



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

PROJECTE O TESINA D'ESPECIALITAT

Títol

Perspectivas de futuro para la playa de s'Abanell

Autor/a

Pablo Rey Echevarria

Tutor/a

Jose Antonio Jimenez Quintana

Departament

Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental

Intensificació

Enginyeria Marítima

Data

15 de mayo de 2013

Perspectivas de futuro para la playa de s'Abanell

Autor: Pablo Rey Echevarria

Tutor: José A. Jiménez

Los procesos erosivos están causando estragos en el litoral mediterráneo español. En Catalunya, en el municipio costero de Blanes, la playa de s'Abanell está sufriendo un retroceso continuo desde los años setenta. Durante los últimos años con los temporales se han sufrido numerosos daños en diferentes infraestructuras: instalaciones de una desaladora, nueve pozos de bombeo, varios campings, un paseo marítimo, un vial, aparcamientos y otros edificios. En este trabajo se ha estudiado la erosión que se produce en la playa principalmente debida al transporte longitudinal de sedimento en dirección Sur. Les presentamos los sucesos más relevantes que se han dado en la playa. Un análisis detallado de los movimientos sufridos por la línea de orilla y de las obras de alimentación que se han realizado. Se ha calculado la tendencia evolutiva de la playa mediante regresión lineal, el balance sedimentario por transporte longitudinal con posiciones de líneas de orilla, el balance sedimentario con datos de oleaje mediante la propagación del oleaje hasta rotura con la formulación de Snell y el transporte longitudinal con la formulación de Kamphuis/Queens. También se ha estudiado el efecto de los temporales en el perfil de la playa, con los cambios que produce mediante el transporte transversal del sedimento, así como el ancho necesario de la playa para la correcta protección del hinterland. Se ha expuesto que la playa incumple su función recreativa y de protección y se ha calculado el tamaño que necesitaría para poder cumplirlas además de ofrecer unas propuestas de actuación. Por último en las conclusiones se exponen las magnitudes más relevantes de los procesos estudiados.

Future prospects for s'Abanell beach

Author: Pablo Rey Echevarria

Tutor: José A. Jimenez

The erosion processes are causing destruction on the Spanish Mediterranean coast. In Catalonia, in the coastal town of Blanes, s'Abanell Beach is suffering a continuous decline since the seventies. During the last years, storms have extensively damaged different infrastructures: a desalination facility, nine pumping wells, several campsites, a promenade, a road, car parks and other buildings. In this work we have studied the beach erosion mainly due to longshore sediment transport southward. We present the most important events occurred on the beach and a detailed analysis of the movements suffered by the shore line and the beach nourishments that have been performed. We have calculated the evolutionary tendency of the beach by linear regression, the sedimentary balance due to longshore transport with shore line positions, the sedimentary balance with wave data by propagating waves to break with Snell formulation and the littoral transport with Kamphuis/Queens formulation. Furthermore, we have also studied the effect of storms on the beach profile produced by cross-shore sediment transport, as well as the minimum beach wide for a proper hinterland protection. It has been explained the beach failure on its recreational and protection functions calculating the size that it would need to fulfill them. Moreover we offer some proposals for action. Finally, in the conclusions we present the most relevant magnitudes of the processes studied.

ÍNDICE

Resumen	1
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Introducción	5
1.2 Objetivos	6
1.3 Estructura	6
2. ÁREA DE ESTUDIO	7
2.1 Introducción	7
2.2 Descripción de la zona	7
2.3 Clima de oleaje	10
2.4 Problemática	12
3. DATOS Y METODO DE ANALISIS DE LA EVOLUCIÓN COSTERA	21
3.1 Introducción	21
3.2 Datos	21
3.3 Precisión de los datos	22
3.4 Método de análisis de la línea de orilla	24
3.5 Balance sedimentario	27
3.6 Transporte longitudinal	29
3.6.1 Transporte longitudinal con tendencias evolutivas de líneas de orilla	29
3.6.2 Transporte longitudinal con datos de oleaje	30
4. EVOLUCIÓN COSTERA	32
4.1 Introducción	32
4.2 Desplazamientos de la línea de orilla	32
4.3 Tasas evolutivas de la línea de orilla	44
4.4 Transporte longitudinal	46

4.4.1 Transporte longitudinal con tendencias evolutivas de líneas de orilla	46
4.4.2 Transporte longitudinal con datos de oleaje	48
5. EROSIÓN POR EL IMPACTO DE TORMENTAS	51
5.1 Introducción	51
5.2 Caracterización extremal del oleaje	51
5.3 Modelo de evolución del perfil	53
5.3.1 Perfiles utilizados	55
5.3.2 Tormentas utilizadas	56
5.4 Ancho de playa erosionable	58
5.4.1 Tormentas seleccionadas	59
5.4.2 Ancho probabilístico	59
6. IMPLICACIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO Y USO DE LA PLAYA	62
6.1 Introducción	62
6.2 Función de protección	62
6.3 Función recreativa	66
6.4 Propuestas	69
7. CONCLUSIONES	71
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
8. AGRADECIMIENTOS	75

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Gran parte de la costa mediterránea española sufre procesos erosivos. Esta misma costa se ha ido urbanizando a lo largo de las últimas décadas debido principalmente al aumento de las poblaciones costeras y a la demanda del turismo. La unión de estos dos factores genera problemas a lo largo de toda la costa catalana donde ya muy pocas playas conservan un ancho mayor de 35m. En todo Catalunya se han llevado a cabo numerosas obras costeras para evitar el retroceso de sus playas para poder proteger las poblaciones y permitir su uso recreativo.

La Costa Brava en la provincia de Girona es un ejemplo claro de cómo han aumentado numerosas poblaciones pequeñas debido al turismo y al negocio que generan gracias al importante patrimonio natural de su costa. Este crecimiento descontrolado y la falta de atención sobre los procesos costeros se sufren en un gran número de playas, donde con el paso de los años la densidad de usuarios no ha hecho más que aumentar en verano, mientras que los temporales en invierno generan desperfectos en todo tipo de infraestructuras.

La playa de s'Abanell en el municipio de Blanes es un ejemplo claro. El mínimo ancho de esta playa en la actualidad no tiene nada que ver con la gran playa de la que se disfrutaba en los años setenta. Los vecinos contemplan un invierno tras otros diferentes daños en las infraestructuras que van desde la destrucción de tramos del paseo marítimo a la inutilización de una desaladora. Parece que los esfuerzos de las administraciones con alimentaciones de arena son inútiles y los usuarios empiezan a estar hartos.

1.2 Objetivos

En este estudio intentaremos aclarar que proceso sufre la playa de s'Abanell en el municipio de Blanes y cuál es la magnitud del mismo. Para ello buscaremos solución a las siguientes dudas:

- ¿Sufre la playa de s'Abanell un problema de estabilidad a largo plazo?
- ¿Cuál es el efecto del impacto de los temporales típicos de la zona sobre la playa de s'Abanell?
- ¿Cumple la playa correctamente sus funciones recreativa y de protección?
- ¿Qué futuro le espera a la playa de s'Abanell?

1.3 Estructura

Este trabajo refleja el estudio realizado con la siguiente estructura: (I) en el capítulo 1 se presenta el problema a analizar de la playa; (II) en el capítulo 2 se describe de forma detallada la morfología de la playa y los problemas generados; (III) en el capítulo 3 se detallan los datos y los métodos utilizados para la determinación de la evolución costera; (IV) en el capítulo 4 se caracteriza la evolución costera a lo largo de las últimas décadas; (V) en el capítulo 5 se obtiene el clima extremal y la respuesta de la playa al mismo y a tormentas registradas; (VI) en el capítulo 6 se analiza el funcionamiento de la playa y se dan unas propuestas de actuación; (VII) en el capítulo 7 se exponen las conclusiones de todo el estudio y (VIII) en el capítulo 8 se listan las referencias utilizadas en el trabajo.

Capítulo 2

ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Introducción

En este capítulo pretendemos introducir la playa de s'Abanell y todos los aspectos relevantes de la misma, como el clima de oleaje y la problemática pasada y actual.

2.2 Descripción de la zona

S'Abanell es la playa situada más al Sur de la Villa de Blanes (figura 2.1), va desde el macizo rocoso de sa Palomera en el Norte, que lo separa de la playa de Blanes, hasta la desembocadura del río Tordera en su parte Sur. Es la playa más grande del municipio con una longitud total de 2400m. Actualmente tiene un comportamiento erosivo que hace que la playa pierda arena año a año dando problemas a las instalaciones que protegía. Estudios anteriores han destacado la dependencia de la playa respecto a la evolución del delta del Tordera (Jiménez et al., 1999; 2002).



Figura 2.1. Situación de la playa de s'Abanell en el municipio de Blanes (Girona).

En la figura 2.2 podemos observar la batimetría de dos perfiles de la playa. En ellos se observa como la parte más cercana a la Tordera ha perdido la plataforma que antes tenía

a gran profundidad mientras que los perfiles interiores la siguen conservando. En la parte menos profundidad hasta una cota de unos -15m tienen un perfil parecido por lo que ante los temporales se comportaran de manera similar. Los perfiles más cercanos al rio tienen un escalón importante a una profundidad de -17m mientras que en lo más cercanos a sa Palomera hay que ir hasta una profundidad de -35m para encontrarlo, se situa 1,5km más alejado de la línea de orilla.

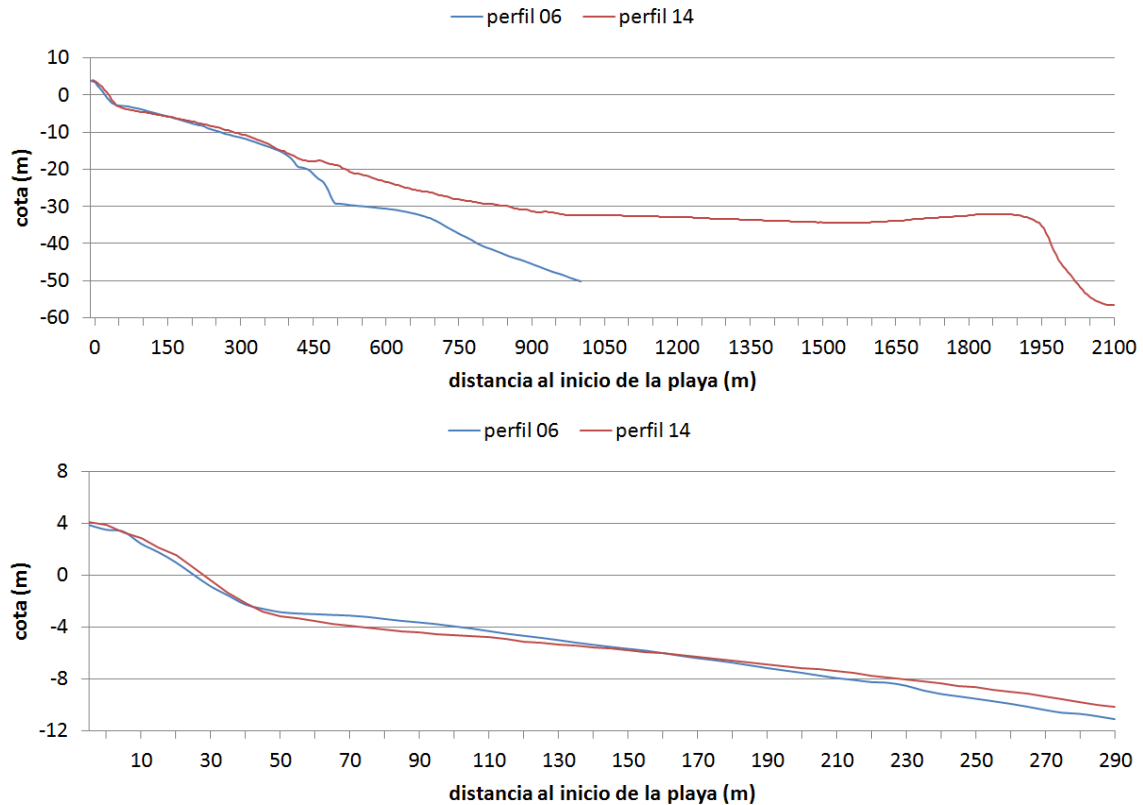


Figura 2.2. Batimetría de dos perfiles de la playa de s'Abanell completa y de la zona de acción del oleaje. El perfil 06 está situado a 600m de la desembocadura del Tordera y el perfil 14 a 1.400m.

En la actualidad la playa se puede dividir fácilmente en tres zonas: (I) Un primer tramo sur junto a la desembocadura del Tordera de unos 600m de longitud (figura 2.3), que sería la parte más natural, con un edificio de la desaladora protegido por una escollera inmediatamente después de la desembocadura encauzada, y una zona de playa con los campings justo detrás de la misma, separados únicamente por una valla. Esta zona también se caracteriza por los nueve pozos de extracción situados en medio de la orilla a lo largo de la misma con una separación de entre treinta y sesenta metros. Tiene otra zona con escollera de unos 50m protegiendo una plaza del camping, sabemos que está prevista su retirada. Esta primera zona acaba con el principio del paseo protegido por otra escollera. En muchas de las zonas protegidas por escollera ya apenas hay ancho de playa.

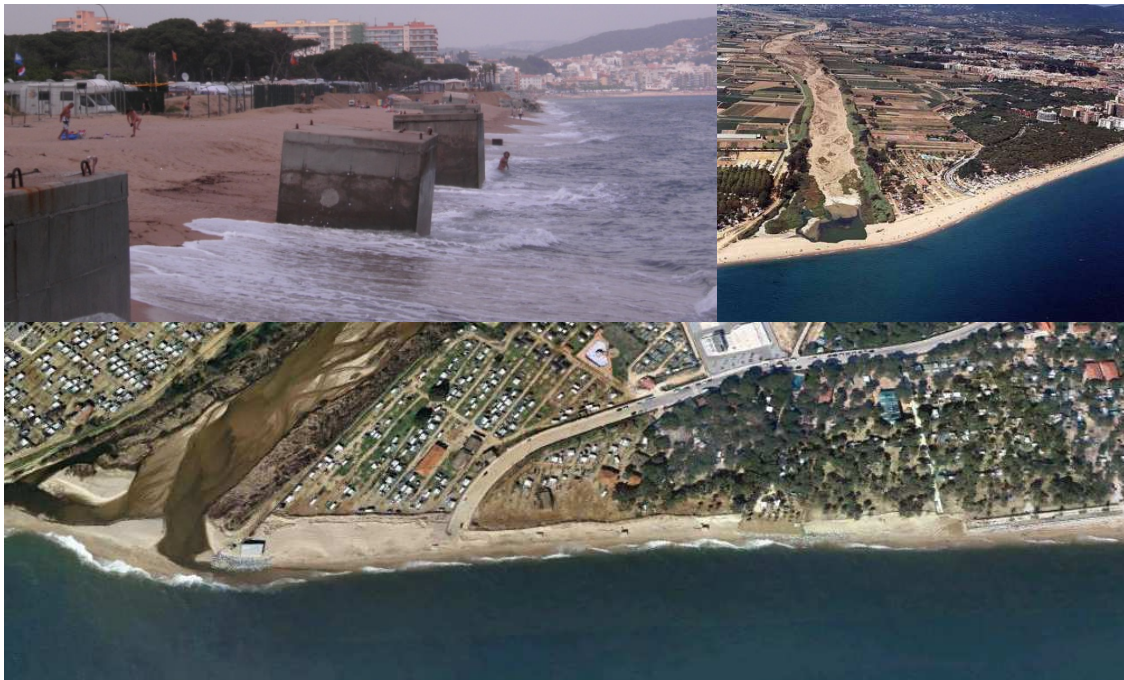


Figura 2.3. Parte Sur de s'Abanell.

(II) Un segundo tramo central (figura 2.4), de unos 400m de longitud, con el hinterland ocupado por un paseo e inmediatamente después por campings y jardines.

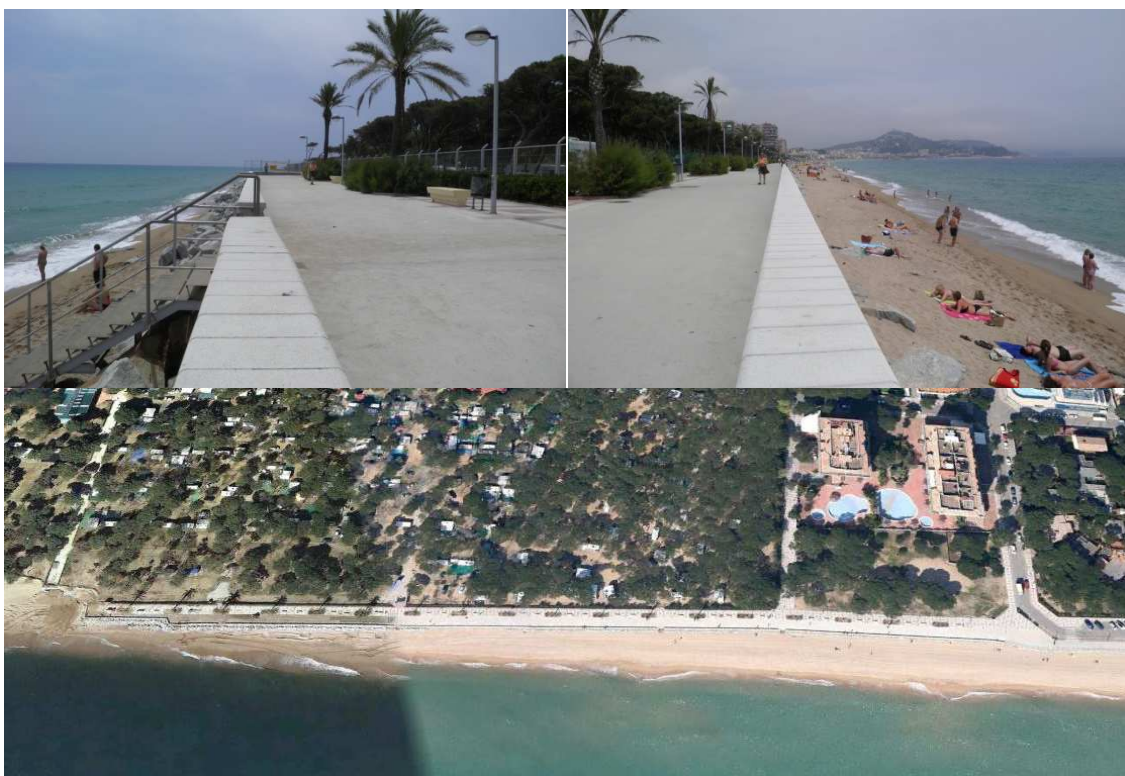


Figura 2.4. Parte Central de s'Abanell.

(III) El tramo norte (figura 2.5) es el más urbanizado de los tres y el que más uso tiene por parte de los bañistas en verano. Además del paseo, tras la playa tenemos un vial y

edificaciones varias a continuación. Este tramo, de unos 1400m, podría subdividirse en otros dos tramos. El primer subtramo cuenta con jardines tras el vial, mientras que el segundo, el que acaba en sa Palomera, tiene zonas de aparcamiento entre el paseo y el vial y toda la acera posterior a la carretera está totalmente urbanizada y edificada. Esta zona norte es la más cercana al núcleo urbano de Blanes y la que más servicios tiene.



Figura 2.5. Parte Norte de s'Abanell.

2.3 Clima de oleaje

El oleaje es el principal agente en la evolución de la playa, es el responsable del transporte longitudinal, del transporte transversal y de la respuesta del perfil en episodios de tormentas.

Clima medio de oleaje

Cabe destacar los oleajes en dirección SSW, NE y NNE, los tres con más de un 8% de frecuencia de presentación cada uno. Claramente el oleaje SSW es el predominante en la zona con una frecuencia de presentación mayor del 16%.

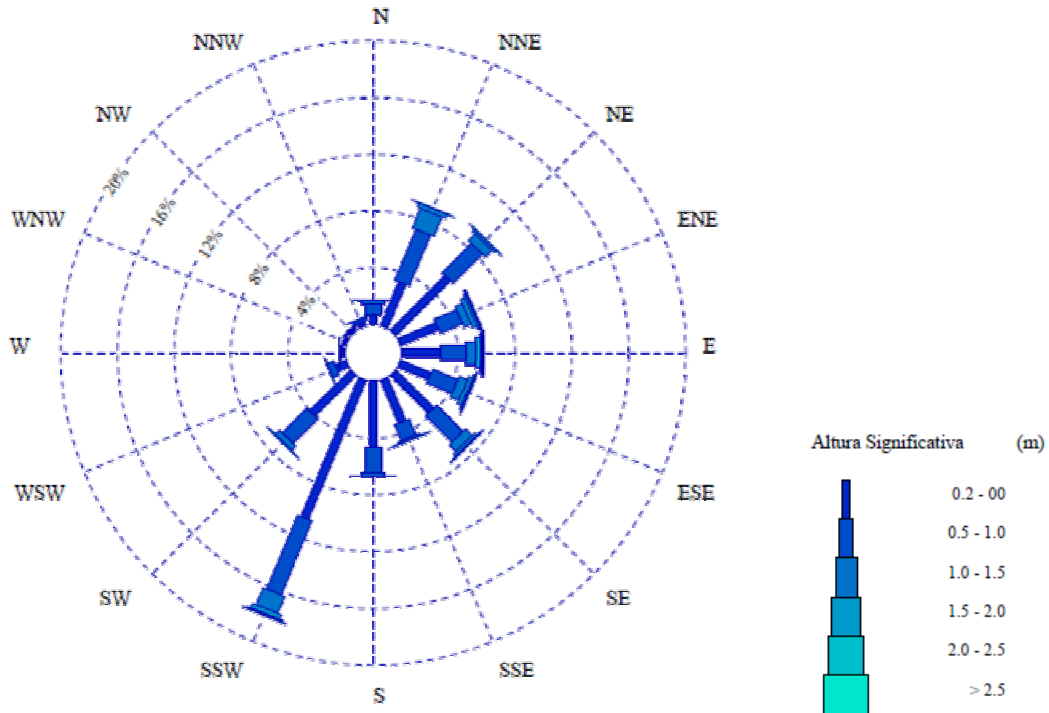
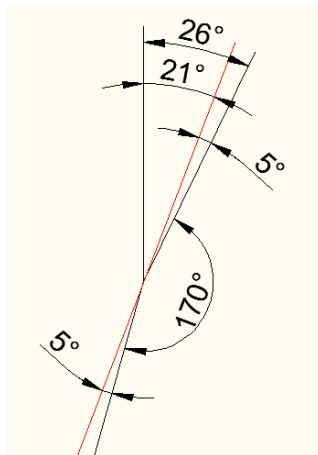


Figura 2.6. Rosa de oleaje de altura significativa correspondiente al periodo 1958-2001.



