquellos que se sitúan a una distancia tal que exteriormente el transporte longitudinal sea prácticamente nulo, actúan como sumideros de materiales, absorbiendo tanto a sotamar como a barlovento la mayoría del material transportado, provocando la generación de un hemitómbolo o de un tómbolo dependiendo de la distancia relativa de la obra. Una vez formado el tómbolo o hemitómbolo, el comportamiento frente a la dinámica litoral es similar al indicado para los espigones largos. Si la obra se sitúa a una distancia que permita exteriormente el paso de sedimento, la obra actuará de sumidero de material, formando finalmente un tómbolo, la diferencia se enmarca en torno a su relleno, que sería rebasable.

El poder de absorción de materiales de los diques exentos puede ser tan significativo que el efecto erosivo se nota a pocos metros de la obra, pudiendo ser tanto aguas arriba como aguas abajo de la misma.

- **Regeneración artificial:** La alimentación artificial permite la existencia de una playa en el borde costero, significando el mejor medio de protección de la trasplaya frente a la acción marina. Para el estudio de impacto ambiental en la estabilidad litoral deben estudiarse dos aspectos: la compatibilidad de la arena natural y la que se pretende aportar; así como la evolución previsible de la propia actuación (su vida previsible y la frecuencia de aportes).

Hay que tener presente las posibles diferencias y comportamientos diferentes entre la arena natural y la que se pretende aportar; la distribución granulométrica óptima y compactible; el grado y tiempo de reclasificación del grano, tras la aportación; y finalmente la estimación de pérdida de material. En cuanto a la evolución previsible de la propia actuación, hay también que tener presente que una alimentación artificial no garantiza la solución al problema que ocasionó la pérdida de material de buen principio.

4.2.2. Ecología

El estudio de impacto ambiental ecológico de una actuación costera debe dirigirse a la actividad biológica y a la calidad del medio, agua y materiales, de su entorno, sin necesidad de extenderlo a toda la unidad fisiográfica donde se encuentra inmerso.

- **Muros rompeolas:** Este tipo de obras generalmente tienen poco impacto sobre la actividad biológica de la zona. Se puede señalar que las estructuras flexibles tales como de escollera, bloques, entre otras; constituyen un nuevo hábitat para un gran número de especies. La segunda de las alteraciones que este tipo de obras produce viene derivada de la agitación que provocan frente a ellas, pudiendo alterar el hábitat de ciertas especies y modificar la calidad de las aguas por el aumento de la turbidez.
- **Diques y espigones:** El impacto negativo sobre el ecosistema de los espigones y diques se centra en la ocupación de parte del lecho marino por la estructura y el relleno del material de los fondos. Del otro lado, estas obras actúan positivamente al actuar como arrecifes artificiales, alcanzando un grado de colonización grande.
- **Regeneración artificial:** Tras la alimentación artificial de una playa se producen 3 fenómenos que condicionan el ecosistema:
 - La capa superficial del fondo marino queda cubierta por un manto de arena de espesor variable.
 - El perfil transversal de la playa se modifica.
 - La agitación sobre el nuevo medio aumenta la turbidez del agua.

Entre las alteraciones biológicas más importantes pueden resaltarse (*Enríquez-Berenguer, 1986*):

- Alteración en la puesta e incubación de los huevos.
- Obstrucción en las branquias por presencia de sedimentos finos en suspensión.
- Rotura de la red alimentaria.

En este sentido, para este tipo de actuación costera, deben limitarse los materiales con excesivos finos, materiales pesados y materiales orgánicos.

4.2.3. Paisaje

En este impacto ambiental debe tenerse en cuenta los ángulos de visión, la integración con el entorno, la accesibilidad a la obra y la imagen que esta genera al espectador.

- **Muros rompeolas:** Este tipo de obras costeras tienen impactos negativos en este ámbito debido especialmente al cambio artificial que supone la defensa del plano natural, la monotonía de largas obras lineales, el efecto barrera, la aridez, la ausencia de vegetación, etc.
- **Diques y Espigones:** Los impactos estéticos ambientales negativos se centran generalmente en:
 - Compartimentación de un tramo litoral con difícil acceso entre ellos.
 - Alteración lateral o frontal del campo de visión marino.
 - Aridez.
 - Suciedad de los laterales de las celdas que forman la obra.
 - Aumento de zonas de difícil limpieza o auto-limpieza con acumulación de basuras.
 - Disminución de las corrientes marinas que facilitan la limpieza de las aguas, dando lugar a aguas de menor calidad y polucionadas.
- **Regeneración artificial:** La alimentación artificial con arena de un tramo determinado de costa suele suponer la aproximación mayor de una obra a la propia naturaleza costera, lo cual indica que el impacto estético ambiental suele ser mínimo pudiéndose resumir en:
 - El cambio de la tonalidad de las arenas respecto al material primitivo
 - Alteración de la textura y granulometría de la arena, pudiendo generar comodidad o incomodidad de los visitantes al transitar o sentarse sobre ella
 - Modificación de la pendiente de la playa, que puede ser incómodo tanto en la playa seca como húmeda.
 - Aumento de la turbidez del agua que puede ser percibida como de mala calidad.

4.2.4. Uso litoral

El último impacto ambiental a tener en cuenta es el relacionado con el uso que se le vaya a dar a la franja litoral o a la actividad que sobre ella se pretenda desarrollar.

- **Obras longitudinales:** Las obras longitudinales en general, tienen el objetivo de defensa de bienes existentes en la trasplaya por lo que puede proporcionar beneficios de uso en la franja litoral terrestre, si bien el efecto de barrera que estos suponen suele conllevar la imposibilidad de uso de la franja litoral más próxima al mar, pudiendo utilizarse solamente como paseo o como muelle.
- **Diques y espigones:** Los diques y espigones suelen tener como objetivo la creación de una playa a su resguardo, lo que facilita su uso de zona de esparcimiento, no entrando en los efectos secundarios que pudieran aparecer en playas de su misma unidad fisiográfica. Cuando los espigones inician en la playa seca, limitan la continuidad de ésta, reduciendo ciertas actividades como paseos, deportes náuticos, etc.
- **Regeneración artificial:** La alimentación artificial de tanto en cuando reproduce una playa natural, no parece que tenga problemas de uso relacionado intrínsecamente con ella, pudiendo afectar el tamaño del grano para la comodidad de los visitantes, deportistas, etc.