Dada la orientación de nuestra playa, 21° , nos afectaran los oleajes comprendidos entre las direcciones de 26° a 196° . Por esta razón nos quedaran los últimos 8° del sector NNE, los primeros 5° del sector SSW y todos los sectores comprendidos entre NE y S ambos dos incluidos. En la figura 2.7 podemos observar en rojo la orientación de la playa con el intervalo de 170° de direcciones del oleaje que nos interesa.

Figura 2.7. Orientación de la playa y del oleaje que le afectara.

En la figura 2.8 tenemos representados el periodo pico y la altura significativa del oleaje en frecuencia de presentación. Casi el 90% del oleaje en frecuencia de presentación tiene una altura menor que 1m y un periodo de entre 2 y 8 segundos.

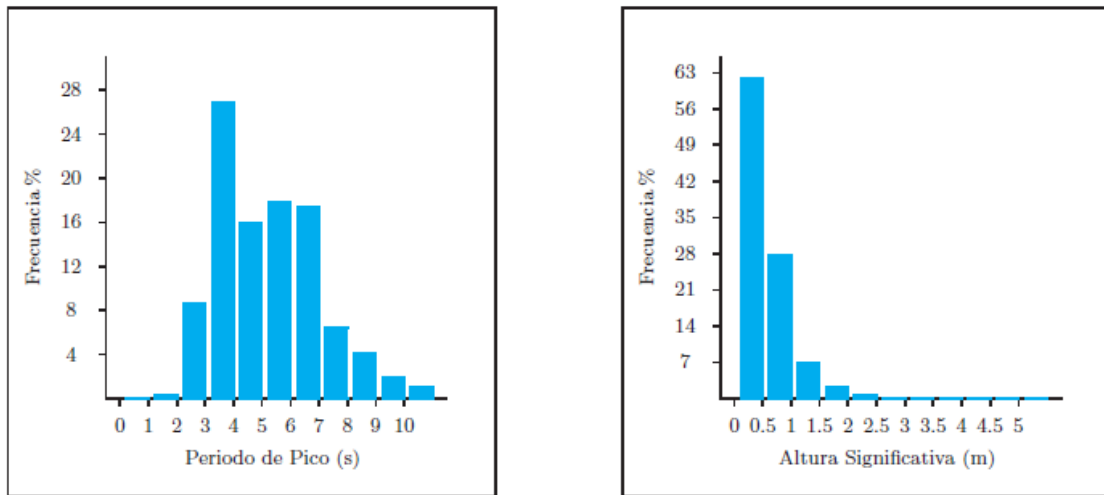


Tabla Periodo de Pico (Tp) - Altura Significativa (Hs) en %

Hs (m)	Tp (s)											Total
	≤ 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	> 10.0	
≤ 0.5	-	0.377	8.369	22.923	11.725	10.097	6.914	1.260	0.302	0.048	0.012	62.027
1.0	-	-	0.260	3.730	3.925	6.839	8.109	2.778	1.644	0.489	0.067	27.841
1.5	-	-	-	0.080	0.297	0.708	2.159	1.569	1.205	0.827	0.179	7.025
2.0	-	-	-	-	0.024	0.029	0.332	0.490	0.579	0.347	0.229	2.029
2.5	-	-	-	-	-	0.003	0.024	0.122	0.227	0.185	0.125	0.687
3.0	-	-	-	-	-	-	-	0.016	0.048	0.104	0.078	0.247
3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.009	0.019	0.047	0.075
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.004	0.033	0.038
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.009	0.010
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.008	0.008
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.012	0.012
Total	-	0.377	8.628	26.733	15.971	17.676	17.538	6.236	4.015	2.025	0.800	100%

Figura 2.8. Periodo pico y altura significativa en frecuencia de presentación

2.4 Problemática

Hemos llevado a cabo una búsqueda de los problemas sufridos por la playa y su hinterland así como de los proyectos, las obras y los estudios realizados de la playa.

La playa de s'Abanell tuvo un primer periodo acumulativo entre 1957 y 1977 gracias a los aportes del río y al retrabajamiento del delta del Tordera (CEDEX, 1979; Jiménez et al. 1999). Aunque la zona sufre una fuerte dinámica litoral del este que provoca que el mayor transporte de sedimento se produzca hacia el sur, alimentando las costas del maresme, la desembocadura del Tordera también alimentaba la costa situada al norte

aunque en menor medida. A partir de finales de los 70 la playa cambia de tendencia y comienza a disminuir el ancho de playa junto con la regresión del delta del río (Jiménez et al., 1999, 2002).

En 1980 se construye un espigón ilegal de canalización de la desembocadura del Tordera para fijar la margen derecha y evitar el desvío del cauce hacia el sur, en 1982 se inaugura el paseo marítimo de Blanes y entre 1983 y 1984 se registran problemas de contaminación en el agua que se solucionan en los años siguientes. No es hasta 1996 que los problemas comienzan a hacerse eco en las noticias (figura 2.9). En esta primera ocasión un temporal hunde parte del paseo.



Figura 2.9. Impacto del oleaje en el paseo (La Vanguardia 3/2/1996).

En 1998 se comienza a tener conciencia de un problema a largo plazo y el Ajuntament de Blanes encarga un estudio al Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM/UPC) en el que se analizaban las causas de los problemas experimentados por la playa y el paseo. El informe (Jiménez et al., 1999) da dos soluciones posibles, alimentaciones de arena periódicas con un coste elevado a largo plazo o la construcción de algún tipo de estructura para impedir la fuga de sedimento en dirección sur además de una alimentación inicial (figura 2.10).

La UPC propone ensanchar la playa para evitar daños en S'Abanell

BLANES

Un informe de la Universitat Politècnica aconseja rellenar la playa con arena y descarta otras soluciones para poner fin a los destrozos que durante el invierno ocasionan periódicamente los temporales en el paseo marítimo



Los temporales de invierno causan a menudo graves desperfectos al paseo marítimo de S'Abanell, en Blanes

blemas que ello supondría para la zona de baño.

El estudio de la Universitat Politècnica considera como menos viables otras soluciones propuestas desde que hace ya algunos años apareció el problema, como la de levantar un dique submarino. Esta posibilidad fue apuntada por el propio Ayuntamiento, que pretendía levantar un muro de 160 metros de longitud en el fondo del mar para frenar el impacto del agua en el paseo de S'Abanell.

Este muro comenzaría en la punta de Sa Palomera y protegería la playa de la acción de los temporales. La UPC considera "menor" el im-

El estudio técnico descarta otras soluciones como levantar un muro submarino frente al paseo marítimo o retrasar éste algunos metros

pacto visual que tendría, pero lo cualifica de inviable porque el bloque impediría el libre movimiento de los sedimentos, creando una especie de embalse cerrado en el que el agua apenas circularía, en lo que técnicamente se denomina una situación de "transporte neto nulo".

Otra solución descartada es el retranqueo del paseo marítimo para

Figura 2.10. Rotura del paseo tras el paso de un temporal junto con la noticia de los resultados del estudio del LIM/UPC (La Vanguardia 3/12/1998).

En el 2001 la Generalitat proyecta construir unas instalaciones para el bombeo de agua marina y su desalinización en el interior de la parte sur, tras alegaciones de diversos grupos políticos del ayuntamiento, la mayor parte de las instalaciones se construirá más al interior de la localidad. El mismo año ya se vuelve a reparar la escollera que se puso para proteger la parte del paseo que se vio afectada anteriormente y la Generalitat da luz verde a la construcción de dos espigones de protección mas para el paseo.

El LIM/UPC realiza en 2002 otro estudio para el Servei de Costas de la Generalitat de Catalunya en el que analiza el problema en las inmediaciones de la desembocadura de la Tordera, con el fin de analizar el efecto de la dinámica litoral sobre la parte interna de la playa. Hemos utilizado datos tanto de este estudio como del anterior.

Los daños continúan en el 2003, con diversos titulares en los que se divulga la falta de arena de la playa en febrero y en octubre otros 40m de paseo quedan destrozados poniendo en peligro un restaurante situado a continuación, como medida de emergencia se refuerza el espigón existente. Este mismo año se inaugura la planta desaladora que finalmente cuenta con una caseta de transformación y nueve pozos soterrados en la parte sur.

La caseta de la desaladora y cinco de los nueve pozos sufren importantes daños y quedan inutilizados por primera vez en 2006 tras el impacto de un temporal. Los problemas y la erosión continúan y en agosto de 2007 la prensa denuncia la falta de arena y la necesidad de una solución (figura 2.11). La situación es insostenible y en diciembre de 2007 se hace una alimentación de 180.000m³ en la parte sur.



Figura 2.11. Parte norte de la playa de s'Abanell con un ancho escaso de arena disponible (La Vanguardia 25/8/2007).

En enero de 2008 la mayor parte del relleno ha desaparecido tras el paso de un temporal. En febrero un informe realizado por el CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) culpa de la falta de arena a las extracciones sufridas por el delta del Tordera y a su canalización. También recalcan que las alimentaciones son una solución a corto plazo como ya se había comentado. Ya en mayo se vuelve a alimentar la playa, esta vez con 144.000m³, en la parte norte de cara al inicio de la temporada de baño. Pese a las alimentaciones los problemas no cesan y en diciembre el mar se vuelve a llevar gran parte de la playa afectando también al paseo y obligando a las administraciones a derribar el bar "Beach Club" tras dejar sus cimientos en una situación insalvable.

En el 2009 los daños en el paseo continúan con el temporal de Sant Esteve en enero. Se lleva a cabo otra alimentación de 250.000 m³ en agosto (en plena temporada turística) a lo largo de 700m en la parte norte.

El mar continua transportando la arena fuera de la playa de s'Abanell en 2010 y en 2011 el Ministerio de Medio Ambiente decide no cambiar la delimitación marítimo terrestre en la zona de los campings (sur), lo que hubiese convertido el terreno en el que están sus negocios en dominio público.

En 2013, después del temporal de primeros de marzo que azoto Cataluña, la prensa se ha vuelto a hacer eco de la desaparición de la arena en la playa a su paso.

Como podemos observar la prensa no se hace demasiado eco del gran problema que sufren los campings con la pérdida de terreno ya que los destrozos en el paseo, una zona mucho más conocida y con un valor material inmediato, acapara las noticias cuando azotan los temporales.

Como hemos podido comprobar los daños más habituales son:

- Inutilización de la desaladora y los pozos de bombeo (figura 2.12).
- Perdida de superficie de los campings y destrozos de las vallas que los limitan (figura 2.12).
- Daños en edificios (figura 2.13).
- Rebase del paseo y el vial anegándolos con arena y agua (figura 2.14).
- Roturas y descalce del paseo marítimo (figura 2.15).
- Falta de superficie de playa para su uso recreativo (figura 2.16).



Figura 2.12. Daños en la parte Sur de la playa de s'Abanell (instalaciones de la desaladora y zona de campings).



Figura 2.13. Daños en edificios.



Figura 2.14. Rebase en la parte Norte de la playa de s'Abanell anegando el paseo de arena.



Figura 2.15. Roturas y descalce en diferentes partes del paseo marítimo de s'Abanell.

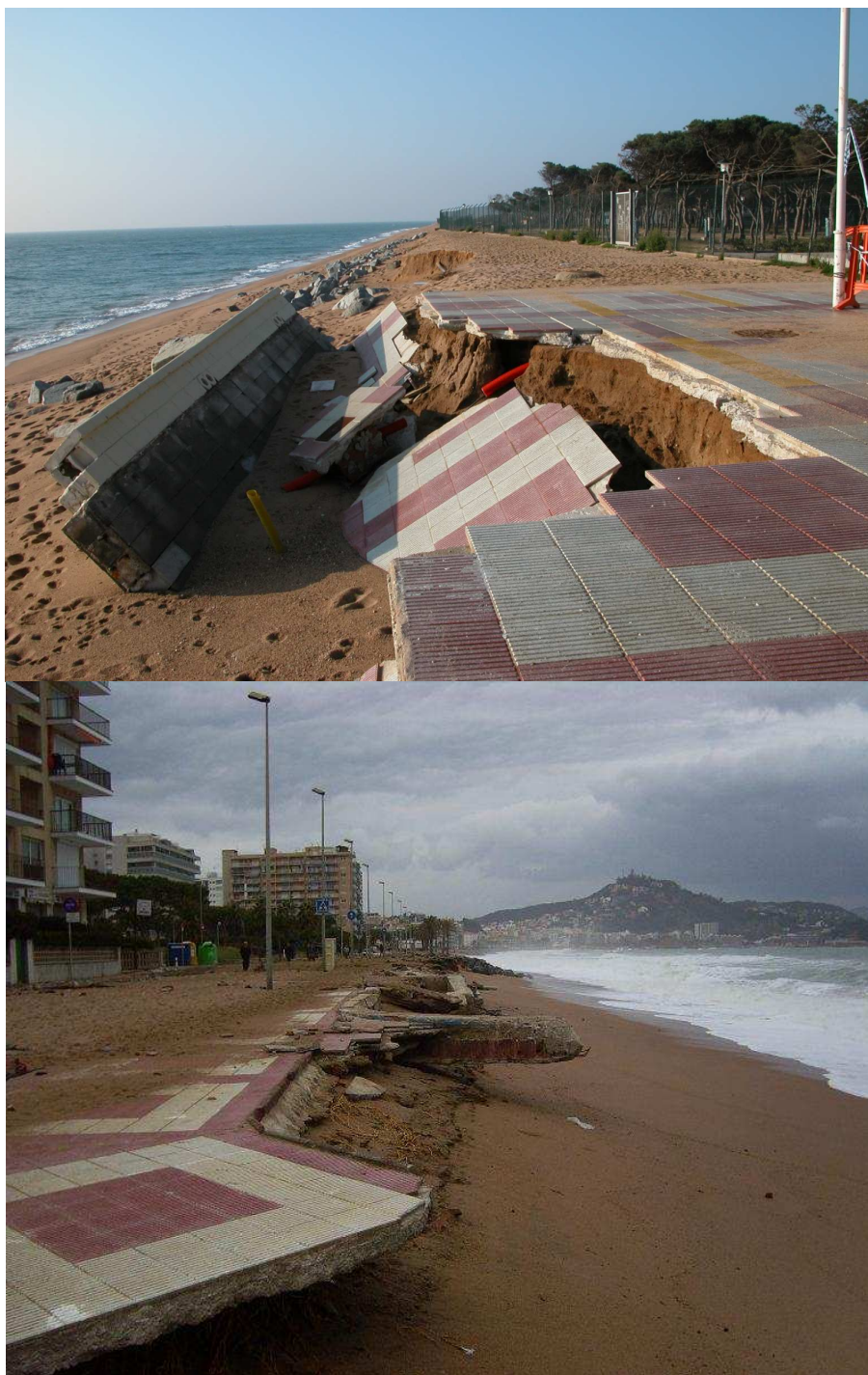


Figura 2.15 (continuación). Roturas y descalce en diferentes partes del paseo marítimo de s'Abanell.

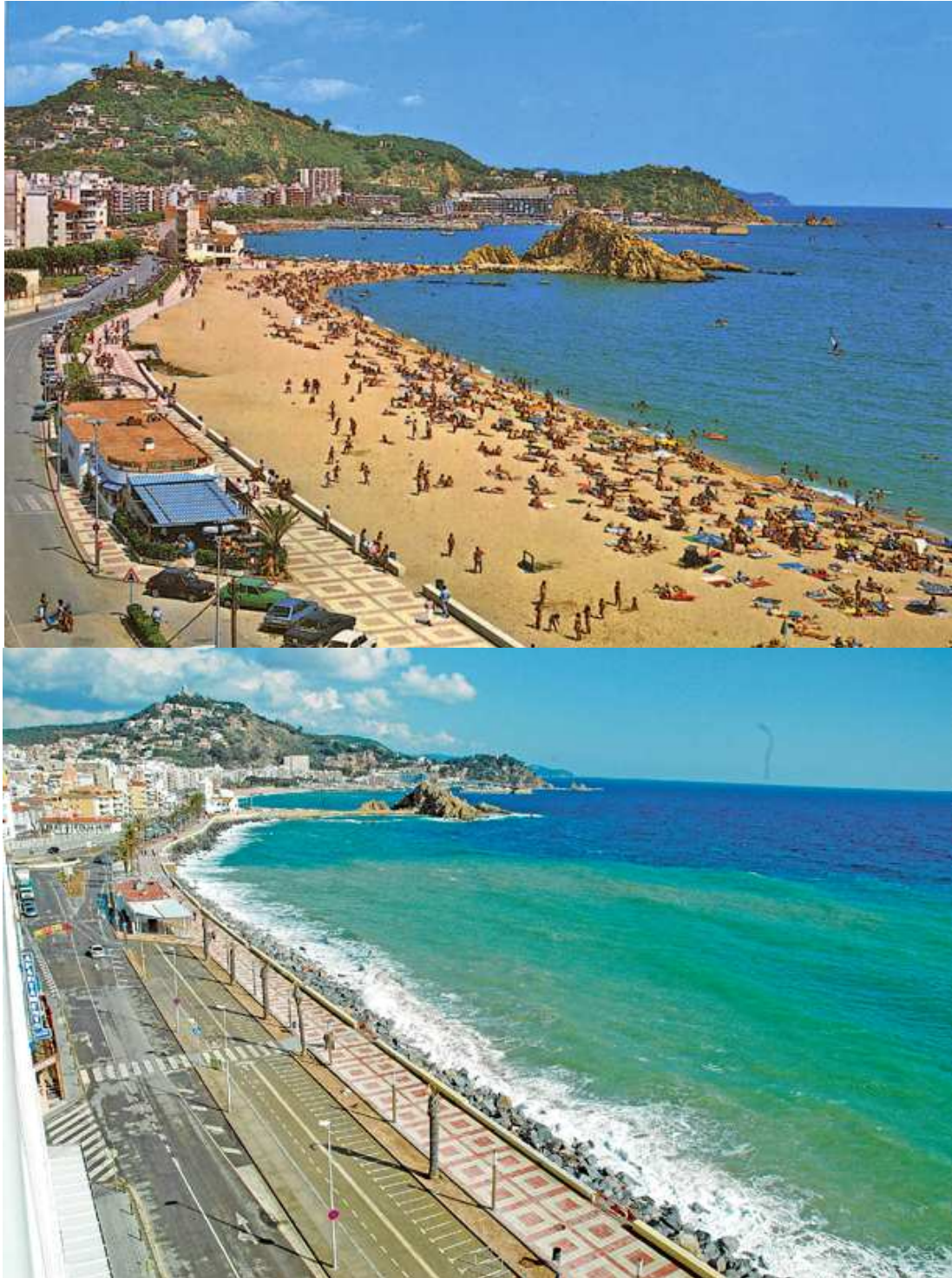


Figura 2.16. Parte Norte de la playa de s'Abanell con y sin arena en diferentes épocas.

Capítulo 3

DATOS Y METODO DE ANALISIS DE LA EVOLUCIÓN COSTERA

3.1 Introducción

En este capítulo describiremos los datos y los métodos utilizados para el análisis de la evolución y la tendencia de la playa de s'Abanell.

3.2 Datos

Para este estudio hemos utilizado una colección de posiciones de la línea de orilla a lo largo de la playa de s'Abanell. La posición se ha obtenido en varios años y de distintas fuentes:

- (I) Líneas de orilla de los años 1957 (escala 1:33.000), 1965 (escala 1:20.000), 1973 (escala 1:30.000), 1977 (escala 1:20.000) y 1988 (escala 1:12.000). Fotografías aéreas digitalizadas, georeferenciadas en coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) por el CEDEX (Septiembre, 2001).
- (II) Líneas de orilla correspondientes a Junio de 1995 y Junio de 1997. Levantamientos topo-batimétricos realizados por Hidrocarsa para la Dirección General de Costas.
- (III) Líneas de orilla de los años 2000, 2004 y 2006. Fotografías aéreas realizadas por el Institut Cartografic de Catalunya (ICC) y publicadas en formato digital como ortofotomapas en proyección UTM a escala 1:5.000.
- (IV) Líneas de orilla de diferentes meses de los años 2004, 2005, 2007, 2008 y 2009. Levantamientos topográficos realizados en la playa con GPS diferencial por el LIM-UPC.

3.3 Precisión de los datos

Al usar líneas de orilla como origen de datos no nos podemos olvidar del error asociado que pueden tener estos datos de partida. El error posible de los mismos determinará el rango de validez de los resultados, ya que en ocasiones el error asociado puede tener una magnitud mayor o similar a la variación real de la costa.

En la determinación de la línea de orilla de las fuentes seleccionadas puede haber dos tipos de errores: (I) el de restitución de la foto y que está determinado por la escala de vuelo y el proceso de restitución (ver e.g. Thieler y Danforth, 1994) y (II) el error inherente a la definición de la línea de orilla.

En un análisis de restituciones de líneas de costa realizadas para el litoral catalán a partir de vuelos realizados por el ICC, Bou (1994) estimó que el error planimétrico medio trabajando a una escala 1:25.000 era de 3,5 m. Aceptando la validez de este estudio y considerando que el error es función lineal de la escala de trabajo, hemos calculado que el error asociado a las restituciones del ICC a escala 1:5.000 es de un 1m.

En el caso de las líneas de orilla obtenidas por el CEDEX (1957, 1965, 1973, 1977 y 1988) al no conocer el error asociado al proceso de restitución y dadas las escalas de vuelo les hemos asociado un error cuadrático medio de 2.5m.

Al error ya obtenido le debemos sumar el de la definición de la línea de orilla. La variación del nivel medio del mar, debida a la marea, en el momento de la foto es fácil de calcular si se conoce el perfil topográfico de la zona y la posición del nivel. El error planimétrico, ΔX , provocado por una variación en la cota seleccionada para la línea de costa, ΔZ , sobre un perfil con pendiente $\tan\beta$ sería

$$\Delta X = \frac{\Delta Z}{\tan\beta} \quad (3.1)$$

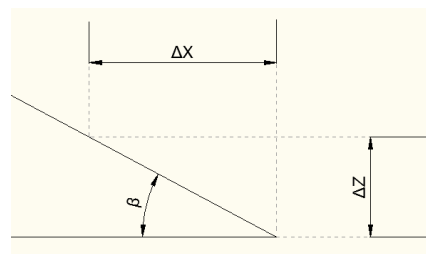


Figura 3.1. Esquema del error asociado a la variación del nivel del mar.