5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA PROTECCIÓN DE GRIELLS

Con el objetivo de comparar las diferentes alternativas de protección indicadas en el capítulo anterior, se ha realizado un análisis multicriterio de cara a poder tener una visión global de lo que implica cada solución.

Las alternativas consideradas en el estudio son:

- **Alternativa A:** Muro rompeolas.
- **Alternativa B:** Espigones perpendiculares a la costa.
- **Alternativa C:** Espigones exentos paralelos a la costa.
- **Alternativa D:** Regeneración artificial de playa.

5.1. Metodología

Se ha llevado a cabo un análisis multicriterio de las cuatro alternativas de protección costera indicadas en el capítulo anterior para evaluar la idoneidad de las mismas en función de una serie de criterios considerados de gran importancia, obteniendo como resultado la mejor de las alternativas evaluadas.

Se han definido los siguientes cuatro objetivos a satisfacer:

- **Objetivo ambiental:** obtener la alternativa que produzca menos impacto residual sobre el medio.
- **Objetivo económico:** obtener la alternativa que sea más económica.
- **Objetivo territorial / social:** obtener la alternativa que aporte una mejora más significativa de la zona estudiada y en consecuencia asegure una regeneración de la playa más efectiva.
- **Objetivo funcional:** obtener la alternativa que ofrezca una mayor funcionalidad de cara a los residentes de la urbanización, y a los usuarios de la zona en cuanto a calidad de la solución, valor urbano, y seguridad.

Cada objetivo se cuantifica mediante unos índices, denominados I_{AMB} , I_{ECO} , I_{TER} y I_{FUN} , respectivamente, obtenidos en base a determinados indicadores.

A cada uno de estos objetivos se le asigna un peso (a, b, c, d), con el fin de reflejar su importancia relativa a la hora de escoger la mejor alternativa. En este estudio se han adoptado los siguientes pesos:

Objetivo	Peso relativo
Ambiental (a)	20%
Económico (b)	30%
Territorial (c)	25%
Funcional (d)	25%

La valoración final de cada alternativa se ha obtenido a partir de la aplicación del peso dado a cada objetivo a los indicadores correspondientes:

$$\text{Valoración alternativa} = a. I_{AMB} + b. I_{ECO} + c. I_{TER} + d. I_{FUN}$$

Finalmente, y con el objetivo de comprobar la idoneidad de los pesos elegidos para cada uno de los criterios y evaluar definitivamente las diferentes alternativas considerando otros factores de ponderación, el análisis multicriterio incluye un análisis de sensibilidad y un análisis de robustez.

Según este análisis la mejor alternativa es la que obtiene una mayor valoración.

En cualquier caso, estos pesos relativos y la ponderación de cada elemento, deberá ser ajustada en fases posteriores y acordada por todas las administraciones y entidades de la zona.

5.2. Definición y valoración de los diferentes objetivos

5.2.1. Objetivo ambiental

En la tabla siguiente se muestra la cuantificación de los aspectos ambientales que se consideran más relevantes y que suponen diferencias significativas entre las diferentes alternativas analizadas.

Los vectores más relevantes con diferencias destacables entre las alternativas es la capacidad de regeneración de playa (valor positivo) y la posible inducción de fenómenos erosivos (valor negativo).

La valoración del objetivo ambiental se realiza a partir de los siguientes aspectos y los indicadores asociados correspondientes:

Propuesta de Ideas Base para un Proyecto de Recuperación Ambiental de la Fachada Litoral de la Zona de Els Griells (l'Estartit - Torroella de Montgrí - Gerona).

Vector	Indicador	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C		Alternativa D	
		Afección relativa	Valor ponderado	Afección relativa	Valor ponderado	Afección relativa	Valor ponderado	Afección relativa	Valor ponderado
Playa	Presencia de playa (+)	0	5,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0
	Capacidad de regeneración de la playa (+)	0	5,0	7,5	8,8	10	10,0	10	10,0
			5,0		9,4		10,0		10,0
Patrimonio Natural	Destrucción de hábitats (-)	7,5	6,3	2,5	8,8	2,5	9	0	10,0
	Protección de hábitats (+)	5	7,5	7,5	8,8	10	8	10	7,5
			6,9		8,8		8,1		8,8
Geología	Volumen de material de aportación (m³) (-)	2,5	10,0	5	8,8	5	9	10	6,3
	Afecciones erosivas (-)	2,5	8,8	5	7,5	5	8	0	10,0
			9,4		8,1		8,1		8,1
Impacto visual	Impacto visual (-)	2,5	8,8	2,5	8,8	5	8	0	10,0
			8,8		8,8		7,5		10,0
INDICADOR GLOBAL			7,50		8,75		8,44		9,22

Para cada una de las alternativas, se han valorado criterios de evaluación anteriores y se han ponderado los valores obtenidos entre 0 y 10. El valor 10 se corresponde a la alternativa que suponga una menor afección según el criterio evaluado. El índice ambiental se calcula como la media aritmética de las notas asociadas a los conceptos anteriores.

A partir de los anteriores indicadores, resulta el siguiente índice ambiental para cada alternativa:

Alternativa	I _{AMB}
A	7,50
B	8,75
C	8,44
D	9,22

Tal y como se observa en la tabla, la **alternativa D**, de regeneración artificial de la playa, es la que resulta mejor posicionada en relación al índice ambiental. Siendo la peor posicionada la alternativa A, la de construcción de un muro rompeolas.

5.2.2. Objetivo Económico

La comparación de las diferentes alternativas desde el punto de vista económico se ha realizado a partir de los siguientes indicadores:

- **Presupuesto de ejecución Material (PEM)**

Se ha realizado la comparativa con la relación entre el presupuesto de ejecución material estimado (PEM) de cada una de las alternativas.

A pesar de que queda fuera del alcance de este documento valorar el coste económico de cada solución, se ha estimado el valor relativo entre cada una de ellas. Se considera, evidentemente, como la solución más cara, la regeneración artificial de la playa con aportes periódicos de arena, por lo que se le asigna el valor máximo del 100%.

La solución más económica, por contraste, sería la del muro rompeolas, a la que se le asigna un coste del 30% de la solución de regeneración artificial.

Entre las dos soluciones de espigones, la de espigones exentos, se considera más costosa debido a su carácter exento de la costa y a su mayor requerimiento de material.

De esta manera se puede identificar la alternativa más ventajosa en referencia a su valor económico. En la siguiente tabla aparece el porcentaje relativo de PEM asociado a cada alternativa junto con el índice del objetivo económico que representa. El valor 10 corresponde a la alternativa más económica. El índice asociado al resto de alternativas se obtiene de forma lineal a partir de la alternativa óptima.

Alternativa	Porcentaje relativo del PEM (€)	I _{PEM}
A	30 %	10,00
B	50 %	9,00
C	60 %	8,50
D	100 %	3,00

- **Tasa Interna de Retorno de la inversión (TIR)**

También queda fuera del alcance de este documento valorar la Tasa de Retorno que implica cada solución, no obstante se ha estimado el valor relativo de la TIR en función de los futuros usos que se podría dar a la Fachada Litoral según la opción valorada

Según el análisis de rentabilidad considerado, las diferentes alternativas presentan un TIR diferente según se resume en la siguiente tabla:

Alternativa	Usos	TIR relativo	I _{TIR}
A	Paseo marítimo	5	7,50
B	Paseo marítimo + Playa reducida	8	9,00
C	Paseo marítimo + Playa	10	10,00
D	Paseo marítimo + Playa	10	10,00

- **Obtención del indicador económico global**

El índice económico se ha obtenido como la media de los índices calculados anteriormente. A partir de los anteriores indicadores, resulta el siguiente índice económico para cada alternativa:

Alternativa	I _{ECO}
A	7,50
B	8,50
C	8,50
D	6,50

Tal y como se observa en la tabla, **la alternativa B**, de una solución con diques perpendiculares a la costa, es la que resulta mejor posicionada en relación al índice económico. Siendo la peor posicionada la alternativa D, de regeneración artificial de la playa.

5.2.3. Objetivo Territorial / Social

Para evaluar este objetivo se analiza en cada alternativa la respuesta que ofrece ante una mejora más efectiva de la zona a proteger.

Para poder evaluar la adaptación de una alternativa a la zona de estudio es necesario valorar la capacidad de protección de la urbanización, del medio natural y de la playa de una manera global.

Para cada uno de los conceptos valorados, se ha asignado un índice igual a 10 a la alternativa óptima, mientras que para el resto de alternativas el índice se obtiene de forma lineal a partir de la alternativa más puntuada. Se han valorado los siguientes indicadores:

Indicador	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C		Alternativa D	
	Afección relativa	Valor ponderado	Afección relativa	Valor ponderado	Afección relativa	Valor ponderado	Afección relativa	Valor ponderado
Protección frente a la erosión (+)	10,0	10,0	8,0	9,0	8,0	9,0	7,0	8,5
Protección frente a inundaciones (+)	10,0	10,0	8,0	9,0	8,0	9,0	7,0	8,5
Protección de la playa(+)	0,0	5,5	7,5	9,3	9,0	10,0	0,0	5,5
INDICADOR GLOBAL		8,50		9,10		9,30		7,50

A partir de los anteriores indicadores, resulta el siguiente índice territorial/social para cada alternativa:

Alternativa	I _{TER}
A	8,50
B	9,10
C	9,30
D	7,50

Tal y como se observa en la tabla, **la alternativa B**, de una solución con diques perpendiculares a la costa, es la que resulta mejor posicionada en relación al índice ambiental. Siendo la peor posicionada la alternativa D, de regeneración artificial de la playa.

5.2.4. Objetivo Funcional

Para evaluar la funcionalidad de cada alternativa, de cara a proporcionar a los usuarios de la zona una valorización de la Fachada Litoral positiva y optimizar los costes de mantenimiento, se han considerado una serie de indicadores que evalúan ciertos aspectos que intervienen directamente en la funcionalidad las soluciones adoptadas. Tras el cálculo del valor de estos indicadores, el objetivo funcional se determina mediante la media aritmética de los valores de cada uno de ellos.

La valoración del objetivo funcional se realiza a partir de los siguientes aspectos y los indicadores asociados correspondientes:

Indicador	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C		Alternativa D	
	Afección relativa	Valor ponderado	Afección relativa	Valor ponderado	Afección relativa	Valor ponderado	Afección relativa	Valor ponderado
Calidad de la fachada litoral (+)	5,0	7,50	7,50	8,80	9,0	9,50	10,00	10,00
Usos recreativos de la zona (+)	2,5	6,25	7,50	8,80	9,0	9,50	10,00	10,00
Costes de mantenimiento (-)	0,0	10,0	2,50	8,75	2,5	8,75	10,00	5,5
INDICADOR GLOBAL		7,92		8,75		9,25		8,33

A partir de los anteriores indicadores, resulta el siguiente índice territorial/social para cada alternativa:

Alternativa	I _{TER}
A	7,92
B	8,75
C	9,25
D	8,33

Tal y como se observa en la tabla, **la alternativa C**, de una solución con diques exentos, es la que resulta mejor posicionada en relación al índice ambiental. Siendo la peor posicionada la alternativa A, de muelle rompeolas.

5.3. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis multicriterio.

5.3.1. Valoración de las alternativas

Como resultado de la valoración de los diferentes objetivos y de la aplicación de los pesos establecidos, se obtiene la valoración global de cada alternativa. El posterior análisis de robustez y de sensibilidad garantiza la validez del resultado obtenido ante la variación de los pesos considerados.

La valoración global de cada alternativa es la siguiente:

Alternativa	Ambiental		Económico		Territorial		Funcional	
	I _{AMB}	Ponderación	I _{ECO}	Ponderación	I _{TER}	Ponderación	I _{FUN}	Ponderación
A	7,50	20 %	7,50	30 %	8,50	25 %	7,92	25 %
B	8,75		8,50		9,10		8,75	
C	8,44		8,50		9,30		9,25	
D	9,22		6,50		7,50		8,33	

A partir de los anteriores indicadores, resulta el siguiente índice global para cada alternativa:

Alternativa	I _{GLOBAL}
A	7,86
B	8,76
C	8,88
D	7,75

El resultado del análisis multicriterio indica que la alternativa que presenta una mejor valoración global **es la C, de espigones exentos a la costa**, seguida a muy poca distancia por **la alternativa B, de espigones perpendiculares**. La alternativa C es la que tiene una mejor valoración territorial, social y funcional.