Este problema se agrava cuanto más tendido sea el perfil de la playa porque aumenta el error planimétrico, ΔX , asociado. En el caso de s'Abanell el valor de la pendiente, $\tan\beta$,

es de entre 0.1 y 0.19 (figura 3.2 con dos perfiles medios representativos de la playa), bastante pronunciados dado que se trata de una playa de arena gruesa. Tomando una variación vertical del nivel del mar de 0.25m (marea astronómica típica del litoral catalán), la indeterminación horizontal en la línea de orilla asociada a la posición del nivel del mar estaría en torno a los 2,5m y 1,3m.

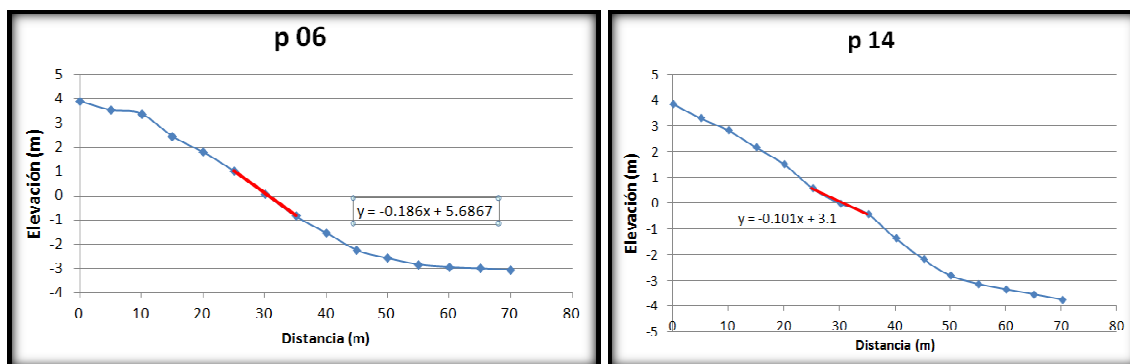


Figura 3.2. Perfiles 6 y 14 de la playa de s'Abanell.

El efecto de la marea meteorológica también es una variable a considerar en la toma de datos. Dado que los vuelos de las fotos aéreas consultadas se han tomado en verano, temporada con menor probabilidad de presentación de mareas meteorológicas, supondremos que no han afectado a la toma de datos de forma significativa.

Los errores acumulados totales (tabla 3.1) dan un orden de magnitud de la precisión final de los datos de líneas de orilla utilizadas.

Fecha	Fuente	Error (m)
1957-88	Foto aérea	± 5,0 (2,5+2,5)
1995	Topografía	± 3,0 (0,5+2,5)
1997	Topografía	± 3,0 (0,5+2,5)
2000	Ortofoto	± 3,5 (1+2,5)
2004	Ortofoto	± 3,5 (1+2,5)
2006	Ortofoto	± 3,5 (1+2,5)
2004-09	GPS	± 3,0 (0,5+2,5)

Tabla 3.1. Errores acumulados en la posición de la línea de orilla.

3.4 Método de análisis de la línea de orilla

Teniendo todas las líneas de orilla disponibles pasaremos a definir una línea de control a lo largo de la playa, de sur (desembocadura del Tordera) a norte (sa Palomera). Dividiremos esta línea en tramos para tener unos puntos de control a lo largo de la playa (figura 3.3). En nuestro caso la hemos dividido en 24 tramos de 100m lo que nos daría 25 puntos de control (el 25 es sa Palomera por lo que no tendrá variaciones).



Figura 3.3. Puntos de control a lo largo de la playa de s'Abanell.

En cada punto de control mediremos la distancia desde la línea de orilla al mismo para cada fecha. Los puntos de control están situados al comienzo de la playa para que la distancia medida coincida con el ancho de playa disponible en cada punto. Cada línea de orilla nos dará una distancia con una fecha determinada por lo que tendremos 24 series temporales con las que obtener unas tasas evolutivas.

Para obtener las tasas de evolución existen varios métodos dependiendo de los objetivos que se persigan y los datos de los que se disponga (e.g. Dolan et al. 1991; Fenster et al. 1993). Para nuestro caso tendríamos principalmente dos métodos distintos: el método de incremento neto, EPR (End Point Rate en ingles) y el de regresión lineal, LR (Linear Regresion).

El método de incremento neto, EPR, solo utiliza dos posiciones de la línea de orilla para obtener la tasa evolutiva, generalmente la posición inicial y final, despreciando todas las fluctuaciones intermedias. Es útil para estimar el desplazamiento sufrido por una costa ya que desprecia las variaciones intermedias que no nos interesan, sin embargo para predecir la evolución de un tramo costero nos interesaría que tuviese en cuenta esas variaciones si son significativas, por lo que si lo fuesen no sería un buen método.

Por otro lado el método de regresión lineal, LR, usa todas las posiciones de la orilla a lo largo del tiempo y mediante una regresión lineal por mínimos cuadrados obtiene la tendencia de dicho periodo. Su ventaja es que desecha pequeñas oscilaciones pero tiene en cuenta posibles variaciones a lo largo del tiempo. Su desventaja es que nos dará estimaciones sesgadas si los datos están mal condicionados, aunque el EPR también lo haría.

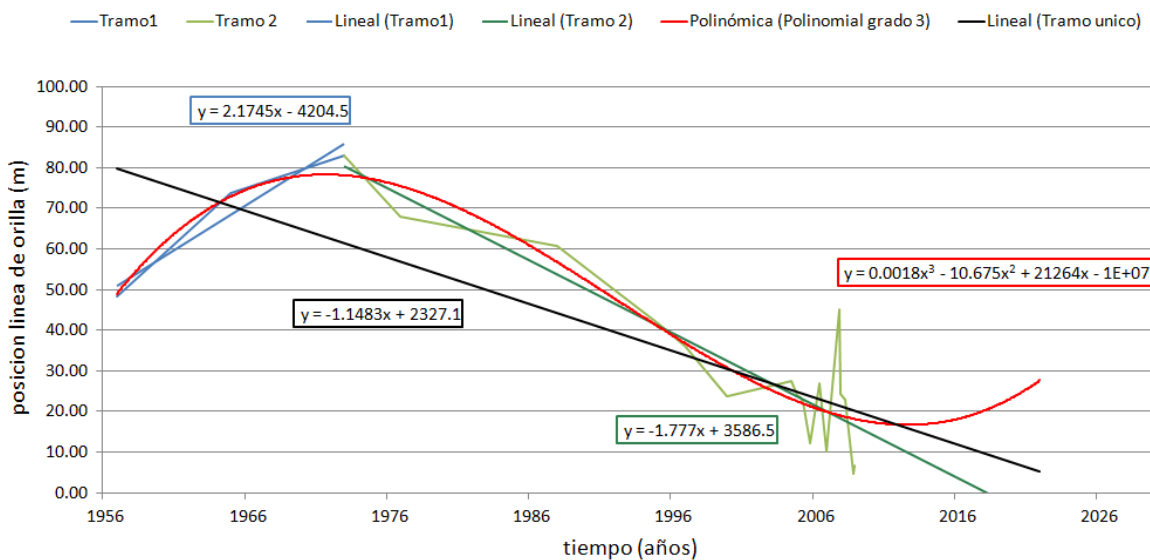


Figura 3.4. Estimación de la tasa de evolución mediante LR en dos tramos, LR en tramo único y un ajuste no lineal (grado 3).

A lo largo del tiempo puede ocurrir que la tendencia evolutiva de la costa tenga tramos diferenciados con tendencias contrarias o muy diferenciadas. Esto se debe a una afectación relevante del tramo costero, como puede ser la construcción de un espigón o

el cese de aportaciones continentales. En estos casos se podrían usar modelos no lineales para predecir la tasa evolutiva, aunque ello puede llevar a un problema de sobreajuste (“overfitting” en ingles). Por lo que consideramos que el método LR es el mejor para nuestro caso.

Por ello usaremos el método LR separado en diferentes tramos para que se aprecien las distintas fases evolutivas de la playa (figura 3.4).

Conviene recordar ahora los errores acumulados estimados en el apartado 3.3. Estos errores nos impondrán unas tasas evolutivas mínimas de la costa. Solo si las tasas que obtengamos en el estudio son mayores que estas tasas evolutivas mínimas (tabla 3.2) podremos estar seguros de que la línea de orilla ha variado su posición en el tiempo. Podemos observar en la tabla 3.2 como manteniendo el error y aumentando el periodo de tiempo la tasa mínima disminuye, lo que significa que a mayor periodo de tiempo estudiado más preciso será el estudio. Estos valores se han calculado con los errores máximos de los datos asociados para poder verificar incluso la toma de datos más desfavorable. Si volvemos a observar la figura 3.4, de un perfil de la zona media, podemos augurar que con unas tasas de 2,17 m/año para el primer tramo (1957-1973, mayor que $\pm 0,63$ m/a) y -1,78 m/año para el segundo tramo (1973-2009, mayor que $\pm 0,22$ m/a) no tendremos demasiados problemas para superar estos valores mínimos. Estos errores nos vienen bien para recordar que en los valores que obtengamos para la evolución de la línea de orilla en el estudio siempre existirá un error asociado no despreciable. Por ello los resultados de las tasas evolutivas obtenidas no se tendrán que tomar nunca como un valor exacto sino como un orden de magnitud para las mismas manteniendo una banda de confianza sobre y bajo los valores obtenidos.

Intervalo (años)	Error máximo	Tasa mínima
1957-1988	$\pm 10\text{m}$	$\pm 0,32$ m/a
1957-1973	$\pm 10\text{m}$	$\pm 0,63$ m/a
1973-2009	$\pm 8\text{m}$	$\pm 0,22$ m/a
2000-2009	$\pm 6,5\text{m}$	$\pm 0,72$ m/a

Tabla 3.2. Tasas evolutivas mínimas para la validez de las mismas en diferentes intervalos.

3.5 Balance sedimentario

Una vez resueltos los movimientos de la línea de orilla con las tasas evolutivas de cada periodo necesitaremos estimar que volumen de sedimento implica el movimiento de esa línea superficial. Para ello necesitaremos estimar la forma en que varia el perfil de la playa a medida que varia su ancho.

Para estimar el volumen vamos a realizar la hipótesis de que el perfil se desplaza manteniendo la forma. Es decir que para un movimiento ΔY de la línea de orilla tendremos un desplazamiento horizontal igual, ΔY , del perfil (con una forma constante, figura 3.5). Siendo así la variación de volumen, ΔV , la siguiente:

$$\Delta V = \Delta Y (d_c + d_b) \quad (3.2)$$

donde d_c es la profundidad activa y d_b la altura de la berma. Esta hipótesis es válida si el transporte longitudinal es dominante en la zona de estudio, ya que no se podría admitir como hipótesis valida que una zona dominada por el transporte transversal mantenga el perfil. Es muy habitual hacer esta simplificación para modelos de una línea.

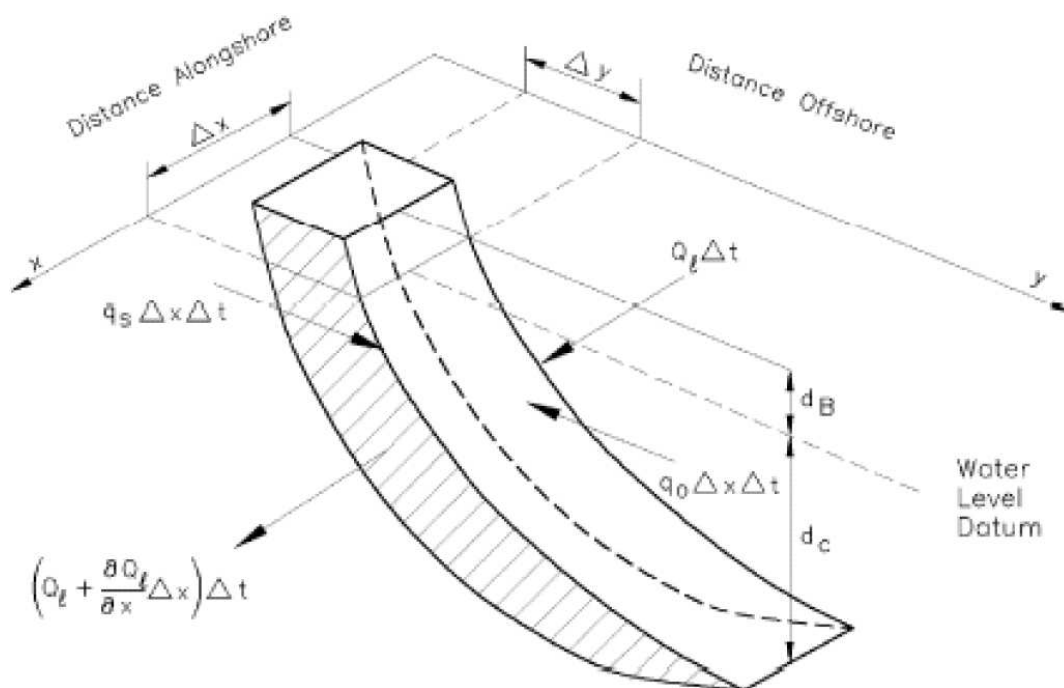


Figura3.5. Representación de una sección de volumen del perfil.

En la simplificación realizada hemos introducido dos conceptos nuevos d_c , la profundidad activa y d_b , la altura de la berma. La altura de la berma es fácilmente medible ya que es la altura hasta la que llega el perfil de playa seca. La profundidad

activa sin embargo es la profundidad hasta la cual se ve afectado el perfil por el transporte longitudinal en la escala de tiempo estudiada, por lo que se encuentra en la parte sumergida del perfil y es más difícil de obtener. Lo ideal sería hacer unos análisis de los perfiles de la playa, a lo largo de un tiempo representativo para la escala de tiempo a usar en el estudio, y tomar la medida media de la profundidad hasta la cual sufre cambios el perfil. Al no tener estos datos, recurriremos a métodos predictivos para la definición de esta profundidad. El método más utilizado es el propuesto por Hallermeier (1981), en el cual deriva una fórmula para estimar d_c en función de la energía del oleaje incidente. El autor asume que el oleaje es el principal modificador del perfil, lo cual se puede admitir para la costa mediterránea a estudio. Dicha fórmula está calibrada mediante un análisis de variabilidad de perfiles de playa de la costa estadounidense.

$$d_c = 2,28 H_s - 68,5 (H_s^2 / g T_s^2) \quad (3.3)$$

donde H_s es la altura de ola significativa y T_s el periodo asociado. Esta altura de ola se corresponde con las olas más energéticas, las que se dan en tormentas, que serán las que tengan la mayor capacidad para mover un sedimento más profundo. Esta H_s está asociada a una probabilidad de no excedencia de 12 h/año. Los coeficientes de la fórmula están ajustados a la costa norteamericana y su validez está demostrada incluso para mayores periodos de tiempo (ver e.g. Nicholls et al., 1998). También se ha contrastado su validez para el litoral catalán (ver e.g. Gracia et al., 1997).

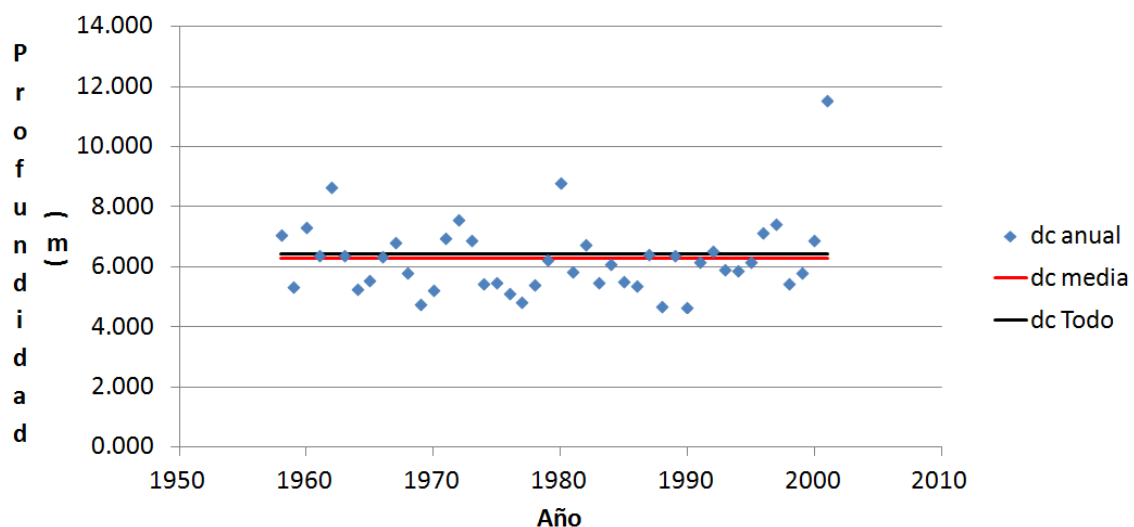


Figura 3.6. Profundidad activa anual, media y de todo el oleaje.

La profundidad activa tiene una enorme variabilidad dependiendo del oleaje que se dé anualmente en la zona, como podemos observar en la figura 3.6 puede variar de un orden de 4,8m, en un año con poco oleaje, a los 11,5m, en otro año especialmente tormentoso. También hemos calculado la d_c correspondiente a todo el oleaje, la cual será mayor que la media, ya que se pone en la peor situación y toma las mayores alturas de ola de la serie total de datos. Por ello utilizaremos la d_c media de todos los años, que es la más representativa.

3.6 Transporte longitudinal

Realizaremos el cálculo del transporte longitudinal de dos maneras diferentes. La diferencia será la fuente de datos que usaremos, en el apartado 3.6.1 usaremos los movimientos y tendencias de las líneas de orillas calculadas hasta ahora y en el apartado 3.6.2 partiremos de los datos de oleaje de la boya de la Tordera.

3.6.1 Transporte longitudinal con tendencias evolutivas de líneas de orilla

El desplazamiento de la línea de orilla por la dinámica litoral a medio plazo es la respuesta morfológica de la playa a la acción del oleaje y las corrientes sobre el sedimento. A ello habría que sumarle las entradas y salidas de material por los contornos.

Estas son las hipótesis que hemos tenido en cuenta hasta ahora para su cálculo:

- I. La tendencia evolutiva de la línea de orilla es representativa a largo plazo (décadas) ya que las fluctuaciones a corto plazo han sido filtradas al estimar las tasas por regresión lineal.
- II. El tramo de costa estudiado está dominado por el transporte longitudinal, dadas las características generales de la zona y su comportamiento a largo plazo.
- III. Hemos utilizado un modelo simple, en el que el perfil de la playa no cambia a medida que se erosiona, se desplaza de forma paralela a la línea de playa sin cambiar de forma. Esto no es del todo cierto ya que las costas erosivas tienden a

disminuir la pendiente mientras que las costas acumulativas tienden a aumentarla. Es la hipótesis de partida de los modelos de una línea.

- IV. Los cambios en el perfil van desde la altura de la berma, d_b , en su parte superior hasta la profundidad de cierre, d_c , en su parte inferior.

Para obtener el transporte longitudinal de nuestro tramo debemos resolver la ecuación de continuidad aplicada al transporte longitudinal de sedimento:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \frac{1}{(d_c + d_b)} \frac{\partial Sl}{\partial y} \quad (3.4)$$

con lo que resolviendo en forma discreta nos queda:

$$Sl_i = Sl_{i+1} - \frac{\Delta x}{\Delta t} (d_b + d_c) \Delta y \quad (3.5)$$

donde $\Delta x/\Delta t$ es la tasa evolutiva, d_b es la altura de la berma, d_c es la profundidad activa e Δy es la distancia entre perfiles de control.

La única incógnita de la ecuación será la distribución de las tasas de transporte longitudinal. Para su resolución necesitamos una condición de contorno, en nuestro caso, la condición de contorno es sa Palomera, en la parte norte, que cierra el perfil hasta una profundidad suficiente como para impedir el transporte longitudinal hacia el norte independientemente de la fuerza del oleaje.

3.6.2 Transporte longitudinal con datos de oleaje

Los datos de oleaje proporcionados, nos dan la capacidad del oleaje actuante en la zona para transportar sedimento longitudinalmente. Este transporte bruto dependerá también de la disponibilidad de sedimento para ser transportado.

Para calcular el transporte longitudinal con datos de oleaje usaremos la formulación de Kamphuis (1991) (3.6), ya que usa más datos (d_{50} , pendiente de la playa y periodo del oleaje) de los cuales disponemos que la formulación del CERC y da mejores resultados, ya que varía con los mismos.

$$Q_s = 7,3 H_{s,b}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} d_{50}^{-0.25} \text{sen}^{0.6}(2 \alpha_b) \quad (3.6)$$

Donde Q_s es el caudal sólido de transporte longitudinal en $m^3/hora$, $H_{s,b}$ es la altura de ola en rotura, T_p es el periodo pico asociado a esa altura de ola, α_b el ángulo de rotura de la misma ola, m_b la pendiente de la playa y d_{50} el parámetro representativo de la granulometría de la arena de la playa.

La pendiente de la playa y el d_{50} los obtenemos directamente de los perfiles de los que disponemos, utilizando una media de la playa. Para la obtención de los datos del oleaje en rotura tendremos que realizar la propagación de oleaje de la boya en aguas profundas.

Para la propagación del oleaje se ha usado el programa informático Matlab con un código propio que usa la Ley de Snell para obtener $H_{s,b}$ y α_b a partir de la altura de ola en aguas profundas, H_0 , el periodo, T_p , y la dirección del oleaje, D_{rm} . T_p no varía en la propagación por lo que es el mismo proporcionado por la boya. Con esta propagación del oleaje disponemos de datos cada 3 horas para un intervalo de 44 años entre 1958 y 2001 ambos inclusive.

4.1 Introducción

En este capítulo analizaremos los desplazamientos sufridos por la línea de orilla, la tendencia que tienen dichas líneas de orilla y los cambios de volumen de sedimento que ha sufrido la playa. Para este análisis se han seguido los métodos explicados en el anterior capítulo.

4.2 Desplazamientos de la línea de orilla

Ya hemos comentado la tremenda variabilidad de la playa de s'Abanell. Tenemos registradas las posiciones de línea de orilla en 20 ocasiones entre 1957 y 2009, lo que significa un intervalo de 52 años. Como se puede observar en la figura 4.1 este conjunto de datos es demasiado grande por lo que lo dividiremos por puntos de control para su análisis.

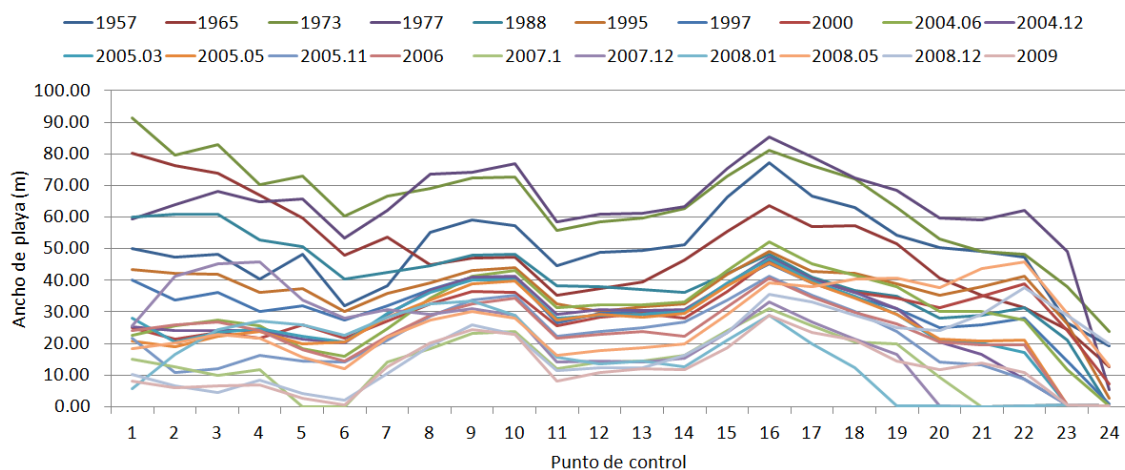


Figura 4.1. Ancho de playa disponible en cada medida y en cada punto de control entre los años 1957 y 2009.

Las medidas tomadas para cada punto de control ponen de manifiesto la gran variabilidad de la línea de orilla registrando de media una distancia de 59m entre su posición más alejada de tierra y la más cercana. Como podemos observar en la figura 4.2 los primeros perfiles, los más cercanos a la desembocadura del Tordera son los que

mayores distancias han recorrido llegando a un total de 86m en el caso del perfil de control p01.

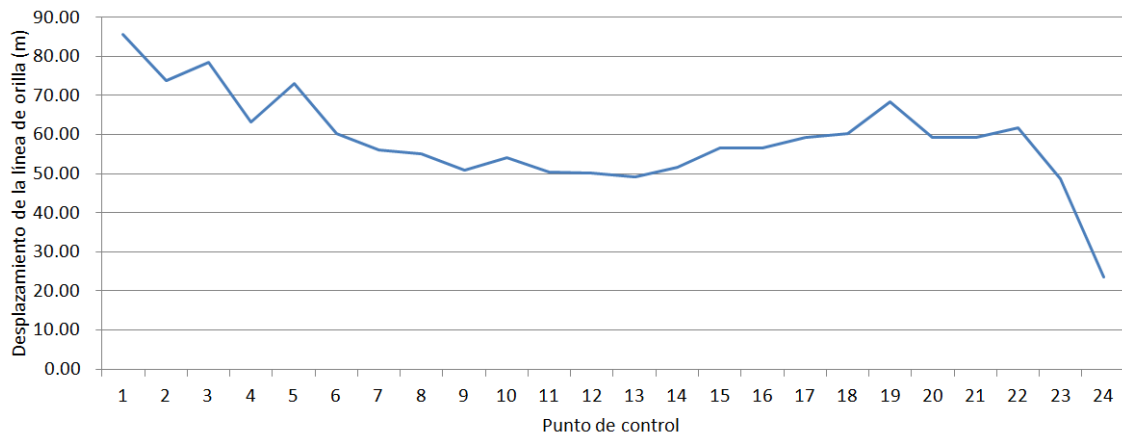


Figura 4.2. Desplazamiento total registrado de cada punto de control durante el periodo analizado 1957-2009.

En la figura 4.3 podemos observar los movimientos de la línea de orilla de los 24 perfiles de control entre 1957 y 2009, así como de las zonas con unos comportamientos similares agrupadas (Sur, Centro y Norte) y de la totalidad de la playa. Se puede observar que existen dos periodos bien diferenciados: un primer periodo acumulativo entre 1957 y 1973 y un segundo periodo erosivo entre 1973 y 2009 como ya se había comentado (Jiménez et al., 1999; 2002). En la primera etapa acumulativa la desembocadura del Tordera alimentaba la playa lo suficiente como para ganar terreno al mar. Esta tendencia cambia en la década de los 70, los perfiles más cercanos al delta del Tordera, del perfil 1 al 7, ya muestran un retroceso a partir de 1973 con el dato obtenido en 1977, el resto de la playa tarda más en percibir este cambio y a partir de 1977 empieza erosionarse junto con la parte sur de la playa. También se ha detectado una aceleración de la erosión en la segunda parte, es decir, en la parte erosiva a partir de 1973 se puede observar como en el primer tramo el movimiento sigue unos movimientos más suavizados mientras que en los últimos cinco años sufre variaciones grandes en un pequeño espacio de tiempo. Este último tramo más caótico es debido a las pequeñas fluctuaciones que supone el aumento de la toma de datos y a dos alimentaciones realizadas en noviembre de 2007 y abril/mayo de 2008. La posición registrada en 2009 es la posición más retranqueada que ha tenido la línea de orilla. También se ha detectado una aceleración de la erosión en la última década. Describiremos los movimientos de la línea de orilla de estos últimos años de forma más detallada.

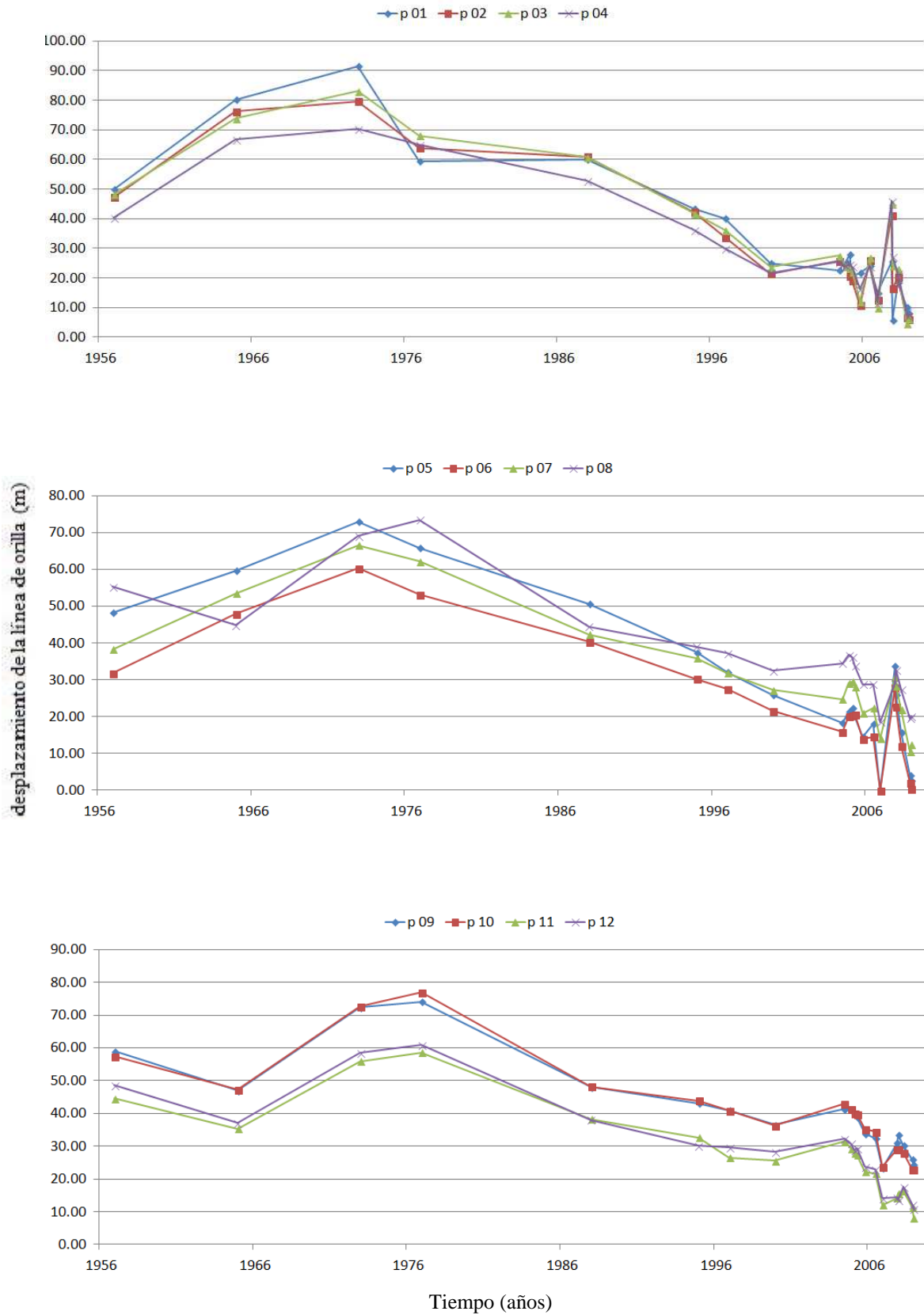


Figura 4.3. Desplazamiento de la línea de orilla medido entre 1957 y 2009. La distancia inicial es la distancia entre el punto de control y la línea de orilla.

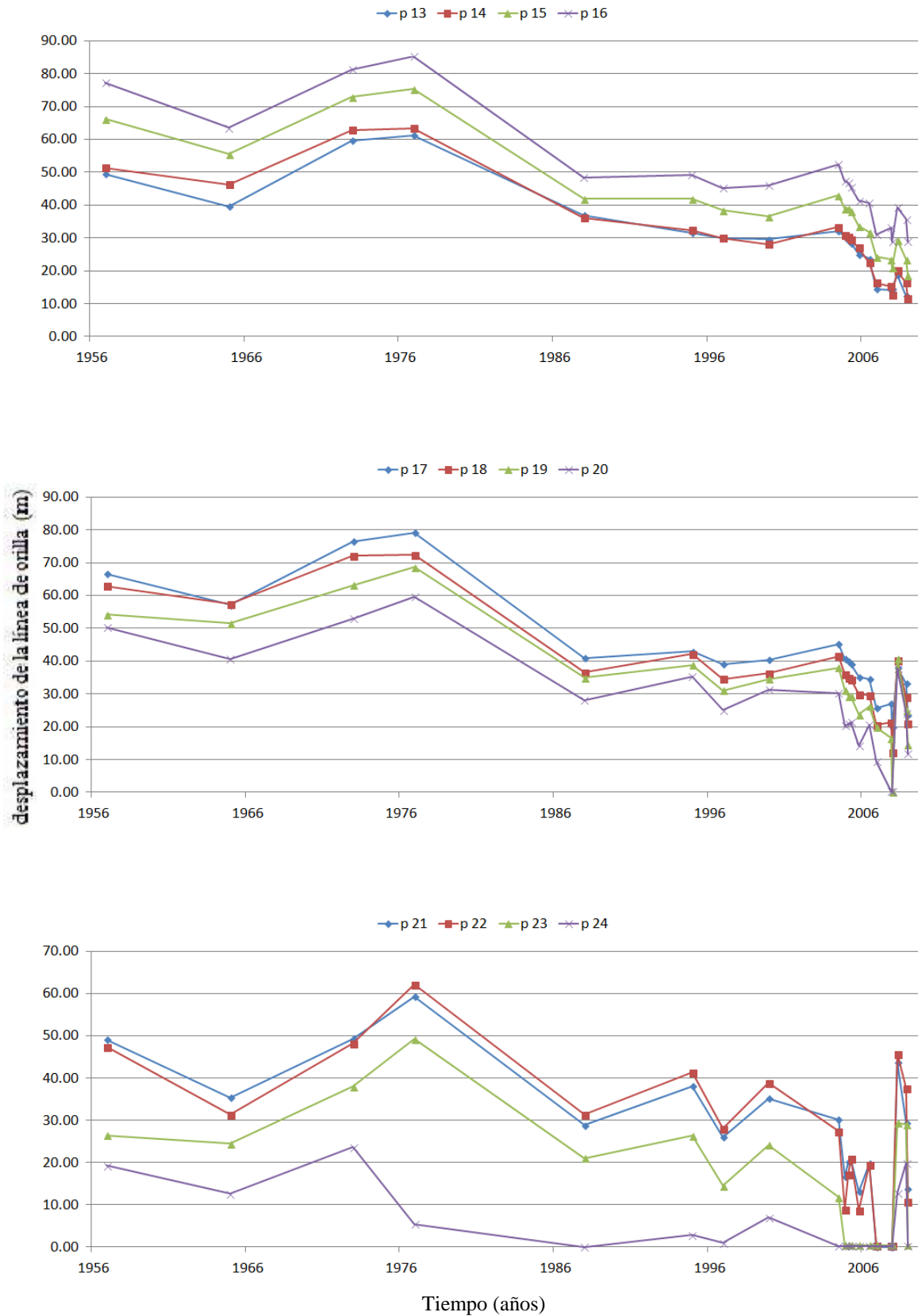


Figura 4.3. (continuación) Desplazamiento de la línea de orilla medido entre 1957 y 2009. La distancia inicial es la distancia entre el punto de control y la línea de orilla.

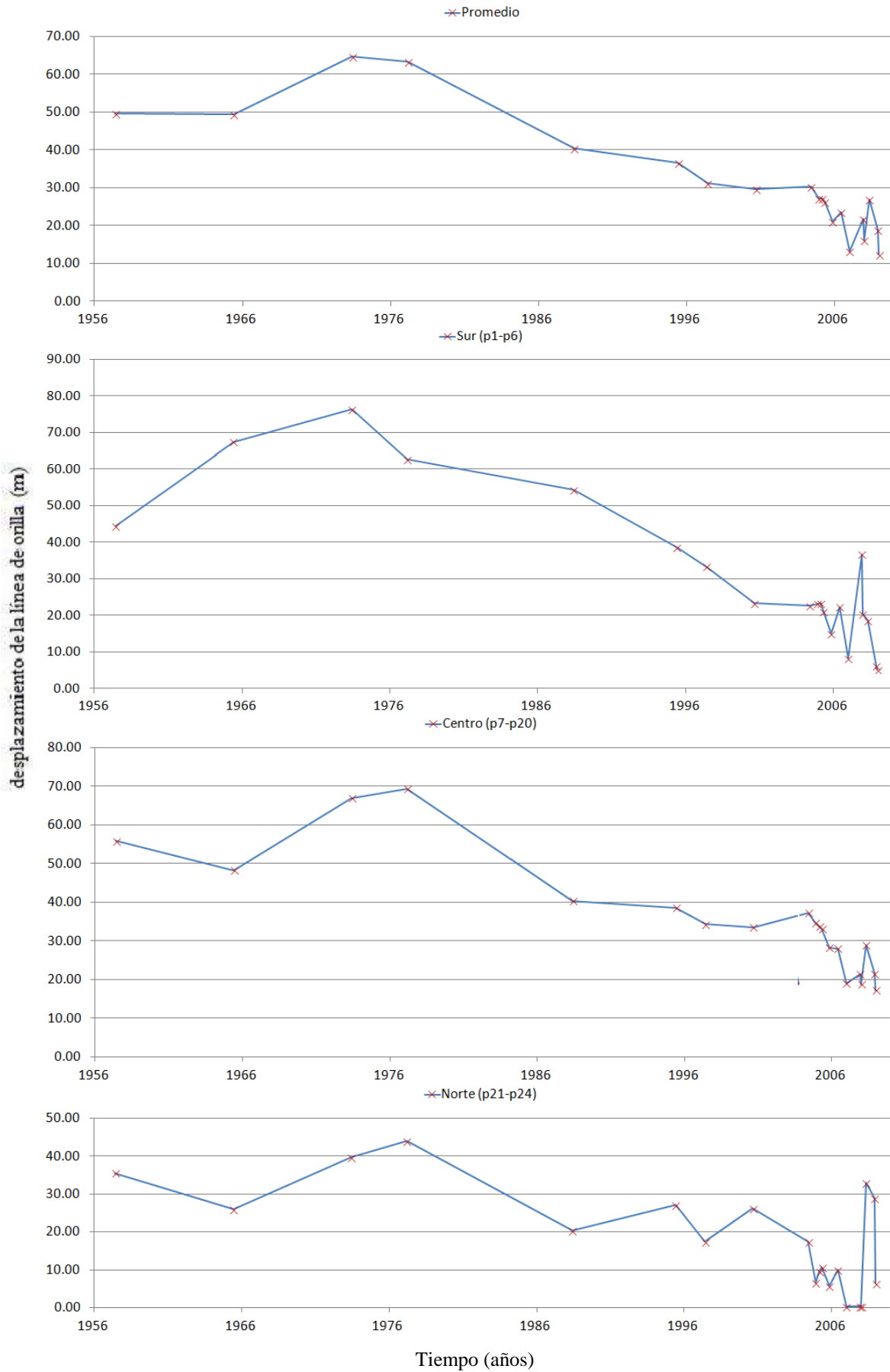


Figura 4.3. (continuación) Desplazamiento de la línea de orilla medido entre 1957 y 2009. La distancia inicial es la distancia entre el punto de control y la línea de orilla.

Aunque el comportamiento de toda la playa es similar, si nos fijamos en la magnitud de la escala de los gráficos nos percatamos de que la parte sur presenta la mayor variabilidad y que la parte norte, aun teniendo menor variabilidad, la que más problemas puede generar, ya que es la que menor ancho de playa tiene disponible (perfiles nº 19 a 24) y en alguna ocasión a partir de 2004 ha llegado a perder toda su playa emergida. Llegados a ese punto las actuaciones de protección del paseo mediante escollera han evitado que el retroceso continúe.

Los desplazamientos presentados conllevan una variación del ancho disponible de playa. En el gráfico 4.3 la magnitud de la posición de la línea de orilla es el ancho de playa disponible en esa fecha, sin representar los retranqueos realizados en la parte sur de la playa.

En esta zona sur de la playa se ha retrasado el límite interior en dos ocasiones. La primera ocasión fue en marzo de 2005 y se desplazó hacia el interior 15m en el primer tramo de playa y 12m en el segundo. En enero de 2007 se extendió el retranqueo al tercer tramo con 10m y al cuarto con 11,8m (figura 4.4).

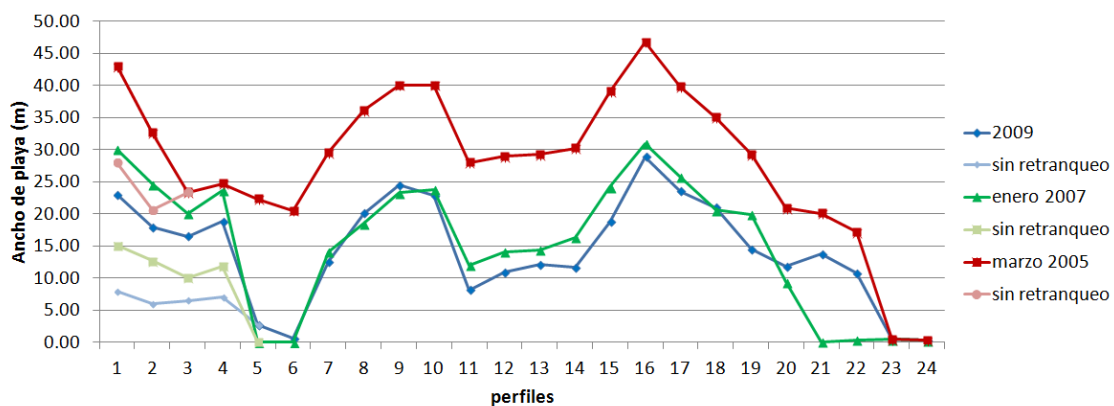


Figura 4.4. Anchos de playa disponibles antes y después de los retranqueos realizados entre los perfiles nº1 y 4.

Hasta 8 de los 24 perfiles han llegado a quedarse sin ancho de playa en alguna ocasión (menos de un metro de ancho), esto significa un 33% de la playa y ha sido más frecuente en la parte norte, dándose en los perfiles nº 5, 6, 19, 20, 21, 22, 23 y 24. Si ampliamos ese margen a los perfiles que han tenido en algún momento menos de 10m de ancho (los anteriores mas el perfil nº 11), nos encontramos con que el 54% de la playa ha sufrido esta situación o la hubiese sufrido si no se hubiese ampliado su ancho de playa (retranqueos realizados en los perfiles 1, 2, 3 y 4).

Como comentamos en anteriores capítulos se han realizado diversas operaciones de alimentación en la playa de s'Abanell. En concreto se han realizado tres operaciones: en noviembre de 2007, abril/mayo de 2008 y agosto de 2009. Describiremos estas operaciones en detalle ya que han dado un resultado peor del que cabía esperar en un principio.

En octubre de 2007 (figura 4.5) la parte sur de la playa había retrocedido hasta dejar menos de 30m de ancho de playa en el primer perfil de control, aunque quedase ancho de playa no quedaba playa emergida ante el edificio de la desaladora, ni tampoco ante algunos pozos de bombeo que habían quedado al descubierto por lo que la Agència Catalana de l'Aigua (Sener, 2007) decide hacer una alimentación en esta zona.



Figura 4.5. Impacto de un temporal en la parte sur de s'Abanell antes de la alimentación (octubre de 2007), alimentación en la parte sur de s'Abanell (diciembre 2007), obras de alimentación en la parte sur de s'Abanell (diciembre 2007) y situación de la parte sur de s'Abanell después de la alimentación y del impacto de un temporal (enero2008).

Fecha	Enero 2007	Diciembre 2007	Enero 2008
Ancho medio de playa (m)	15.3	23.7	18.1
Superficie total de playa (m2)	36,666	56,936	43,501
Δ Superficie de playa (m2)	-	20,270	-13,435

Tabla 4.1. Datos de la alimentación de noviembre de 2007 y posteriores extraídos del análisis de las líneas de orilla.