5.3.2. Análisis de sensibilidad y robustez

Una vez obtenida la valoración (puntuación) de todos los objetivos para cada alternativa de protección de la fachada litoral, se realizan dos nuevos análisis para analizar la bondad de la alternativa seleccionada:

- Análisis de robustez
- Análisis de sensibilidad

El análisis de robustez consiste en ponderar los valores obtenidos para cada objetivo con todas las combinaciones de pesos posibles de 0 a 1 (con incrementos de 0,05), y ver en qué porcentaje resulta 'ganadora' cada alternativa. Por lo tanto, este análisis no parte de una asignación previa de pesos para cada objetivo sino que analiza la totalidad de posibilidades.

Por su parte el análisis de sensibilidad parte de los pesos asignados previamente (0,20; 0,30; 0,25; 0,25) y analiza la variación de los resultados obtenidos al variar estos pesos a +/- 0,20, con incrementos de 0,05, considerando todas las combinaciones posibles en este rango, obteniendo para cada combinación una alternativa 'ganadora'. Al final del análisis se obtiene el porcentaje de combinaciones en los que resulta ganadora cada alternativa. Se puede analizar de esta manera la sensibilidad de los pesos seleccionados previamente en la obtención de la alternativa seleccionada.

A continuación se exponen los resultados obtenidos en los análisis de robustez y sensibilidad:

- En cuanto al **análisis de sensibilidad**, la alternativa C (diques exentos paralelos a la costa) resulta ganadora en el 59,51% de las combinaciones posibles, mientras que la alternativa B (diques perpendiculares a la costa) resulta ganadora en el 40,49% de las combinaciones.

Los resultados del análisis de sensibilidad se muestra en la siguiente tabla:

Indicador	Alt. A	Alt. B	Alt. C	Alt. D
Ambiental	7,50	8,75	8,44	9,22
Económico	7,50	8,50	8,50	6,50
Territorial	8,50	9,10	9,30	7,50
Funcional	7,92	8,75	9,25	8,33
Puntuación ponderada	7,86	8,76	8,88	7,75
Nº veces ganadora	0	198	291	0
% Ganador	0,00	40,49	59,51	0,00

- Como resultado del **análisis de robustez** se observa que la alternativa C (diques exentos paralelos a la costa) resulta ganadora en el 74,70% de las combinaciones mientras que la alternativa B (diques perpendiculares a la costa) resulta ganadora en el 21,79% de las combinaciones. La alternativa D (regeneración artificial de la playa) se impone sólo en el 3,51% de las combinaciones mientras que la alternativa A (muro longitudinal rompeolas) no se impone en ninguna de las combinaciones.

Los resultados del análisis de robustez del multicriterio realizado se muestran en la siguiente tabla:

Indicador	Alt. A	Alt. B	Alt. C	Alt. D	Pesos	Variación
Ambiental	7,50	8,75	8,44	9,22	0,20	0,05
Económico	7,50	8,50	8,50	6,50	0,30	
Territorial	8,50	9,10	9,30	7,50	0,25	
Funcional	7,92	8,75	9,25	8,33	0,25	
Puntuación ponderada	7,86	8,76	8,88	7,75		
Nº veces ganadora	0	385	1.320	62		
% Ganador	0,00	21,79	74,70	3,51		

6. PREDISEÑO DE UN ESPIGÓN DE PROTECCIÓN LITORAL

El análisis multicriterio realizado en el capítulo anterior muestra que, según los criterios considerados, la mejor opción para asegurar una protección costera y una regeneración de playa en la fachada litoral de Els Griells es la construcción de un sistema de espigones exentos, seguida muy de cerca por una solución basada en espigones perpendiculares a la costa.

Se presenta a continuación un prediseño en cuanto a situación y dimensiones de las dos soluciones ganadoras del estudio multicriterio. Se analizan entonces las siguientes opciones constructivas:

- **Espigones perpendiculares a la costa.**
 - **Espigón individual.**
 - **Sistema de espigones.**
- **Espigones exentos paralelos a la costa.**

Para la elección de la solución idónea se deberá contar con estudios de detalle (topográficos, geotécnicos y de dinámica litoral) que permitan el diseño detallado de las soluciones y completar la realización de modelizaciones numéricas y reales a escala adaptadas a nuestra zona de características especiales, como son la presencia de las Islas Medes, un pendiente submarino muy suave, una arena muy fina, corrientes dominantes de lebeche, etc.

6.1. Espigón individual

Esta primera opción de solución desarrollada se basa en la construcción de un espigón individual de unos 125 m de largo de forma semiperpendicular a la costa en el límite entre la RNP del Ter Vell y el inicio de la Playa de Els Griells.

Este dique se construiría con un cuerpo de escollera, de manera que fuera permeable al agua y no significara una barrera física completa.

Se prevé con una orientación paralela al actual espigón de Garbí (Leveche) del puerto deportivo de l'Estartit, con un cambio de orientación hacia el sur de los últimos 25 m de espigón con el objetivo de disminuir su afección erosiva en su trasdós.

Este espigón ayudaría a retener la arena que actualmente transportan las corrientes en sentido norte, provocando un efecto de abanico equivalente al que está produciendo el dique del puerto. Con la diferencia, que el dique del puerto está provocando una acumulación excesiva de arena que implica problemas de drenaje superficial en la Playa Principal y aquí, la retención de arena, aseguraría la recuperación ambiental de la Fachada Litoral de Els Griells.

Este tipo de dique provocaría cierto fenómeno erosivo en la zona de la desembocadura del Ter Vell, no obstante, este fenómeno se estima poco significativo (debido a la cantidad de arena existente en esa zona) y fácilmente compensable con una correcta gestión de usos de esa zona de la playa en base a: asegurar el drenaje del Ter Vell, permitir la regeneración de dunas en la zona y regularizando el aparcamiento de vehículos de la zona.



Figura 56 – Propuesta de protección de la erosión mediante espigón semiperpendicular a la línea de costa. Se indican dimensiones y predicción de futura línea de playa.

La construcción de este dique podría aprovecharse también para la regularización de las actividades recreativas que actualmente se están llevando a cabo en la playa, como los canales de navegación de embarcaciones alquiladas, zonas de surf y kayak, etc. Limitando la parte interior del espigón para el baño y disimulando así la afección visual de la estructura.

En la ortofotografía anterior se muestra la orientación y dimensiones del espigón propuesto, así como, en rojo, la línea de playa inducida por la estructura.

Constructivamente presentaría una sección trapezoidal con unos 10 m de ancho en cabecera y derrames al 2H:1V. Con una altura media de 8 metros; implicaría un volumen de escollera de unos 26.000 m³.