Dicha alimentación consiste en el vertido de 180.000 m³ de arena a lo largo de los 700m de playa situados junto a la desembocadura del Tordera. Con esta operación entre las

medidas de enero de 2007 y diciembre de 2007 se habían ganado unos 20.270m² de playa (tabla 4.1) principalmente en los primeros 900m de playa (figura 4.6).

Como se puede observar en la segunda fotografía de la figura 4.5 y en el primer gráfico de la figura 4.6 se optó por realizar la alimentación exclusivamente en 700m del extremo sur.

Hay que tener en cuenta que la toma de datos de la línea de orilla pre alimentación es en enero de 2007, once meses antes de la misma, por lo que la playa presentaría una configuración diferente en el momento de la obra y los cambios analizados post alimentación no son debidos en su totalidad a la operación realizada.

En la siguiente medida tomada de la línea de orilla en enero de 2008, al de tan solo un mes, el 66% de la superficie ganada con la alimentación se había perdido en toda la playa. Esta superficie se perdió principalmente entre los perfiles 1 y 7, zona de la alimentación, y entre los perfiles 13 y 20, la zona Norte que ajena a la alimentación del sur de la playa seguía con su tendencia erosiva como se puede observar en la figura 4.6. En la tabla 4.2 se muestra que en enero de 2008 se había perdido respecto a la alimentación 9.285 m² de playa en la parte sur y 4.150m² de playa en la parte norte, por lo que un 44% de la superficie ganada en la zona de la alimentación se perdió en dos meses en esa misma zona. En la figura 4.7 se puede destacar la aparente desaparición del relleno en la segunda fotografía aérea.

Fecha		Enero 2007	Diciembre 2007	Enero 2008
Ancho medio de playa (m)	Sur p01-p12	17.0	34.7	27.0
	Norte p13-p24	13.5	12.7	9.2
Superficie total de playa (m ²)	Sur p01-p12	20,408	41,688	32,403
	Norte p13-p24	16,258	15,248	11,098
ΔSuperficie de playa (m ²)	Sur p01-p12	-	21,280	-9,285
	Norte p13-p24	-	-1,010	-4,150

Tabla 4.2. Datos de la alimentación de noviembre de 2007 y posteriores extraídos del análisis de las líneas de orilla dividiendo la playa en 2 sectores. Una mitad Sur entre el perfil 1 y 12 (zona de la alimentación) y otra mitad Norte entre los perfiles 13 y 24 (resto de la playa).

En esos dos meses paso un pequeño temporal el 16 de diciembre de 2007 con una Hs máxima de 4m pero de poca duración. Este temporal por sí mismo no puede explicar la velocidad con la que desapareció la alimentación. La granulometría del relleno realizado, d₅₀ entre unos 0,3-0,6 mm, al ser más inestable que el existente en la playa,

d_{50} entre 0,9-1,4 mm, o la forma del perfil realizado pudieron ser otras de las razones por las que la zona alimentada se erosiono más del doble que la otra mitad de la playa.

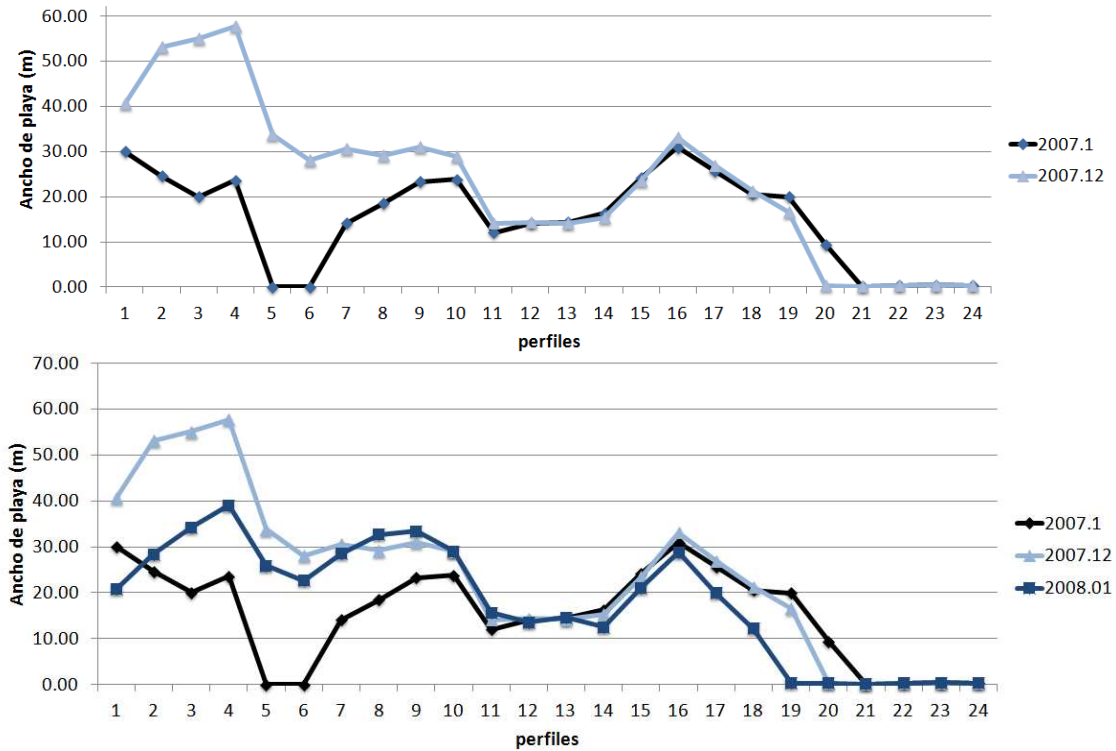


Figura 4.6. Ancho de playa en enero de 2007, en diciembre de 2007 (después de la alimentación) y en enero de 2008 (tras un pequeño temporal y la distribución de la alimentación).

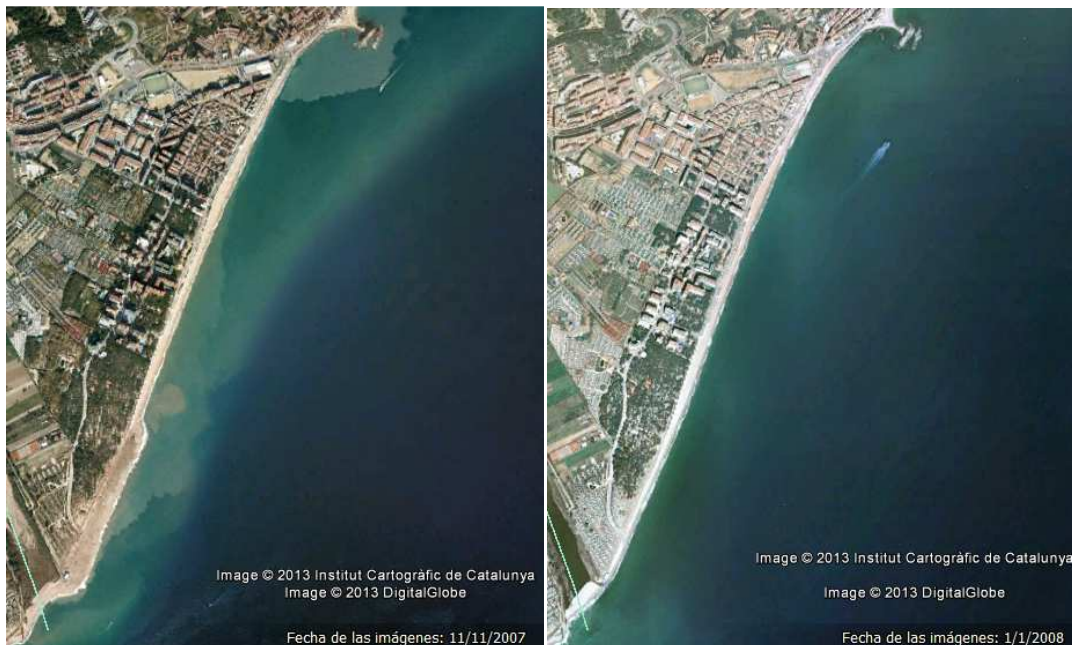


Figura 4.7. Situación de la playa de s'Abanell con la alimentación (11 de noviembre de 2007) y tras el paso de un pequeño temporal y la distribución de la alimentación (1 de enero de 2008).

Entre abril y mayo de 2008 se realizó una segunda operación de alimentación de s'Abanell. Esta vez el relleno se realizó en la parte norte de la playa donde la falta de

arena, ya no quedaba playa emergida, hacia que el mar llegase directamente al paseo y a la escollera que lo protege. En esta ocasión fue la Dirección General de Costas quien realizo la alimentación con 144.000m³ de arena a lo largo de 700m de playa junto a sa Palomera (figura 4.8). La intención con este relleno es recuperar un ancho mínimo junto al paseo marítimo que resulto dañado en diciembre de 2007.



Figura 4.8. Obras de alimentación en la parte norte de s'Abanell (abril de 2008).

Fecha	Enero 2008	Mayo 2008	Diciembre 2008	Enero 2009
Ancho medio de playa (m)	18.1	29.0	20.9	14.4
Superficie total de playa (m2)	43,501	69,720	50,246	34,587
Δ Superficie de playa (m2)	-13,435	26,219	-19,474	-15,659

Tabla 4.3. Datos de la alimentación de abril/mayo de 2008 y posteriores extraídos del análisis de las líneas de orilla.

Con esta alimentación en mayo de 2008 la playa gano 28.460m² de playa seca respecto al dato de enero de 2008 en la mitad norte, aunque la mitad sur de la playa, en el mismo periodo ajena a la alimentación, continuo perdiendo superficie de playa, esta vez 2.241m² (tabla 4.4). En total tras el relleno la playa disponía de 26.219m² más de playa (tabla 4.3), el ancho medio paso de 18,1m a 29m mientras que en la mitad norte paso de 9,2m a 33m. Esta obra se percibió especialmente entre los perfiles 19 y 24 donde en enero de 2008 el ancho medio de estos perfiles era de 0,3m y pasó a tener un ancho medio de 35m en mayo.

Nueve meses después el 28% de la alimentación realizada en la mitad norte ya había desaparecido y una superficie de un orden de magnitud de entorno al 40% de la superficie ganada se había perdido en la mitad sur. En total en diciembre de 2008 la playa había perdido 19.474m² de playa (un 68% de la superficie ganada con la obra) pero sus efectos en la mitad norte se seguían notando donde se conservaba un ancho medio de 26,2m.

Fecha		Enero 2008	Mayo 2008	Diciembre 2008	Enero 2009
Ancho medio de playa (m)	Sur p01-p12	27.0	25.1	15.6	14.9
	Norte p13-p24	9.2	33.0	26.2	13.9
Superficie total de playa (m2)	Sur p01-p12	32,403	30,162	18,767	17,851
	Norte p13-p24	11,098	39,558	31,479	16,736
Δ Superficie de playa (m2)	Sur p01-p12	-9,285	-2,241	-11,395	-915
	Norte p13-p24	-4,150	28,460	-8,079	-14,744

Tabla 4.4. Datos de la alimentación de abril/mayo de 2008 y posteriores extraídos del análisis de las líneas de orilla dividiendo la playa en 2 sectores. Una mitad Sur entre el perfil 1 y 12 y otra mitad Norte entre los perfiles 13 y 24 (zona de la alimentación).

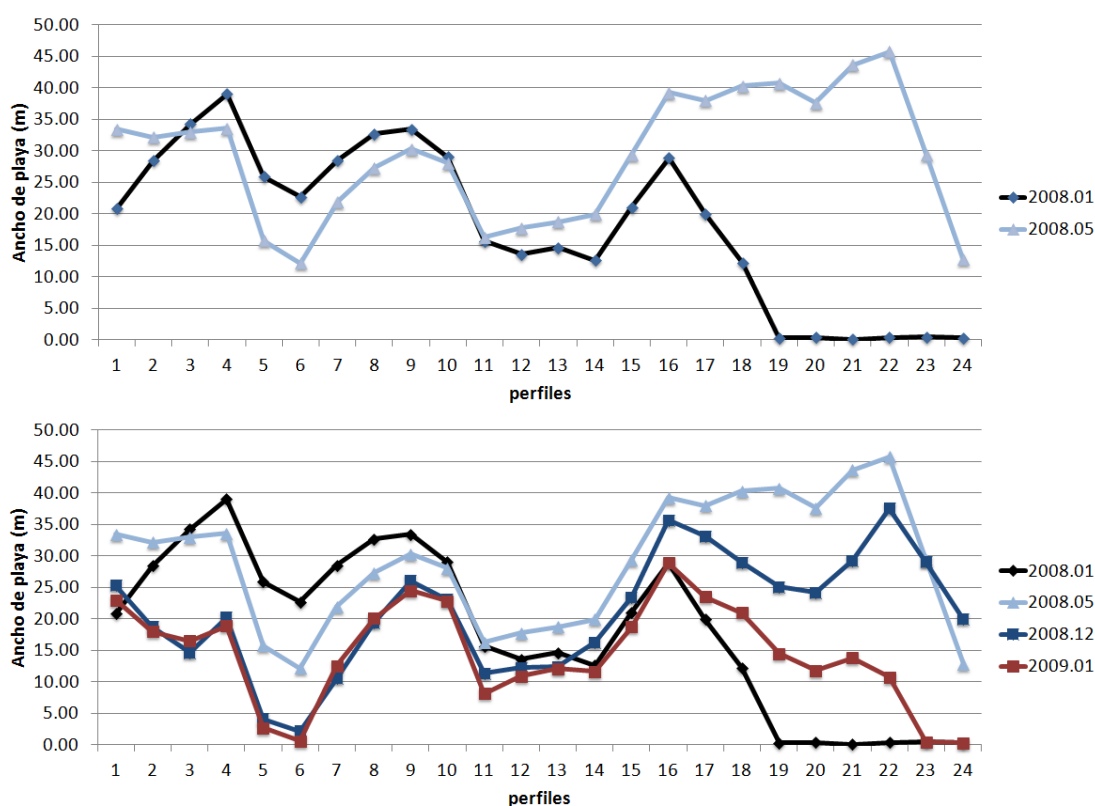


Figura 4.9. Ancho de playa en enero de 2008, en mayo de 2008 (después de la alimentación), en diciembre de 2008 y en enero de 2009 (tras el paso del temporal de Sant Esteve).

Tras el paso en diciembre de 2008 de un temporal de gran intensidad que provoco un rebase masivo en toda la costa norte catalana, en enero de 2009 se habían perdido otros 15.659 m² de playa casi exclusivamente en la mitad norte. Con lo que para esa fecha ya se había perdido un 123% de la superficie ganada en mayo de 2008. Como podemos observar en la figura 4.9 todavía se conservaba parte de la playa emergida ganada entre los perfiles nº 17 y 22, sin embargo el ancho volvió a ser nulo en los últimos dos perfiles (23 y 24). El temporal de Sant Esteve con una Hs máxima de 4,65m y una

duración de 66 horas ($H_s > 2m$) dejó facturas millonarias en la costa de las provincias de Girona y Barcelona.

La última alimentación se realizó en agosto de 2009 (figura 4.10). En esta ocasión el Ministerio de Medio Ambiente realizó una aportación de $250.000m^3$ de arena extraídos del fondo marino de Arenys de Mar. Este aporte era necesario por el impacto en diciembre de 2008 del comento temporal de Sant Esteve que volvió a dejar la parte norte de la playa sin ancho. En esa zona, junto a sa Palomera es donde se realizó la obra, en tramos de 150m para no entorpecer el disfrute de la playa de los usuarios ya que se encontraban en plena temporada turística.



Figura 4.10. Obras de alimentación en la parte norte de s'Abanell (agosto de 2009).



Figura 4.11. Efectos de distintos temporales con roturas en la parte final del paseo (octubre de 2009) y falta de ancho de playa y pérdida de superficie de campings en la parte sur (octubre 2010).

Como en anteriores ocasiones la parte que no recibe la aportación de arena, en esta ocasión la mitad sur, se ha seguido erosionando ajena a la actuación. En octubre de 2009 el mar volvió a destruir treinta metros de paseo en el final del mismo en la parte central de la playa y en octubre de 2010 la prensa se hacía eco de la erosión en el tramo sur (figura 4.11).

4.3 Tasas evolutivas de la línea de orilla

Mediante la regresión lineal comentada en el capítulo 3 hemos obtenido las tasas evolutivas de los diferentes perfiles de control en diferentes épocas. En la tabla 4.5 podemos observar las tendencias de todos los perfiles en su primer periodo acumulativo (1957-1973) y en el siguiente periodo erosivo (1973 en adelante), buscando si hay cambio de tendencia entre los últimos años y todo el periodo y diferenciando entre incluir o no los años con alimentaciones de arena.

Nº perfil	1957-1973	1973-2007	1988-2007	1973-2009	1988-2009	Nº perfil	1957-1973	1973-2007	1988-2007	1973-2009	1988-2009
1	2.6	-1.8	-2.1	-1.9	-2.2	13	0.6	-1.1	-0.6	-1.2	-1.1
2	2.0	-1.8	-2.2	-1.7	-2.0	14	0.7	-1.1	-0.6	-1.2	-1.0
3	2.2	-1.9	-2.1	-1.8	-1.9	15	0.4	-1.2	-0.5	-1.3	-1.0
4	1.9	-1.6	-1.6	-1.4	-1.4	16	0.2	-1.2	-0.4	-1.3	-0.8
5	1.5	-1.8	-2.0	-1.7	-1.8	17	0.6	-1.2	-0.4	-1.3	-0.7
6	1.8	-1.4	-1.5	-1.4	-1.4	18	0.6	-1.2	-0.5	-1.2	-0.7
7	1.8	-1.3	-1.1	-1.3	-1.1	19	0.6	-1.1	-0.6	-1.2	-0.9
8	0.9	-1.3	-0.8	-1.3	-0.9	20	0.2	-1.1	-0.8	-1.1	-0.9
9	0.8	-1.2	-0.7	-1.2	-0.9	21	0.0	-1.1	-1.1	-1.1	-1.0
10	1.0	-1.2	-0.7	-1.3	-1.0	22	0.1	-1.3	-1.5	-1.2	-1.1
11	0.7	-1.0	-0.8	-1.2	-1.2	23	0.7	-1.3	-1.4	-1.1	-0.9
12	0.6	-1.1	-0.7	-1.2	-1.1	24	0.3	-0.4	-0.1	-0.3	0.2

Tabla 4.5. Tasas de desplazamiento de la línea de orilla en metros/año de todos los perfiles de control para los periodos: (I) 1957-1973, (II) 1973-2007, (III) 1988-2007, (IV) 1973-2007 y (V) 1988-2009.

Como se puede observar en las tasas obtenidas el cambio entre el periodo acumulativo hasta 1973 con una tasa media de avance de 0,9 m/año y el erosivo posterior con una tasa media de -1,3 m/año es evidente, comportándose toda la playa con la misma tendencia pero con una magnitud distinta. Se puede observar que las tasas con mayor magnitud se dan en la parte sur de la playa, entre los perfiles nº 1 y 6. Esta zona sur tenía una tasa evolutiva media de 2,0 m/año en el periodo 1957-1973 y pasó a tener unas tasas de -1,7 y -1,9 m/año en los periodos de 1973-2007 y 1988-2007. Esto se debe a que esta zona contigua a la desembocadura del Tordera es el único límite por el que puede entrar o salir sedimento longitudinalmente, ya que en el extremo norte, con sa Palomera, no hay ninguna entrada ni salida de arena. El comportamiento de esta zona ha sido relacionado con el papel del delta del Tordera en el mantenimiento de la playa de s'Abanell (Jiménez et al., 1999; 2002).

La erosión media de la playa ha disminuido ligeramente pasando de -1,3 a -1,0 m/año entre los periodos de 1973-2007 y 1988-2007 respectivamente, al mirar las tasas por zonas podemos observar como la erosión media de la parte central de la playa (perfiles nº 7 al 20) ha disminuido de -1,2 a -0,7 m/año, mientras que en la zona norte (perfiles nº 21 a 24) se mantiene en -1 m/año y en la parte sur (perfiles nº 1 a 6) aumenta de -1,7 a -1,9 m/año (figura 4.12).

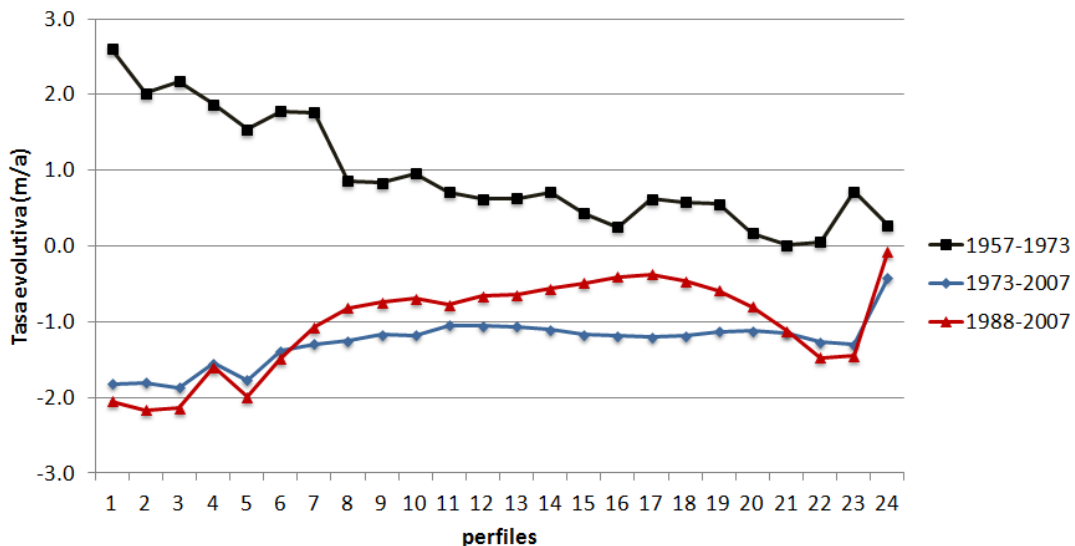


Figura 4.12. Tasas desplazamiento de la línea de orilla de cada perfil para los periodos de 1957-1973, 1973-2007 y 1988-2007.

Se han incluido también las tasas evolutivas obtenidas incluyendo el periodo entre los años 2007-2009, años en los que se han realizado dos obras de alimentación. Estas obras deberían modificar algo la tendencia, sobre todo en el último periodo porque al ser más corto tiene una mayor sensibilidad a unas variaciones iguales. En la figura 4.13 se observa que entre la tendencia de 1973-2007 a 1973-2009 no hay grandes diferencias siendo todos los valores de un orden muy similar. Sin embargo al comparar las tendencias de 1988-2007 y 1988-2009 la tendencia del tramo central aumenta de una media de -0,7 a -1,0 m/año y la parte norte disminuye su erosión de -1,0 a -0,7 m/año, con lo que la tasa de desplazamiento media de toda la playa varía mínimamente de -1,0 a -1,1 m/año. Estos datos chocan con los sucesos ocurridos, ya que tanto las alimentaciones realizadas como el haberse quedado sin ancho en alguna ocasión con lo que era imposible retroceder más tendrían que haber hecho, aunque fuese en una magnitud muy pequeña, que la tendencia mejorara (realmente no mejora la tendencia real sino que se modifica la tendencia calculada al haber utilizado el ancho de playa tras la alimentación). Aunque no lo consiguen en toda la playa si lo hacen ligeramente en los

últimos 4 perfiles de la zona norte, dado que en esa zona se han realizado dos alimentaciones. También queda claro que la mejoría en ese pequeño sector es insuficiente para la totalidad de la playa.

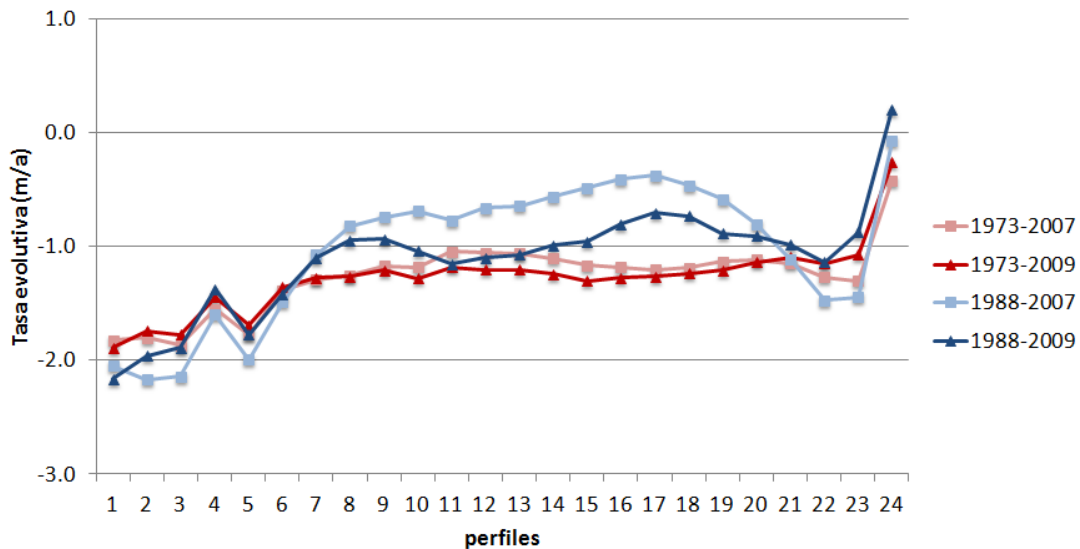


Figura 4.13. Tasas de desplazamiento de la línea de orilla de cada perfil para los periodos de 1973-2007, 1973-2009, 1988-2007 y 1988-2009.

4.4 Transporte longitudinal

A continuación pasaremos a calcular los volúmenes de sedimento transportados mediante transporte longitudinal con los dos métodos explicados.

4.4.1 Transporte longitudinal con tendencias evolutivas de líneas de orilla

Para poder calcular el balance sedimentario de la zona debido al transporte longitudinal como se ha expuesto en el capítulo 3 necesitamos algunos datos más. La altura de la berma es uno de ellos, como disponemos de dos perfiles completos, p 06 y p 14, con una altura de berma de 3,9 y 4,1 m respectivamente, tomaremos una altura media de 4,0 m. La profundidad de cierre calculada de acuerdo a la formulación de Hallermeier expuesta en el anterior capítulo y con los datos de oleaje de la boya de la Tordera nos da una profundidad de 6,3 m.

En la tabla 4.6 se presentan las tasas de incremento de superficie de playa y las tasas de incremento de volumen de sedimento. Estas tasas se han calculado con las tasas evolutivas obtenidas mediante regresión lineal, por lo que estas tasas representan la acción del transporte longitudinal así como de cualquier otro agente que haya actuado en la playa a lo largo de estos años.

Periodo	Δx (m/a)	ΔS (m²/a)	ΔV (m³/a)
1957-1973	0.9	2,272	23,381
1973-2007	-1.3	-3,054	-31,428
1988-2007	-1.0	-2,469	-25,404

Tabla 4.6. Tasas de desplazamiento medio de la línea de orilla (Δx), tasas de incremento de superficie de playa (ΔS) y tasas de incremento de volumen de sedimento (ΔV) para la totalidad de la playa.

Con las tendencias evolutivas expuestas anteriormente y solucionando la ecuación 3.5 del capítulo 3 hemos estimado las tasas de transporte longitudinal neto de sedimento a lo largo de la playa. Para este cálculo consideramos la playa de s'Abanell como un conjunto de 24 celdas con diferentes incrementos de volumen delimitadas en el extremo norte por sa Palomera y en el extremo sur por la desembocadura del Tordera. Sa Palomera actúa como un contorno fijo por el que no entra ni sale sedimento ya que cierra el perfil hasta una profundidad lo suficientemente grande como para impedir el transporte longitudinal, la desembocadura del Tordera sin embargo es un contorno libre por donde el sedimento puede salir cuando la dinámica litoral dominante es sur o entrar cuando es norte.

Usando esta hipótesis y con los valores mencionados para la berma y la profundidad de cierre hemos obtenido las tasas de transporte longitudinal neto de sedimento representativas de los periodos estudiados en la evolución costera. En la figura 4.14 se presentan las tasas de transporte longitudinal neto obtenidas para los periodos de 1973-2007 y 1988-2007. Estas tasas se pueden considerar representativas del esquema evolutivo de la zona a largo plazo y se puede observar cómo van aumentando hacia el extremo sur donde llegan a un orden de magnitud en torno a los 30.000 m³/a. Esta cifra representa la cantidad de volumen que pierde la playa anualmente debido al transporte longitudinal.

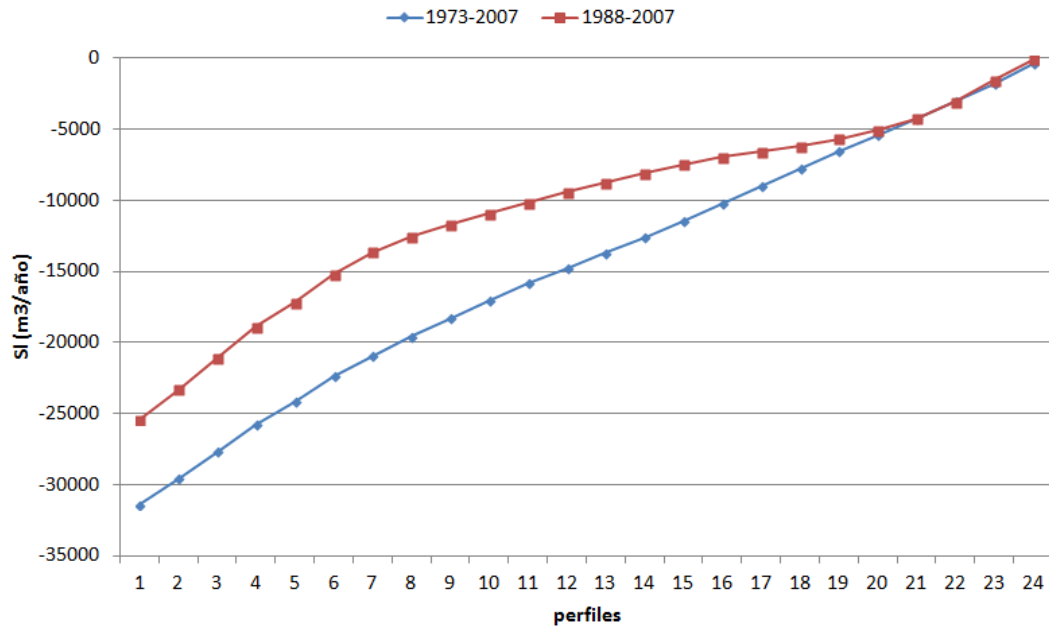


Figura 4.14. Tasas de transporte longitudinal neto de sedimento (valores negativos indican que el sedimento va en dirección sur).

4.4.2 Transporte longitudinal con datos de oleaje

Para obtener la capacidad de transporte longitudinal del oleaje presente en la zona seguiremos la metodología expuesta en el apartado 3.6.2. Para aplicar la formulación 3.6 usaremos una pendiente de la playa media, m_b , de 0,0458 y 0,0364, un d_{50} de 1,4mm, el periodo pico, T_p , de los datos de oleaje de la boya de la Tordera y la altura de ola significativa en rotura, $H_{s,b}$, y el angulo de rotura respecto a la línea de orilla, α_b , de la propagación hasta rotura realizada.

Aplicando estos datos de origen obtenemos la capacidad de transporte longitudinal del oleaje en intervalos de 3 horas. En la figura 4.15 se representa la capacidad del oleaje para realizar transporte longitudinal tanto en dirección norte (perdida de sedimento por parte de la playa) como en dirección sur (ganancia de sedimento en la playa). Podemos observar como el transporte en dirección norte es sustancialmente superior al sur en la gran mayoría de años. También cabe destacar la enorme variabilidad del transporte en dirección norte que en algunos años duplica el transporte longitudinal medio en dirección al Tordera, que es de $100.117 \text{ m}^3/\text{año}$, llegando en un año extraordinario como 2001 a una capacidad de $279.056 \text{ m}^3/\text{año}$ y en otro mínimo como 1977 quedándose en tan solo $37.438 \text{ m}^3/\text{año}$. La media de la capacidad de transporte longitudinal en dirección sur es del orden de la mitad que el norte con $46.303 \text{ m}^3/\text{año}$ y aunque también

varía bastante todos los años presenta una menor variabilidad con una capacidad de transporte longitudinal máxima de 77.324 m³/año en el año 2000 y una capacidad mínima de 23.866 m³/año en 1985.

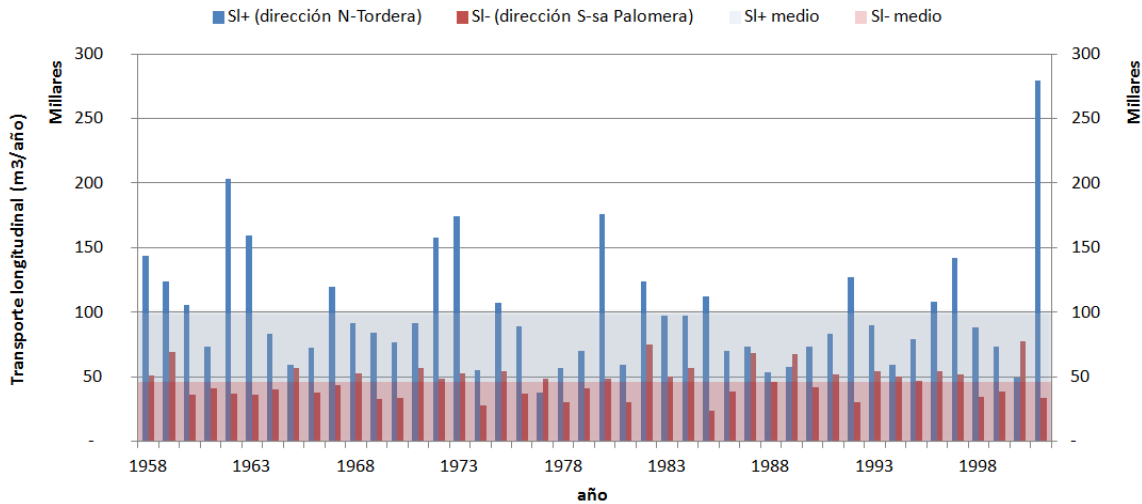


Figura 4.15. Capacidad del oleaje para el transporte longitudinal en la playa de s'Abanell entre 1958 y 2001. Transporte longitudinal en miles de m³/año.

La magnitud que a nosotros realmente nos interesa es la de la capacidad de transporte longitudinal neto, representada en la figura 4.16. Cabe destacar que esta magnitud se ve afectada por la variabilidad de ambas direcciones por lo que sufre mayores cambios. Con una media de 53.814 m³/año la capacidad de transporte longitudinal máxima se da en el año 2001 con 245.377 m³/año, del orden de cinco veces la media anual, y la mínima se da en el año 2000 con -28.248 m³/año. Comprobando la media de cada periodo estudiado en anteriores capítulos (1957-1973 y 1973-en adelante) nos ha salido que la media de la capacidad de transporte longitudinal neto del segundo periodo es ligeramente menor que la del primero (la diferencia se debe a la gran variabilidad del transporte neto y al tamaño pequeño de número de años disponibles para la media), por lo que no se justificaría el cambio de tendencia de la playa con el oleaje.

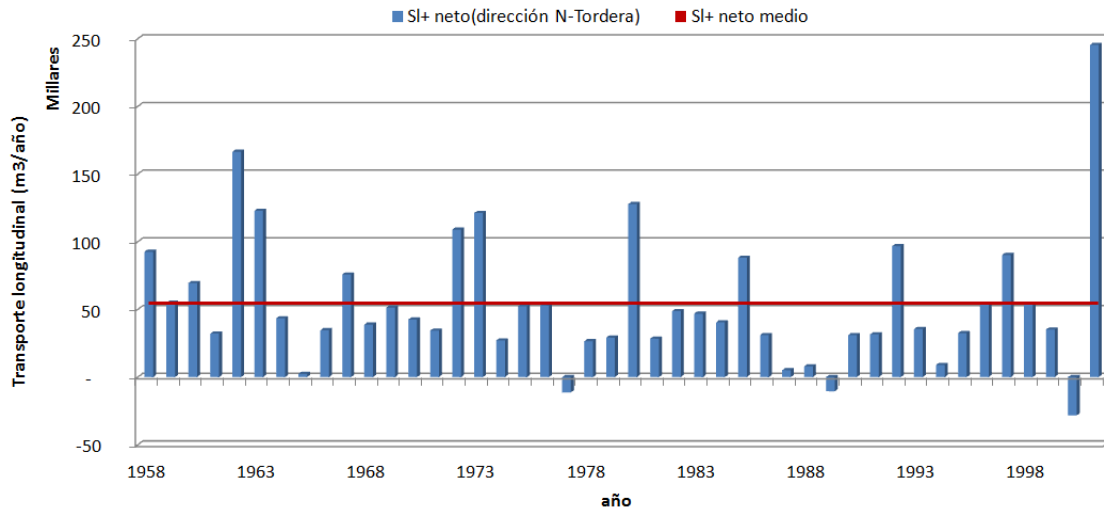


Figura 4.16. Capacidad del oleaje para el transporte longitudinal neto en la playa de s'Abanell en dirección norte entre 1958 y 2001. La media está representada con una línea roja. Transporte longitudinal en miles de m³/año.

Hay que tener en cuenta que los resultados de este análisis son la magnitud de la capacidad de transporte neto del oleaje que es en torno a los 50.000 m³/año, por lo que el resultado reflejado después en el movimiento de la línea de orilla depende de más variables, como el aporte de sedimento del río y el transporte transversal debido a tormentas.

Capítulo 5

EROSIÓN POR EL IMPACTO DE TORMENTAS

5.1 Introducción

En este capítulo caracterizaremos el oleaje extremal de la zona y calcularemos el retroceso de la costa causado por el impacto de una tormenta, tanto para las condiciones de oleaje del clima extremal como para condiciones de oleaje registradas.

5.2 Caracterización extremal del oleaje

La caracterización del oleaje extremal la hemos realizado mediante el método de máximos anuales. De entre las diferentes distribuciones extremales (ver e.g. Mathiesen et al., 1994), hemos escogido una distribución Weibull triparamétrica, que tiene la siguiente función de distribución:

$$F(H) = P(H \leq H_i) = 1 - \exp \left(- \left(\frac{H-A}{B} \right)^C \right) \quad 5.1$$

donde A, B y C son parámetros de ajuste.

El primer paso es ordenar la relación de datos en sentido decreciente de altura de ola significativa para asignarle una frecuencia de presentación. Para la distribución Weibull esta frecuencia se puede calcular de acuerdo con el método de Goda (1988) o de Petrauskas, nosotros hemos optado por el primero que es más frecuente y nos ha dado mejores resultados

$$F(H_i) = P(H \leq H_i) \approx 1 - \frac{i-0.2-0.27/\sqrt{C}}{n+0.20+0.22/\sqrt{C}} \quad 5.2$$

donde i es el número de orden de cada dato y n el número total de observaciones.

A continuación se ajusta la función elegida con las probabilidades resultantes buscando un error cuadrático mínimo. Así obtenemos la función de distribución de la figura 2.8 con el siguiente valor para los parámetros de ajuste: A=3,2 B=0,5 C=1,2

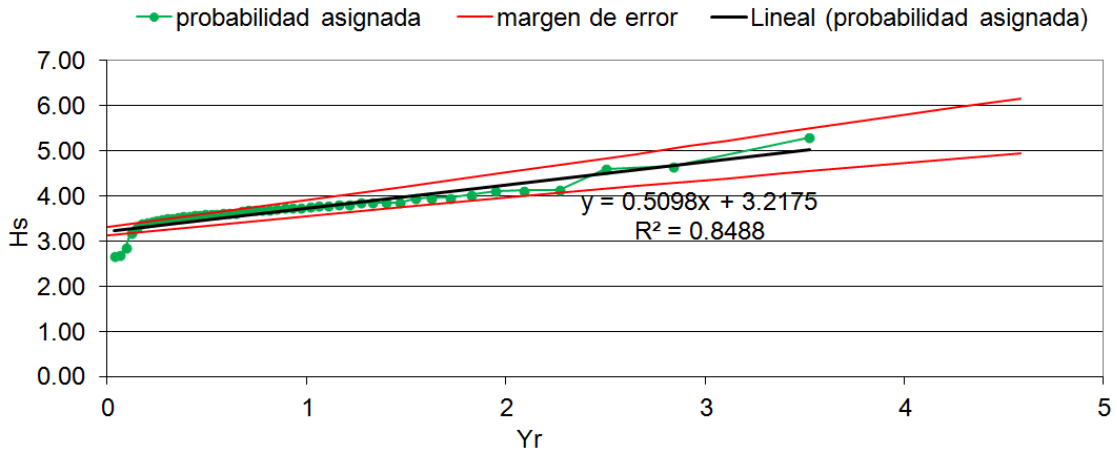


Figura 5.1. Ajuste de la distribución elegida a la probabilidad asignada a los datos mediante una transformada Yr.

Con el ajuste realizado se pasa a buscar la distribución en términos de periodo de retorno. El periodo de retorno es el intervalo medio de tiempo entre eventos sucesivos con una altura de ola igual o superior a una altura de ola significativa (una ola con periodo de retorno de 25 años es esperable que de media sea igualada o excedida una vez cada 25 años).

Dirección	$K\alpha$
N	0.69
NNE	0.85
NE	0.54
ENE	0.95
E	1.00
ESE	0.96
SE	0.68
SSE	0.36
S	0.38
SSW	0.54
SW	0.50
WSW	0.44
W	0.36
WNW	0.35
NW	0.46
NNW	0.48

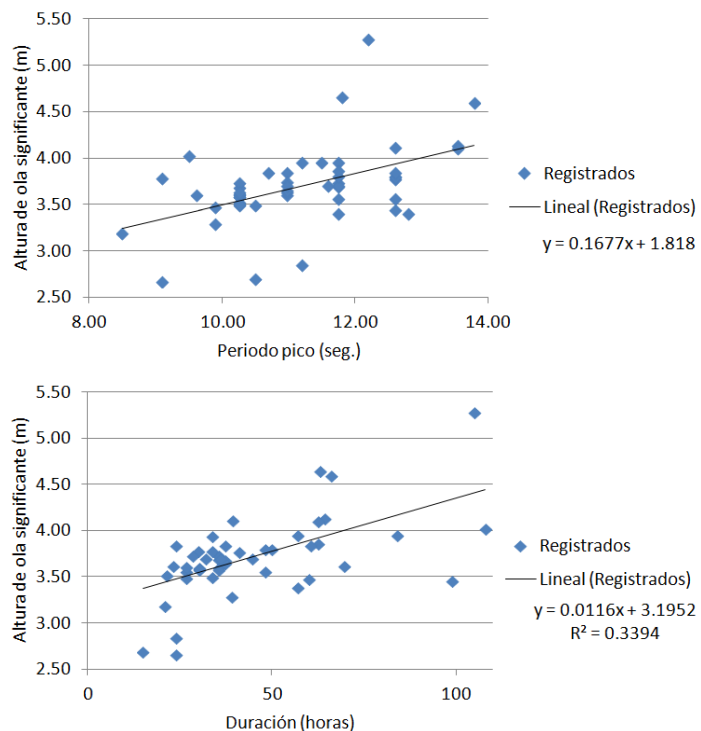


Figura 5.2. Coeficientes de direccionalidad $K\alpha$ obtenidos (en negrita los que afectan en nuestro caso) y ajustes realizados para la obtención del periodo pico y la duración de los temporales.

Por último obtenemos el periodo pico y la duración asociada a la altura de ola significativa mediante un ajuste a los datos registrados buscando el menor error

cuadrático (figura 5.2). Después obtenemos el coeficiente de direccionalidad $K\alpha$ (figura 5.2). Con estos últimos datos obtenemos los temporales de la tabla 5.1 para las cuatro direcciones con mayor coeficiente de direccionalidad que afectan a nuestra costa.

Dirección E				Dirección ENE			
Tr	Hs	Tp	Duración	Tr	Hs	Tp	Duración
10	4.24	14.4	90	10	4.02	13.1	71
25	4.57	16.4	118	25	4.33	15.0	98
50	4.81	17.8	139	50	4.56	16.3	117

Dirección ESE				Dirección NNE			
Tr	Hs	Tp	Duración	Tr	Hs	Tp	Duración
10	4.05	13.3	74	10	3.60	10.6	35
25	4.36	15.2	101	25	3.88	12.3	59
50	4.59	16.5	120	50	4.08	13.5	76

Tabla 5.1. Altura de ola significativa (Hs en metros), periodo pico (Tp en segundos) y duración (en horas) de distintos temporales según la dirección y el periodo de retorno (Tr en años).