6.2. Grupo de espigones perpendiculares

Esta segunda opción de solución se basa en la construcción de tres espigones perpendiculares a la costa a lo largo del paseo marítimo y separados uno 150 m entre ellos.

Estos diques se construirían con un cuerpo de escollera, de manera que fuera permeable al agua y no significaran una barrera física completa.

Se prevén de longitudes reducidas y crecientes (30 m – 40 m – 50 m) de sur a norte, y con un tercio de su longitud en tierra, con el objetivo de permitir que la arena pueda rebasarlos y no generen fenómenos erosivos hacia el norte.

Estos espigones ayudarían a retener la arena que actualmente transportan las corrientes en sentido norte ya que significarían un punto duro en la costa.

Sus pequeñas dimensiones harían que tuvieran una incidencia erosiva hacia el norte muy pequeña, no obstante su impacto visual resultaría elevado.

Seguramente serían necesarios más espigones para asegurar una regeneración efectiva de la playa de Els Griells, por lo que resulta recomendable prever combinar este sistema de protección conjuntamente con otras medidas como por ejemplo:

- Aportes artificiales periódicos de arena.
- Instalación de espigones permeables temporales durante la temporada de invierno para retirarlos en verano.

La construcción de estos espigones podría aprovecharse también para la regularización de las actividades recreativas que actualmente se están llevando a cabo en la playa, como los canales de navegación de embarcaciones alquiladas, zonas de surf y kayak, etc. disimulando así la afección visual de la estructura.

En la ortofotografía siguiente se muestra la orientación y dimensiones del espigón propuesto, así como, en rojo, la línea de playa inducida por la estructura.



Figura 57 – Propuesta de protección de la erosión mediante 3 espigones de pequeñas dimensiones y perpendiculares a la línea de costa. Se indican dimensiones y predicción de futura línea de playa.

Constructivamente presentarían una sección trapezoidal con unos 3 m de ancho en cabecera y derrames al 2H:1V. Con una altura media de 6 metros; implicaría un volumen de escollera de unos 10.800 m³.



Figura 58 – Sistema de barreras permeables temporales para retención de arena fuera de la temporada turística (Inlet Beach, Florida, EEUU).

6.3. Espigones exentos

Esta opción, ganadora en el estudio multicriterio, de solución se basa en la construcción de cinco espigones paralelos a la costa a lo largo del paseo marítimo. Estos espigones se situarían a una distancia de la costa de entre 50 y 75 metros, separados unos 25 m entre ellos.

Estos diques se construirían con un cuerpo de escollera, de manera que fuera permeable al agua y no significaran una barrera física completa, y con la base por debajo de la acción del oleaje.

Se prevén de longitudes reducidas (unos 50 metros cada uno), con el objetivo de no provocar una distorsión significativa de las corrientes litorales, no generar fenómenos erosivos negativos y provocar un impacto visual reducido.

Estos espigones ayudarían a retener la arena entre ellos y la costa y no interrumpirían la corriente predominante hacia el norte.

Seguramente, al principio, sería necesario apoyar la solución mediante pequeños aportes artificiales de arena para asegurar una base inicial de playa más espigones para asegurar una regeneración efectiva de la playa. Y también sería recomendable prever combinar este sistema de protección conjuntamente la instalación de espigones permeables temporales durante la temporada de invierno para ayudar a la fijación de arena.

En la ortofotografía siguiente se muestra la orientación y dimensiones del espigón propuesto, así como, en rojo, la línea de playa inducida por la estructura.



Figura 59 – Propuesta de protección de la erosión mediante 5 espigones exentos de la costa. Se indican dimensiones y predicción de futura línea de playa.

La construcción de estos espigones podría aprovecharse también para la regularización de las actividades recreativas que actualmente se están llevando a cabo en la playa, como los canales de navegación de embarcaciones alquiladas, zonas de surf y kayak, etc. integrando así la estructura con el plan de usos de esta zona de playa.

Constructivamente presentarían una sección trapezoidal con unos 3 m de ancho en cabecera y derrames al 3H:2V. Con una altura media de 7 metros; implicaría un volumen de escollera de unos 33.250 m³.

Todas las soluciones basadas en espigones, y especialmente la de espigones exentos, tienen la ventaja de que suponen un "punto fijo" en la costa apto que pueden considerarse como arrecifes artificiales. Siendo una estructura apta para la fijación de la fauna y flora marina, pudiendo diseñarse también con un objetivo a medio plazo con interés natural y turístico (de actividades subacuáticas).

7. GLOBALIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

7.1. Reparación y restitución del Paseo Marítimo

Actualmente la escollera sobre la que se asienta el paseo marítimo se encuentra gravemente comprometida y en una situación de peligro inmediato. Cabe recordar aquí, que este dique, a parte de la base del paseo, supone la única defensa de la urbanización frente a la entrada del mar.

Este dique presenta unas patologías extremadamente graves para poder asegurar su funcionalidad. Destacan entre otros:

- Fallada de integridad del paramento por basculamiento de los bloques.
- Falta de cimentación competente y apoyo directo sobre una base dunar bajo el efecto del oleaje.
- Modificaciones constructivas que han reducido su anchura en cabecera.
- Erosión en la base (oleaje) y erosión interna (por roedores).

Debido a la premura del tiempo, parece absolutamente imprescindible asegurar un trabajo de refuerzo del dique para poder aguantar la temporada de invierno y de temporales de levante. Se recomienda aquí que estos trabajos de refuerzo se realicen en base a:

- Levantamientos topográficos de detalle para identificar posibles anomalías geométricas del paseo y que ayuden a identificar las zonas más desestabilizadas.
- Un reconocimiento geofísico y geotécnico para comprender las condiciones de apoyo de la escollera y evaluar su riesgo de ruptura.
- Un levantamiento batimétrico para localizar áreas de erosión y acreción, evaluar la pendiente de la playa y medir la estabilidad de la estructura según sus dimensiones.

Estas actuaciones de refuerzo se han de entender como temporales, considerándose el estado del dique como de ruina y requiriendo su reconstrucción ya que sus errores son de base.

Cabe destacar en este aspecto que se prevé alargar este Paseo Marítimo con un proyecto de Retranqueo del camino de ronda entre el Paseo del Griells y La Pletera para asegurar un acceso a la zona del Parque Natural acondicionada por el proyecto europeo LIFE.

Este proyecto de ampliación de Paseo Marítimo sigue mostrando los mismos errores que se han cometido con las reparaciones del paseo; ejecutando de nuevo escolleras de protección sin estudios de base, sin un dimensionado específico, sin cimentación en su apoyo y situadas bajo el efecto del oleaje.



Figura 60 – Planta de la propuesta de retranqueo del paseo marítimo de Griells a la Pletera.

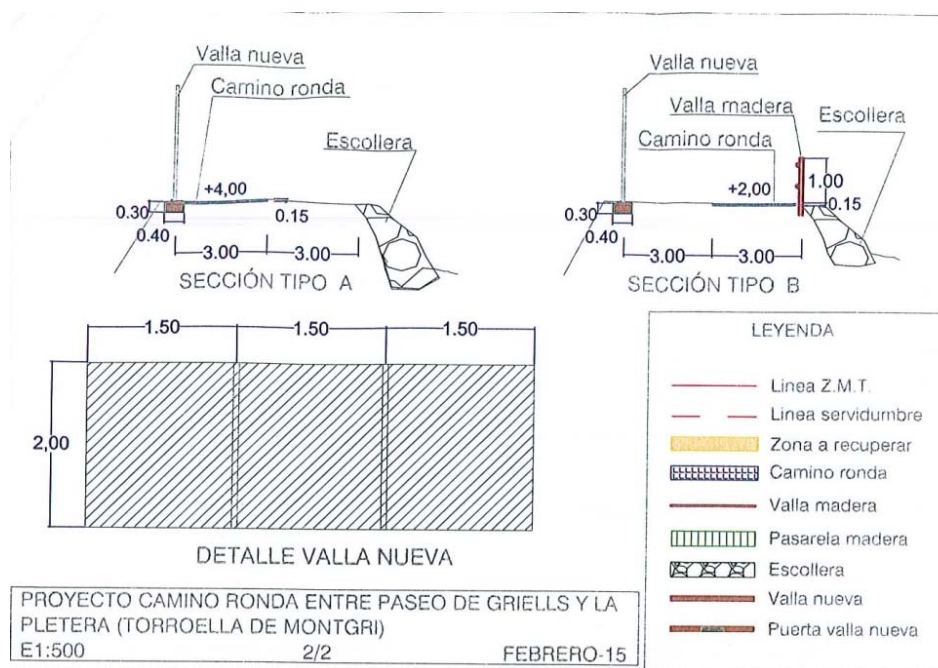


Figura 61 – Sección tipo de escollera prevista en el proyecto de Retranqueo del camino de ronda entre el Paseo del Griells y La Pletera.

Con los antecedentes de la zona, cualquier actuación en el Paseo Marítimo, de Griells a la Pletera, ha de estar integrado a la dinámica de la zona. Ha de poder subsanar los errores constructivos de la escollera existente, ha de dar solución a la accesibilidad limitada por la estructura actual y, sobretodo, estar correctamente dimensionada en base a estudios técnicos (topográficos, geotécnicos, de dinámica litoral) y a la información de la gente residente en el territorio, que tienen un conocimiento detallado del entorno debido a años y años de observación in situ.

A parte de ello, creemos que no se debería abordar una actuación solo para el Paseo Marítimo. La actuación ha de ser global para la Fachada Litoral. Actuaciones puntuales y que no contemplen la protección costera y la recuperación ambiental implican repetir los mismos errores cometidos en los últimos años y condenar a la nueva estructura a la ruina a los dos años de construirla (según el periodo de recurrencia de los temporales).

7.2. Amenaza a la Playa Principal

La problemática erosiva que está afectando de forma clara a la fachada litoral de Els Griells es un fenómeno progradante que ya empieza a mostrar sus primeros efectos más al norte.

En la figura siguiente podemos observar una serie histórica de ortofotografías obtenidas del Visualizador de Cambios Urbanísticos del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña. Las fotos se encuentran centradas en la zona del Ter Vell, entre Els Griells y el núcleo de l'Estartit y cubren desde el año 1946 al 2014.