5.3 Modelo de evolución del perfil

Para la evaluación del impacto de las tormentas mediante transporte transversal en el perfil hemos utilizado el modelo de diferencias finitas SBEACH, desarrollado por el US Army Corps of Engineers (Larson y Kraus, 1989; Larson et al., 1990; Wise et al. 1996). Este modelo ha sido validado con datos de laboratorio y de campo para ser aplicado en condiciones reales (ver e.g. Larson et al., 1990; Wise et al., 1996). La respuesta del modelo, aunque de forma estricta necesitaría una calibración previa, se entenderá como un orden de magnitud. Este modelo consta de tres partes: propagación de oleaje, cálculo de las tasas de transporte y estimación de la evolución morfológica del perfil. A continuación les describiremos brevemente las tres partes, aunque se puede encontrar una descripción detallada de sus fundamentos y estructura en Larson y Kraus (1989) y Wise et al. (1996).

El modelo de oleaje consiste en una versión generalizada del modelo de Dally et al. (1985). Fuera de zona de rompientes la altura de ola y el ángulo se calcula a partir de la conservación de flujo de energía y de la Ley de Snell. En la zona de rompientes se incluye la disipación de energía debido a la rotura del oleaje, asumiendo que las condiciones de oleaje son longitudinalmente uniformes y que las batimétricas se pueden

considerar localmente rectas y paralelas. La versión generalizada del modelo para fondo arbitrario viene dada por:

$$\frac{\partial(F \cos\theta)}{\partial x} + \frac{\partial(F \sin\theta)}{\partial y} = -\frac{k}{d}(F - F_s) \quad 5.3$$

Donde

F es el flujo de energía,

F_s es el flujo de energía estable,

θ es el ángulo del oleaje respecto a las isobatas,

k es un coeficiente empírico de “decay” (disipación),

d es la profundidad total, siendo $d = h + \eta$ y es la elevación del nivel medio del mar debido a la presencia de olas.

Para el cálculo de las tasas de transporte de sedimento transversal el modelo divide el perfil en cuatro zonas entre antes del punto de rotura, el punto de rotura, el punto de “plunging”, la zona de swash y el limite mas interno de la zona de rotura delimitado por el remonte del oleaje o por el rebase si lo hubiese (figura 5.3) y utiliza una formulación diferente para cada una de ellas. El cálculo del transporte se realiza ola a ola asumiendo una distribución Rayleigh y promediando al total de las olas.

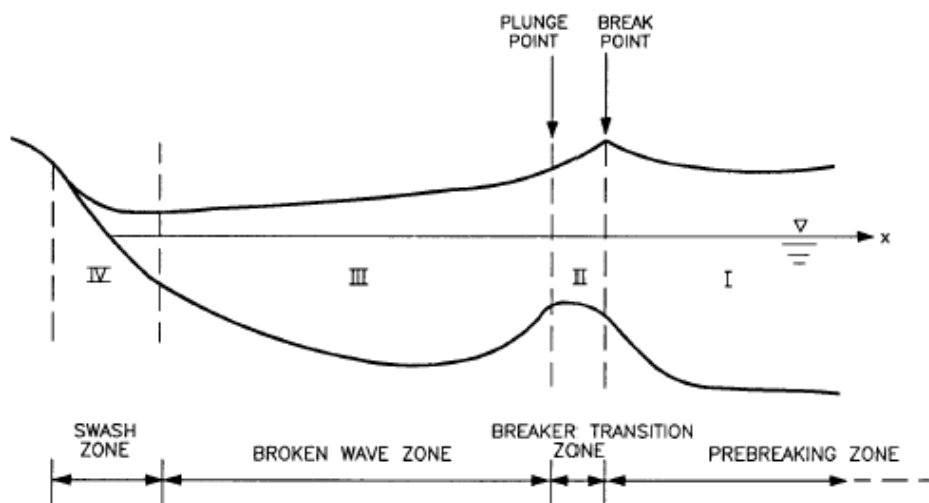


Figura 5.3. Zonificación del perfil para el cálculo de las tasas de transporte en función de la hidrodinámica dominante (Larson y Kraus, 1989).

El modelo de evolución morfológica evalúa la evolución temporal de las tasas de transporte transversal imponiendo unas condiciones de contorno de transporte nulo en sus dos extremos, el límite de acción del oleaje (dado por el remonte de las olas) y en la zona externa a la profundidad donde se evalúe que el transporte es despreciable. El modelo resuelve este problema resolviendo la ecuación de continuidad numéricamente mediante el siguiente esquema de diferencias finitas:

$$\frac{h_i^{k+1} + h_i^k}{\Delta t} = \frac{1}{2} \left[\frac{q_{i+1}^{k+1} + q_i^{k+1}}{\Delta x} + \frac{q_{i+1}^k - q_i^k}{\Delta x} \right] \quad 5.4$$

donde el superíndice k se refiere al tiempo, el subíndice i indica la posición, Δx es el tamaño de malla y Δt es el paso de tiempo.

El modelo incluye la posibilidad de “avalanching” en la zona de swash para evitar que la pendiente resultante de la evolución en cualquiera de los pasos exceda la pendiente estable del sedimento (ángulo de reposo).

5.3.1 Perfiles utilizados

Hemos utilizado dos perfiles diferentes para poder ver cómo afecta la diferencia de la batimetría a la hora de erosionarse el perfil. En las figura 5.4 y 5.5 podemos observar los perfiles utilizados. Se les ha dado una distancia mayor de la erosionable por una tormenta en la berma para que se erosionen libremente y así poder obtener los retrocesos máximos del perfil sin restricciones, como podría ser la presencia del paseo marítimo o cualquier otro obstáculo.

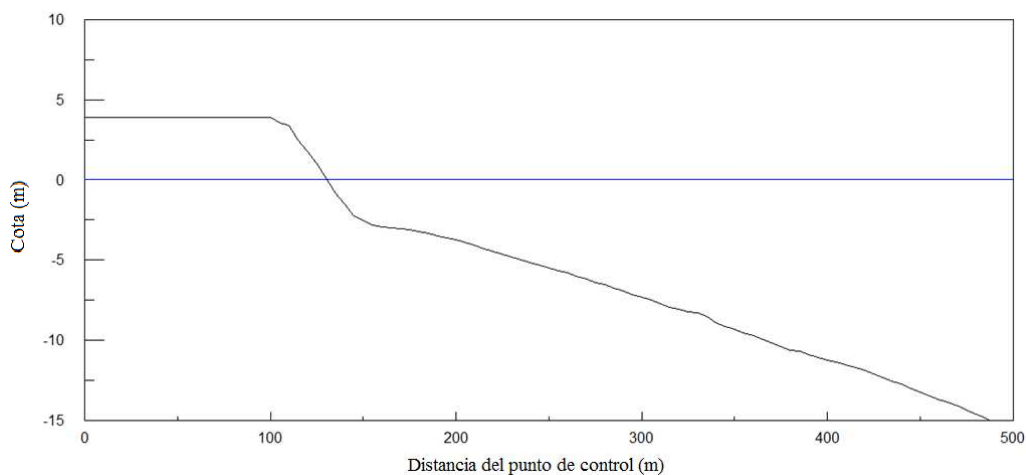


Figura 5.4. Perfil de control p06.

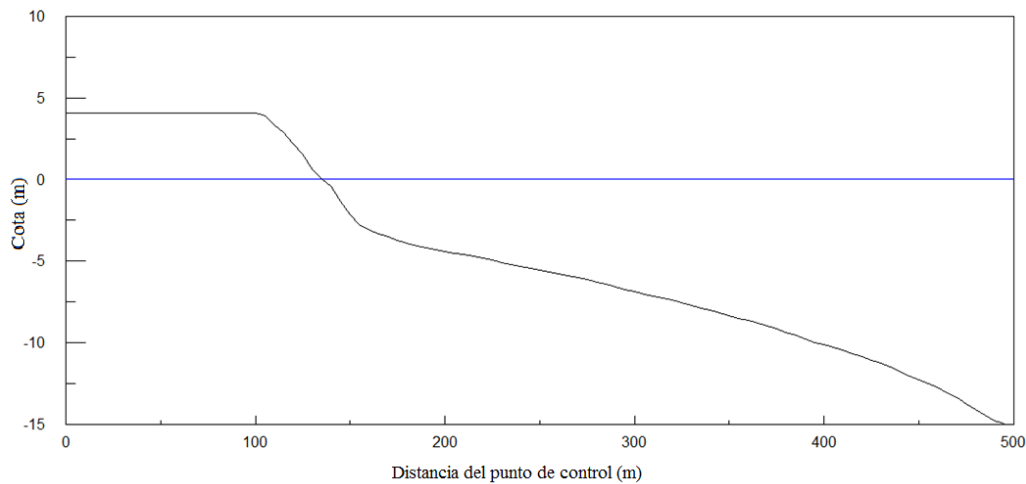


Figura 5.5. Perfil de control p14.

5.3.2 Tormentas utilizadas

Introduciremos dos tipos de tormentas para comprobar la erosión que producen, tormentas seleccionadas del registro de oleaje y tormentas con un periodo de retorno asociado.

En primer lugar introduciremos una selección de los mayores temporales registrados en la boya de la Tordera entre los años que disponemos (1958-2001). Hemos seleccionado los cinco episodios de tormenta con mayor altura de ola significativa, que tienen las siguientes características principales:

Temporal	Fecha (D/M/A)	Hs máxima (m)	Tp (s)	Duración (h)	Dirección
A	9/11/2001 - 12/11/2001	6.4	13.5	63	NE - ENE
B	14/11/2001 - 17/11/2001	6.2	13.5	69	NNE - SSE
C	29/12/1972 - 2/01/1973	4.8	12.3	90	ENE
D	27/12/1980 - 31/12/1980	4.7	13.5	84	NE - E
E	24/12/1962 - 26/12/1962	4.7	11.2	48	ENE

Tabla 5.2. Datos principales de los cinco temporales con mayor altura de ola significativa entre los años 1958 y 2001.

En este caso disponemos de los datos de altura de ola, periodo y dirección cada tres horas en cada episodio, por lo que hemos introducido los datos completos en el modelo (figura 5.6).

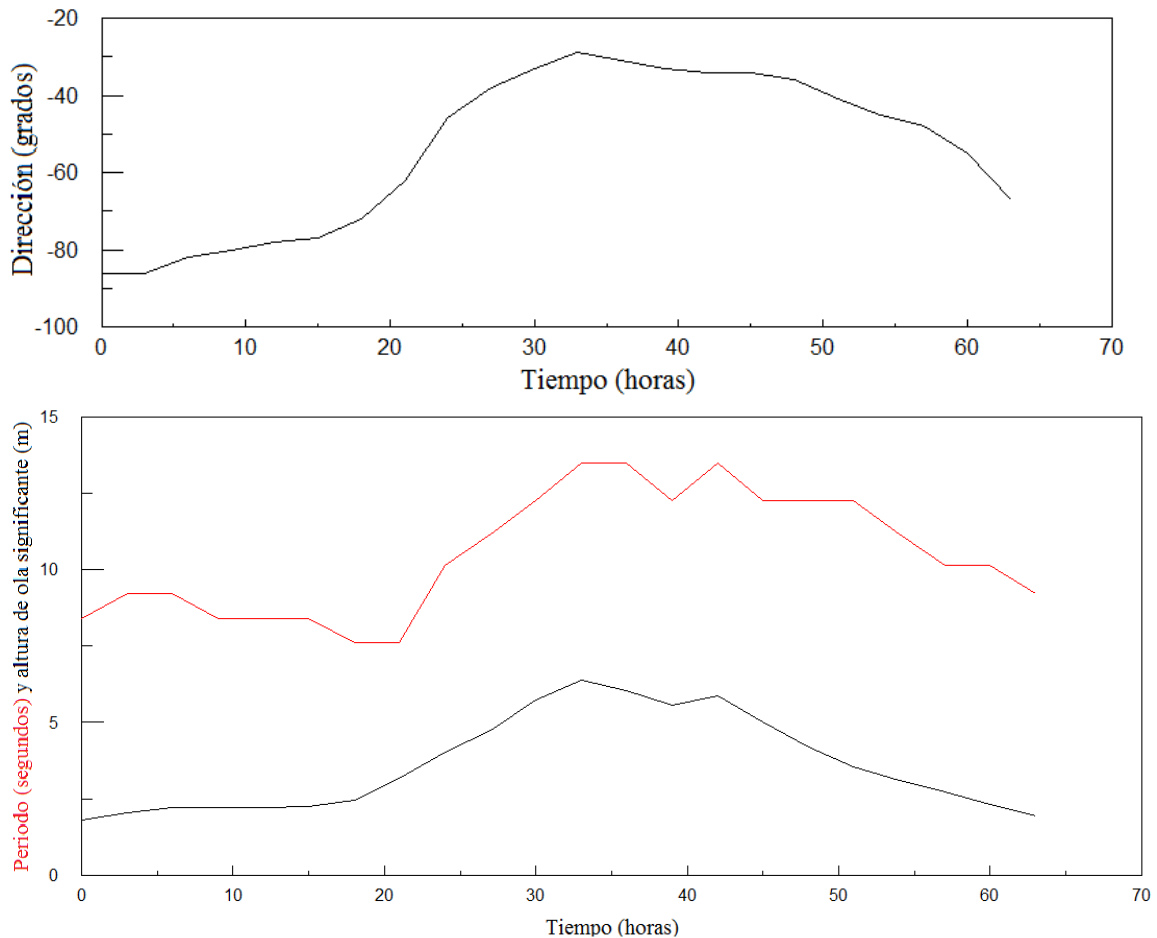


Figura 5.6. Dirección, periodo y altura de ola significativa para el temporal A entre el 9/11/2001 y el 12/11/2001.

En segundo lugar introduciremos las condiciones de oleaje obtenidas con la caracterización extremal del oleaje realizado para la zona, expuesta en el apartado 5.2. Estas condiciones están definidas en cuanto a altura de ola, periodo pico asociado y duración (tabla 5.1).

Se asume una distribución triangular de la altura de ola y el periodo a lo largo de la duración en cada episodio de tormenta, alcanzando la altura de ola significativa y el periodo pico citado simultáneamente, al alcanzar un tiempo igual a la mitad de la duración (figura 5.7). En los extremos (inicio y fin de la tormenta) daremos una altura de ola de $H_s=2\text{m}$ que se considera el límite para el comienzo de un episodio de tormenta y un periodo de $T=6.5\text{s}$ que es el periodo típico para la zona.

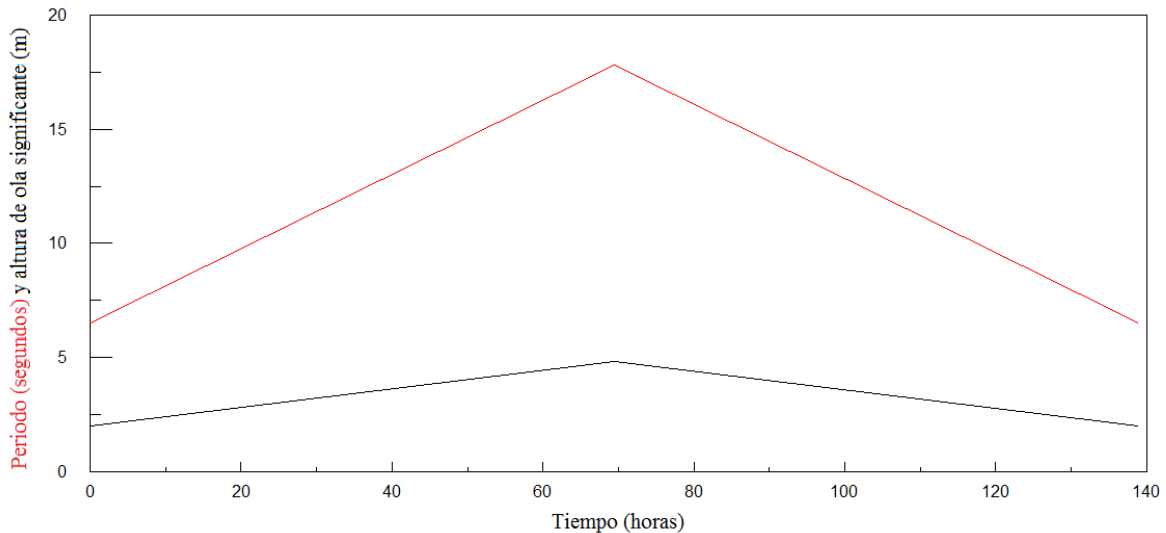


Figura 5.7. Distribución del periodo y de la altura de ola a lo largo de la duración de la tormenta con periodo de retorno de 50 años y dirección E.

5.4 Ancho de playa erosionable

En este apartado expondremos los resultados al introducir en el modelo las tormentas y aplicarlas a los perfiles comentados.

El modelo nos da un perfil erosionado completo en el que las magnitudes erosivas más representativas son el retroceso de la línea de orilla y de la berma (el punto más alto del perfil). En todos los casos el retroceso de la berma es mucho mayor, comportamiento típico de perfiles con pendiente elevada como es el de nuestra playa. Por estas razones hay que tener claro que no hay un solo ancho de playa erosionable, sino un perfil completo. A la hora de valorar a qué distancia comenzaría a afectar un temporal a una estructura una consideración estricta nos llevaría a utilizar el retroceso máximo, que en todos los casos será la berma. Sin embargo esta consideración sería demasiado conservadora ya que a esa distancia el temporal lo único que conseguiría sería generar salpicadura. Por eso mismo utilizaremos una magnitud intermedia entre la berma y la línea de orilla. La altura media de la berma sería una magnitud a la que con seguridad afectara el temporal, pero para ser algo más conservadores utilizaremos como magnitud representativa para futuras consideraciones de ancho necesario la media entre el retroceso máximo de la berma y el retroceso máximo de la línea de orilla, sabiendo de antemano que siempre nos dará una magnitud mayor esta media, que el retroceso máximo del punto a media berma.

5.4.1 Tormentas seleccionadas

Con los cinco temporales y los dos perfiles introducidos en el modelo obtenemos diez perfiles erosionados completos. En la tabla 5.3 se presentan los retrocesos de la línea de orilla y de la berma además de la media de ambos, que como hemos comentado antes consideraremos la magnitud de ancho erosionable.

Perfil	Temporal, fecha de inicio	Retroceso cota 0 (m)	Retroceso berma (m)	Retroceso medio (m)
p14	A - 9/11/2001	4.7	25	14.9
	B - 14/11/2001	5.8	20	12.9
	C - 29/12/1972	7.2	15	11.1
	D - 27/12/1980	7.3	10	8.7
	E - 24/12/1962	4.8	10	7.4
p06	A - 9/11/2001	4	25	14.5
	B - 14/11/2001	2.3	20	11.2
	C - 29/12/1972	5.6	15	10.3
	D - 27/12/1980	4.5	15	9.8
	E - 24/12/1962	2.0	10	6.0

Tabla 5.3. Retroceso de la línea de orilla, la berma y la media de ambos retrocesos de los perfiles de la playa bajo la acción de distintas condiciones de oleaje.

Como hemos comentado el retroceso de la berma es mucho mayor que el de la línea de orilla. El retroceso máximo de línea de orilla obtenido es el del perfil 14 con las condiciones del temporal D, en el que retrocede una distancia del orden de los 7m, mientras que el retroceso máximo de la berma se da con las condiciones de oleaje del temporal A y es del orden de 25m. Como podemos observar el retroceso medio máximo se da bajo las condiciones de la tormenta A por el gran retroceso que sufre la berma

5.4.2 Ancho probabilístico

En el caso de las tormentas asociadas a un periodo de retorno dado, el perfil erosionado obtenido será un perfil asociado a un periodo de retorno por lo que nos daría el ancho que de media cada x años es erosionado una vez con esa o mayor magnitud.

Con los dos perfiles de playa y las doce tormentas introducidas obtenemos 24 perfiles erosionados completos como el de la figura 5.8.

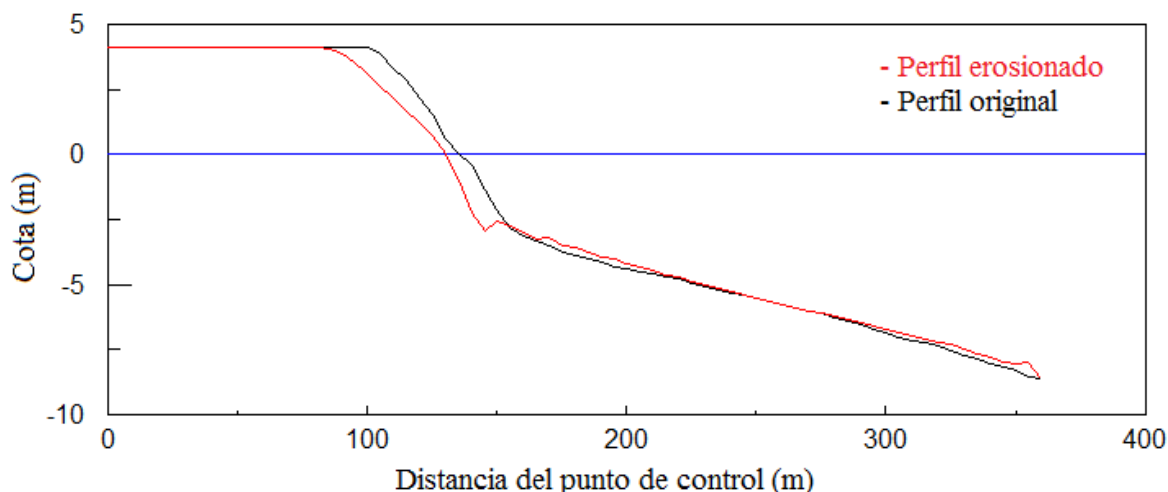


Figura 5.8. Perfil p14 original y erosionado bajo la acción de la tormenta con $Tr=50$ años y dirección E.

En la tabla 5.4 tenemos los máximos retrocesos obtenidos para cada periodo de retorno en la cota 0 (línea de orilla), en la parte superior de la berma (3,9m para el perfil 6 y 4,1m para el perfil 14) y de media.