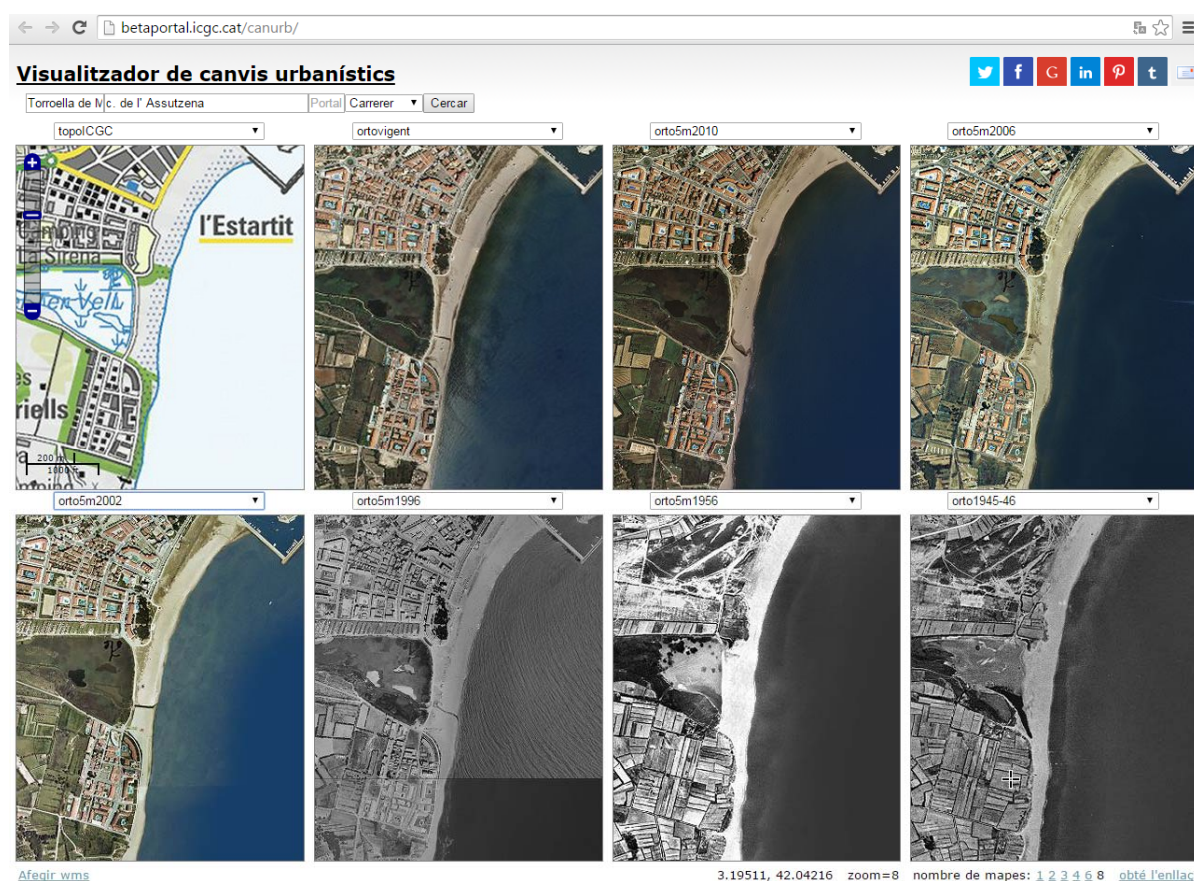


Figura 62 – Visor de Cambios Urbanísticos del ICGC donde se muestra la base topográfica actual y una serie de ortofotografías históricas centradas en el Estartit.

En ellas se puede observar cómo ha ido evolucionando el fenómeno erosivo en la zona de Griells. Y también se observa como la Playa Principal de l'Estartit presenta una perfil lineal indicativo de una playa sana.

No obstante, y a la espera de fotografías aéreas más actualizadas, esto ya no es así. Actualmente, en la Playa Principal ya se empiezan a marcar las primeras evidencias de entradas erosivas que están provocando importantes pérdidas de arena tal y como se muestra en la siguiente fotografía.



Figura 63 – Vista hacia el Norte desde Els Griells de la Playa Principal de l'Estartit. Se observa el incipiente carácter erosivo que marca el perfil de playa. Septiembre de 2015.

Esta evidencia indica que la amenaza erosiva que está sufriendo la zona de Els Griells es un fenómeno de tipo global en toda el sistema de playa de l'Estartit y que realmente supone una amenaza directa en toda su longitud.

La exposición al fenómeno erosivo afecta a todo el frontal marítimo de la entidad municipal; la playa, urbanizaciones, puerto, paseo marítimo, etc. Afecta directamente al mayor activo turístico del municipio, en zonas que utilizan cada año miles y miles de personas y del que depende cerca del 100% de la actividad económica del Estartit así como al valor medio ambiental de las zonas catalogadas como Parque Natural.

Esta progradación hacia el norte de la amenaza supone un riesgo alto y no identificado anteriormente en la zona. Cabe indicar que a principios del 2015 el Ayuntamiento de Torroella de Montgrí aprobó el Plan de Actuación Municipal de Riesgos Geológicos de l'Estartit, el cual solamente se enfocó al riesgo geológico asociado a movimientos de vertiente obviando otros riesgos geológicos como la dinámica litoral, la inundabilidad o el riesgo sísmico entre otros.

Es importante, en este aspecto, considerar la actuación de protección de la Fachada Litoral en Els Griells como una actuación que es urgente debido al peligro existente para las personas y bienes de la zona. Pero que ésta actuación deberá de prever su ampliación para una protección del riesgo incipiente que se está mostrando más hacia el norte y hacia la Pletera (justo al sur de Els Griells).

Afortunadamente, la situación geográfica de la playa y la dinámica erosiva existente, son muy propicias a actuaciones de protección como las propuestas en este documento. Esto es debido a que la situación del puerto y del macizo del Montgrí hacen que estos elementos actúen como auténticas barreras físicas. Esto significa que:

- Físicamente, la zona de actuación, se encuentra limitada a una zona costera de como máximo 1,5 kilómetros de costa (de los cuales solo 400 corresponderían a Els Griells).
- Cualquier actuación que se diseñe no podrá suponer una afección erosiva más allá de la barrera que suponen estos elementos. Suponiendo el propio espigón de Garbí del puerto el fin de la posible estructura de protección.

En la figura siguiente se muestra una propuesta de integración de la solución de protección en toda el frente litoral del municipio, ejecutando en una primera fase la protección de la zona de Griells (actuación de urgencia), y en una segunda fase, la protección de la Playa Principal (actuación preventiva).



Figura 64 – Propuesta de protección global de todo el frente litoral de l'Estartit, del dique de Garbí a La Pletera. Se indican las dos posibles soluciones a la vez y las dos fases constructivas propuestas.

Garantizando así una protección global para los intereses de todo el municipio.



Figura 65 – Detalle de la propuesta de protección global de todo el frente litoral de l'Estartit, del dique de Garbí a La Pleta. Se indican las dos posibles soluciones a la vez (diques exentos y espigones perpendiculares) así como las dos fases constructivas propuestas. La primera, de Els Griells de carácter urgente, la segunda, de l'Estartit y La Pleta, prioritarias.

8. CONCLUSIONES

La erosión costera es un fenómeno conocido desde hace muchos años, ya señalado previamente en muchos informes técnicos del Servicio Geológico de Cataluña, cartografías del Instituto Geológico de Cataluña, del Consejo Asesor para el Desarrollo Sostenible de Cataluña, por la red científica RiskNAT, etc.

Este fenómeno erosivo está afectando seriamente a la fachada litoral de la zona de Els Griells de l'Estartit, donde está haciendo desaparecer buena parte de la playa existente (llegando en algunos puntos, incluso, a situarse el nivel de erosión más allá del límite de la ZMT) y, desde hace 5 años, está comprometiendo la integridad de la urbanización adyacente ya que el oleaje está desestabilizando la escollera de protección del paseo marítimo.

La pérdida de sedimento continuo que está sufriendo la playa de Els Griells responde a numerosas causas, algunas asociadas a fenómenos climáticos, pero también por causas asociadas a la gestión y planificación del territorio por parte de las administraciones locales, autonómicas y estatales.

Actualmente la fachada litoral de Els Griells presenta un problema costero doble;

- Requiere una **protección costera**: frente al oleaje, a la erosión marina y a posibles entradas de mar en la urbanización.
- Requiere la **estabilización de la línea de costa**: Es necesario mantener una playa litoral para poder asegurar los valores ambientales y turísticos de la zona, así como asegurar una protección natural de la zona litoral.

Con el objetivo de prever la solución idónea en función de criterios ambientales, económicos, territoriales y funcionales, se ha realizado un análisis multicriterio de cuatro alternativas de diseño de protecciones costeras, obteniendo como resultado que la mejor opción para la fachada litoral de Griells es la construcción de un sistema de espigones exentos, seguida muy de cerca por una solución basada en espigones perpendiculares a la costa.

Con el apoyo de con estudios de detalle (topográficos, geotécnicos y de dinámica litoral) se podrá completar un diseño detallado de las soluciones propuestas y completar la realización de modelizaciones numéricas y reales a escala para ajustar sus dimensiones y orientaciones. De esta manera, se podrá ejecutar la solución más idónea para nuestra zona de características especiales, como son la presencia de las Islas Medes, un pendiente submarino muy suave, una arena muy fina, corrientes dominantes de lebeche, etc.

La actuación de protección de la Fachada Litoral en Els Griells se considera como una actuación urgente debido al peligro existente para las personas y bienes de la zona.

No obstante las intervenciones a medio plazo no se pueden limitar a Els Griells sino que deberá de prever su ampliación más hacia el norte ya que se ha comprobado que la problemática erosiva empieza a mostrar sus primeros efectos en frontal marítimo de la Playa Principal de la entidad municipal.

Esto implica que la erosión litoral que está sufriendo Els Griells no es solo una amenaza para la urbanización del mismo nombre, sino también una amenaza directa al mayor activo turístico del municipio, afectando a zonas que utilizan cada año miles y miles de personas y de las que depende cerca del 100% de la actividad económica de l'Estartit así como al valor medio ambiental de las zonas aledañas catalogadas como Parque Natural.

Por todo ello, esta Propuesta de Ideas Base, considera que la protección de la Fachada Litoral en Els Griells como una actuación de carácter urgente debido al peligro existente para las personas y bienes de la zona. Y también concluye, que ésta actuación deberá de prever su ampliación para una protección del riesgo incipiente que se está mostrando más hacia el norte y hacia la Pletera (justo al sur de Els Griells). Actuación, ésta segunda, que se considera de carácter prioritario, para garantizar así una protección global de los intereses de todo el municipio.



Figura 66 – Detalle de la propuesta de protección global de todo el frente litoral de l'Estartit, del dique de Garbí a La Pletera. Se indican las dos posibles soluciones a la vez (diques exentos y espigones perpendiculares) así como las dos fases constructivas propuestas. La primera, de Els Griells de carácter urgente, la segunda, de l'Estartit y La Pletera, prioritarias.

9. BIBLIOGRAFÍA

BURLAND, J.B. (1995), "Assessment of risk of damage to buildings due to tunneling and excavation" Proceedings of 1st International Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, IS-Tokyo.

CENTRE INTERNACIONAL D'INVESTIGACIÓ DELS RECURSOS COSTANERS, (2010). Llibre verd de l'Estat de la zona costanera a Catalunya, 2010. Informe Executiu Generalitat de Catalunya.

ENRÍQUEZ, F. Y BERENGUER, J. (1986). Evaluación Metodológica del Impacto Ambiental de las obras de Defensa de Costas. MOPU-CEDEX, Centro de Estudios de Puertos y Costas, Madrid.

ICGC. Mapa Geológico 1:25.000 full 297-1-2 (79-24) Institut Geològic de Catalunya.

HERBICH, J.B. (2000). Handbook of coastal engineering. Mc Graw Hill. New York, USA.

HEREU, B.; BARRIOCANAL, C.; CAPELLÀ, J.; CRUAÑAS, R.; ILLA, E.; MARTÍ, E.; PUIGSERVER, D.; QUINTANA, X.; SIERRA, J. (2013). Evaluación y diagnosis de los sistemas naturales del Baix Ter. (pp. 1 - 129). Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona. ISBN: 978-84-475-3722-8.

LLEI 15/2010, DEL 28 DE MAIG, de declaració del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter, de dues reserves naturals parcials i d'una reserva natural integral.

LIFE 99 NAT/E/006386. Restauración y ordenación de las lagunas y sistemas costeros del Baix Ter.

LIFE 04 NAT/ES/000059. Recuperación del hábitat de anfibios y Emys orbicularis en el Baix Ter.

MAS, J., L. PALLÍ I J. BACH (1989). Geologia de la Plana del Baix Empordà. Pub. de l'Inst. d'Estudis del Baix Empordà, vol. 8, pág. 5-43.

MONTANER, J.; SOLÀ, J.; PALLÍ, L., (1995). Aportació al coneixement de l'evolució geològica recent de la plana del Ter (Baix Empordà). Estudis del Baix Empordà, 14; p. 43-53.

MONTANER, J., SOLÀ, J., (2004). Reconstrucció d'estadis paleogeogràfics recents a la plana del Baix Ter. Papers del Montgrí, 23; p. 8-26.

OBRADOR, A.; PALLI, LL.; ROSELL, J. I TRILLA, J. (1971). Morfología de la costa baja en la provincia de Gerona. Rev. de Girona, 55: 29-36.

OBIOL, E.M. (2003). «La regeneración de playas como factor clave del avance del turismo valenciano», Cuadernos de Geografía, núm. 73/74, pp. 121-146.

OVALLE COLLAZOS, J. A. (2012). "Aplicación de obras de defensa blandas para la protección de la costa catalana". Tesina de Máster dirigida Ojeda Gregorio, Esther.

PASCUAL, J. (2015). Moviments de la platja durant les darreres dues dècades. Llibre de la Festa Major de Torroella de Montgrí. ISSN: 2014-0320 Pàg 147-158.

PASKOFF R. (2006) - Les littoraux - Impact des aménagements sur leur évolution. Armand Colin. 260 p.

PASKOFF R. Y CLUS-AUBY C. (2007) - L'érosion des plages - Les causes, les remèdes. Instituto oceanográfico. 978-2-903581-47-3, 184 p.

PGOM Torroella de Montgrí. Revisió del pla general municipal d'ordenació Ajuntament de Torroella de Montgrí. Document Consolidat. Maig 2014.

PUJOL, J. (2003). L'efectivitat per protecció de costes dels dics paral·les a la costa de baixa cota de coronació. Tesina d'especialitat ETSECCPB-UPC, 2003.

VILAPLANA, J. M.L, (2008). Riskcat. Els riscos naturals a Catalunya, 2008. Informe del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible nº6.

SORENSEN, R.M. (1997). Basic coastal engineering, 2nd ed. Chapman and Hall. New York, USA.

U.S. ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION, Coastal Engineering Research Center (1984). Shore protection manual, 4th ed., U.S. Government Printing Office. Washington D.C., USA.