Tr (años)	retroceso máximo cota 0 (m)	dirección del oleaje	perfil erosionado
10	4.8	ESE	p14
25	4.8	ESE	p14
50	5.1	E	p14

Tr (años)	retroceso máximo berma (m)	dirección del oleaje	perfil erosionado
10	15	E	p14
25	25	E	p14
50	30	E	p14

Tr (años)	retroceso medio máximo (m)	dirección del oleaje	perfil erosionado
10	9.9	E	p14
25	14.8	E	p14
50	17.5	E	p14

Tabla 5.4. Retrocesos máximos de la línea de orilla, de la berma y medio asociados a cada periodo de retorno.

Como cabía esperar el mayor retroceso se ha dado para el caso de oleaje con periodo de retorno de 50 años y dirección este y es del orden de 5m en la línea de orilla y de 30m para la berma, lo que supone un retroceso medio de 17,5m. También salta a la vista que con un periodo de retorno de 10 o 25 años obtenemos un retroceso de la línea de orilla del mismo orden de magnitud que con el de 50 años, aunque al no darse la misma magnitud de retroceso en la berma el perfil no quedara con el mismo grado de desprotección.

Los distintos retrocesos son los resultados expuestos pero no conviene olvidar que como se ha comentado anteriormente este retroceso es un orden de magnitud y que como se puede observar el retroceso de la berma es mucho mayor que el de la línea de orilla, por lo que la protección del perfil disminuirá tras el impacto de un temporal. Para comprobarlo hemos erosionado el p14 resultante tras el impacto de la tormenta con $T_r=50$ años con las mismas condiciones de oleaje, el perfil ha retrocedido en la segunda ocasión 6,5m en la línea de orilla y 10m en la berma. Este retroceso de la cota 0m es un 30% superior al retroceso original, lo que confirma nuestra afirmación.

Capítulo 6

IMPLICACIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO Y USO DE LA PLAYA

6.1 Introducción

Hasta el momento hemos estudiado el proceso erosivo que sufre la playa de s'Abanell, pero todavía no hemos estudiado los problemas generados por el mismo. En este capítulo estudiaremos el efecto del proceso que sufre la playa y como afecta a sus funciones de forma detallada. Las funciones de la playa estudiada son dos: (I) la función de protección del edificio de la desaladora, de los pozos de bombeo, del camping, del paseo, del vial y del los edificios y (II) la función recreativa para los usuarios de la playa. También ofreceremos unas propuestas de actuación para la zona.

6.2 Función de protección

La playa absorbe la acción del oleaje y evita que impacte en lo que se encuentre tras la misma. Si bien la tendencia erosiva que tiene la playa por si misma nunca es un problema sino un proceso, el problema es la localización de diferentes elementos tras la protección de una playa que sufre este proceso. La playa protege los siguientes elementos: (I) una caseta de la desaladora y nueve pozos de bombeo, (II) plazas de camping, (III) paseo marítimo, (IV) un vial, (V) plazas de aparcamiento y (VI) edificios.

Hay que destacar que es lo que protege actualmente la playa. En la actualidad el edificio de la desaladora lo protege una escollera, no la playa. Los pozos de bombeo se encuentran en medio de la playa pero a diferentes distancias de la línea de orilla, algunos se encuentran en la línea de orilla, por lo que la playa ya no los protege y el oleaje incide directamente sobre los mismos y otros se encuentran situados en torno a 8m de la línea de orilla por lo que si son protegidos por este ancho. Los campings en la zona norte tienen una valla que delimita sus plazas más cercanas a la playa y se encuentran protegidas por la misma. En algunas zonas como el final sur del paseo marítimo o el principio norte de la playa junto a sa Palomera donde apenas queda un

metro de ancho de playa el paseo no es protegido por la playa, sino por la escollera que hay al pie del paseo. A lo largo del resto de paseo marítimo (unos 1.600m) el ancho de playa existente protege tanto el paseo como el vial, los aparcamientos y/o los edificios que se encuentran a continuación del paseo dependiendo de la zona. Cabe destacar la protección que tiene el paseo mediante una escollera en su pie en varios tramos.

Para proteger cualquier elemento que se encuentre en su hinterland la playa necesitara un tamaño mínimo. Tomaremos como hipótesis que el perfil de la playa no cambia con el tiempo, con lo cual manteniendo todo el perfil actual presentado en el apartado 2.2 y utilizado en el anterior capítulo nos faltaría saber que ancho necesita este perfil para poder cumplir esta función correctamente.

El ancho mínimo sería la suma del ancho necesario para la realización de reparaciones en la playa (10m) más el ancho que retrocedería el perfil con la aparición de una tormenta con determinado periodo de retorno. El periodo de retorno de dicha tormenta se elige dependiendo de lo que se quiera proteger, para los elementos que protegemos en nuestro caso utilizando la clasificación de la parte 2 de la ROM (1990) para vida útil (tabla 6.1) y riesgo de iniciación de averías (tabla 6.2).

TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)			
TIPO DE OBRA O INSTALACIÓN	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

Tabla 6.1. Tabla 2.2.1.1 de la ROM para vidas útiles mínimas.

Para la desaladora, los pozos de bombeo y los campings tomaremos un nivel de seguridad 1 y tipo de instalación de carácter industrial específico, mientras que para el paseo, el vial, los aparcamientos y edificios de servicios tomaremos un nivel de seguridad 1 y tipo de instalación de carácter general. En cuanto al riesgo de iniciación de averías hemos tomado una posibilidad reducida de pérdidas humanas y repercusión económica media para todos los casos.

TABLA 3.2.3.1.2. RIESGOS MÁXIMOS ADMISIBLES PARA LA DETERMINACIÓN, A PARTIR DE DATOS ESTADÍSTICOS, DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE CARGAS VARIABLES PARA FASE DE SERVICIO Y CONDICIONES EXTREMAS			
<u>a) RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS</u>			
		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Indice : $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
	ALTA	0,25	0,15

Tabla 6.2. Tabla 3.2.3.1.2 de la ROM para riesgos máximos admisibles para la iniciación de averías.

Con los parámetros elegidos aplicamos la formula

$$Tr = \frac{1}{1-(1-E)^{1/L}} \quad 6.1$$

donde L es la vida útil y E el riesgo de iniciación de averías. Obteniendo el periodo de retorno, Tr, asociado a cada caso. A continuación utilizando el clima extremal calculado en el capítulo 5 obtenemos los parámetros para los temporales de cada periodo de retorno (tabla 6.3).

Elemento	Vida útil (años)	Riesgo de iniciación de averías (probabilidad)	Tr (años)	Hs (m)	Tp (segundos)	Dur (horas)
Desaladora y pozos de bombeo	15	0,3	43	4.8	17.5	134
Campings	15	0,3	43	4.8	17.5	134
Paseo	25	0,3	71	4.9	18.5	149
Vial	25	0,3	71	4.9	18.5	149
Aparcamientos	25	0,3	71	4.9	18.5	149
Edificios	25	0,3	71	4.9	18.5	149

Tabla 6.3. Vida útil, riesgo de iniciación de averías, periodo de retorno (Tr) y altura de ola significativa (Hs), periodo pico (Tp) y duración (Dur) asociados al periodo de retorno obtenido.

Introduciendo los datos de las tormentas en el modelo explicado en el capítulo 5 para las direcciones E y ESE (las que mayor erosión generan) obtenemos los retrocesos de la línea de orilla y de la berma presentados a continuación.

Tr (años)	retroceso máximo cota 0 (m)	dirección del oleaje	perfil erosionado
43	5.0	E	p14
71	5.2	E	p14

Tr (años)	retroceso máximo berma (m)	dirección del oleaje	perfil erosionado
43	30	E	p14/p06
71	35	E	p14/p06

Tabla 6.4. Retrocesos máximos de la línea de orilla y la berma para lo temporales con periodo de retorno (Tr) de 43 y 71 años.

Como ya hemos comentado en el capítulo 5 tomaremos como indicador la media entre el retroceso máximo de la línea de orilla y de la berma quedándonos un ancho de 17,5m para el periodo de retorno de 43 años y 20,1m para 71 años. Sumando este ancho al mínimo tendremos el ancho de protección que consideraremos necesario. En la figura 6.1 podemos observar cuando el ancho medio de la playa, separado por zonas, ha pasado los diferentes límites.

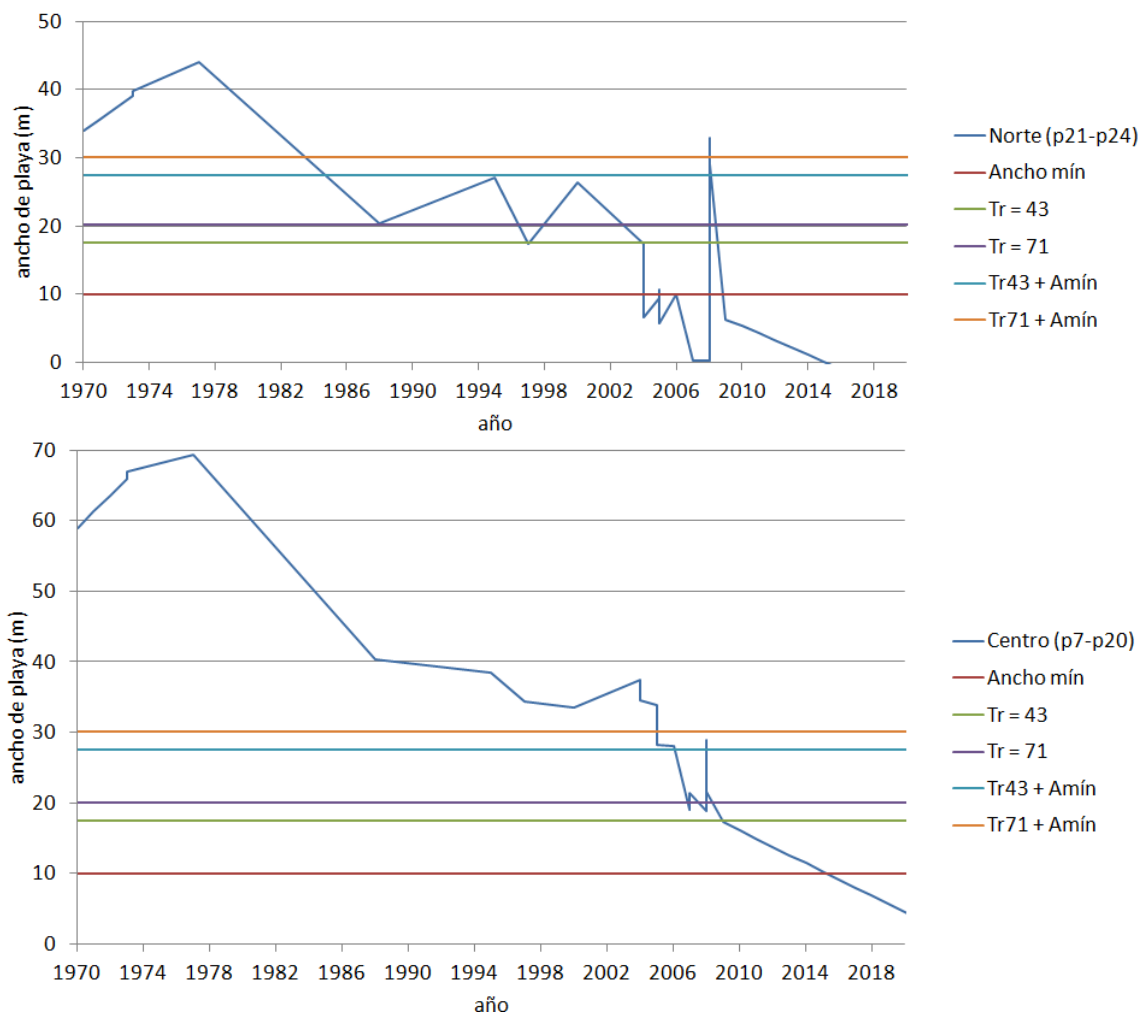


Figura 6.1. Ancho de playa medio, de las zonas Norte (p21 a p24), Centro (p07 a p20) y Sur (p01 a p06), con medidas y futuro con tendencia 1973-2007.

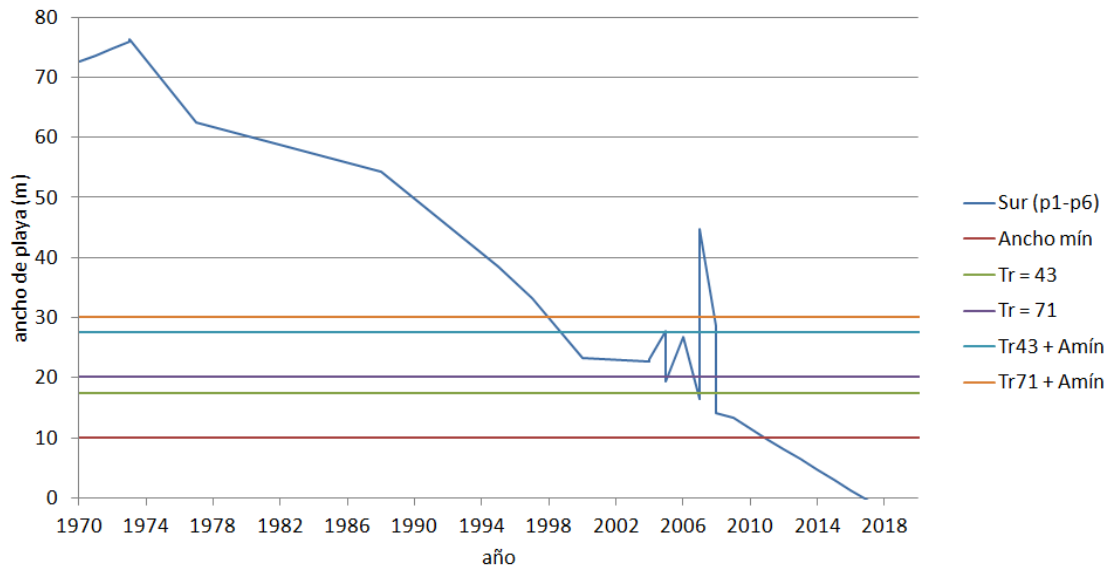


Figura 6.1. (continuación) Ancho de playa medio, de las zonas Norte (p21 a p24), Centro (p07 ap20) y Sur (p01 a p06), con medidas y futuro con tendencia 1973-2007.

En la parte norte se pasó el límite necesario para la zona (periodo de retorno de 71 años más el ancho mínimo) en la década de los ochenta, en el caso de la parte central se pasó en el año 2005 y en la zona Sur donde se necesitaba un ancho menor (periodo de retorno de 43 años más el ancho mínimo) a finales de los años noventa.

Cabe destacar que en la última posición de línea de orilla utilizada, en el año 2009, solo un perfil de control de los 24 superaba el ancho de 27,5m (periodo de retorno de 43 años más ancho mínimo) y se trataba del perfil nº 16 que necesitaría un ancho de 30,1m (periodo de retorno de 71 años más el ancho mínimo) por la zona en la que se encuentra. Estos datos certifican que la playa lleva años incumpliendo las condiciones mínimas exigidas para la protección de todos los elementos situados en su parte trasera.

6.2 Función recreativa

La superficie disponible de playa sirve para acoger a todos los usuarios que quieran hacer uso de ella todos los días del año. Este uso se intensifica claramente en la temporada estival, más aun en un municipio con una amplia oferta turística ligada a la costa como es el caso de Blanes. En este apartado estudiaremos cual es el espacio disponible para los usuarios y si este espacio es suficiente.

Cuando se considera la playa en su función recreativa la playa se divide en cuatro zonas en dirección mar-interior (MOP, 1970): zona activa, zona de descanso, zona de seguridad y zona de servicios (figura 6.2). La zona activa es el área alrededor de la línea de orilla, debe estar libre de cualquier elemento estático, aunque en algunas áreas se pueda permitir su uso para materiales náuticos. La zona de descanso es el área en el que se sitúan la mayoría de los usuarios y la zona donde ponen sus sombrillas y toallas. Normalmente en esta área no se sitúa ningún servicio a no ser que la playa sea muy estrecha. La zona de servicios suele ocupar la mayor parte de las playas y es la parte en la que se sitúan las instalaciones y los servicios para los usuarios como pueden ser las duchas, los vestuarios y los bares. En las playas relativamente anchas, aunque no es el caso de s'Abanell, se puede considerar una cuarta zona, la zona de seguridad, que actúa como una zona de transición que separa la zona de descanso de la zona de servicios.

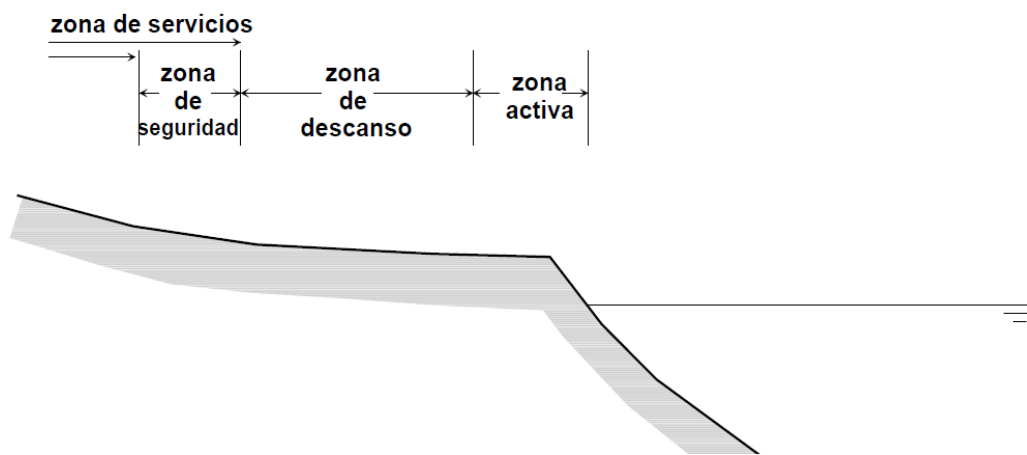


Figura 6.2 Zonificación del perfil de una playa para la función recreativa.

Las dimensiones de cada zona varían dependiendo del tamaño de la playa (e.g. Valdemoro y Jiménez, 2006), podemos diferenciar entre las dimensiones para playas anchas (>50m) o estrechas (<50m) en la tabla 6.5.

Zonas	Playas anchas (>50m)	Playas estrechas (<50m)
Activa	15	6-10
Descanso	25	20
Seguridad	10	10
Servicios	Variable	Resto

Tabla 6.5. Dimensiones típicas para las diferentes zonas de playa en España.

Aunque a lo largo de su historia la playa de s'Abanell ha tenido unas dimensiones propias de una playa ancha, en la actualidad ninguna zona de la playa supera los 50m de ancho por lo que la consideraremos una playa estrecha. Como el ancho disponible actualmente es muy limitado tomaremos un ancho de la zona activa de 6m y usaremos el resto del ancho como disponible para el descanso de los usuarios.

Para estudiar la función recreativa dividiremos la playa en dos partes, una parte norte urbana entre los puntos de control p10 y p24 y otra parte Sur semiurbana entre los perfiles p01 y p09, ya que se usan de forma diferenciada tanto por los accesos como por los servicios de los que disponen. Junto con el ancho de playa y el ancho de la zona de descanso también necesitaremos cuantificar el número de usuarios que tendrá nuestra playa. En un estudio realizado en la zona contando de forma manual el número de usuarios en agosto de 2004 y 2005 (Roca et al., 2008) se concluyó que la parte Norte recibe un número medio de usuarios de 5558 personas aproximadamente. La parte Sur sin embargo es menos usada, unas 885 personas. Con estos datos obtenemos una evolución de la densidad de usuarios en la playa aproximada para las dos zonas como se presentan en la figura 6.3.

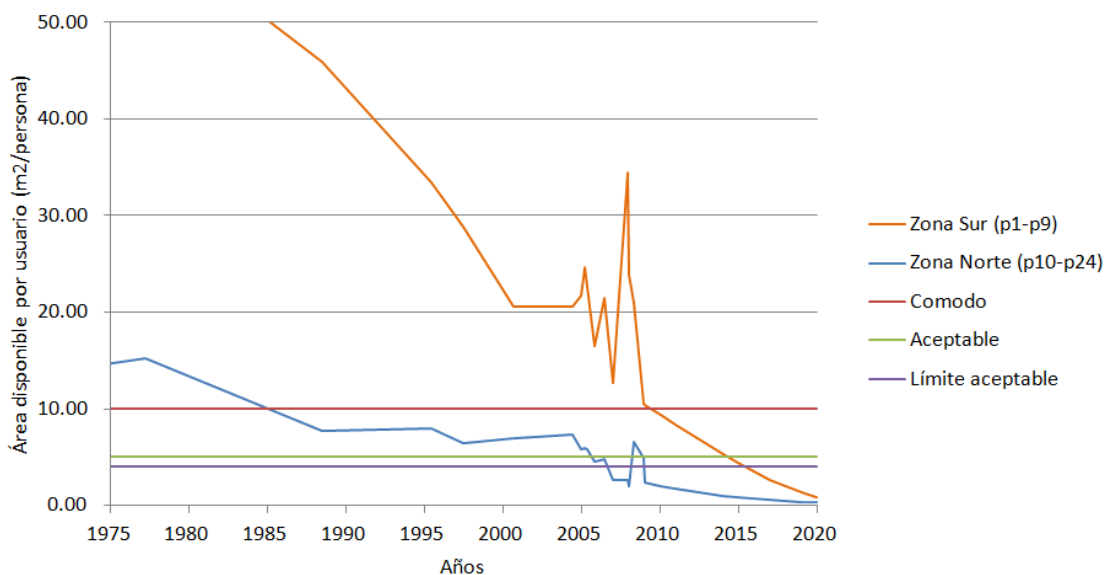


Figura 6.3. Evolución del área disponible por usuario a lo largo del tiempo en la zona Norte (p10 a p24), en la zona Sur (p1 a p9) y principales límites de densidad (Yepes, 1999).

Como hemos comentado antes, las dos zonas tienen un uso diferenciado, siendo la densidad de la zona Norte mucho mayor. El límite de comodidad se superó en la década de los años ochenta en la parte Norte mientras que en la parte Sur esto ocurrió en 2009. El valor del área disponible pierde su sentido cuando pasa el límite aceptable, ya que los

usuarios ocupan un espacio mínimo que no se puede disminuir. Por lo tanto al acercarnos a estos límites cabe esperar dos posibles escenarios: (I) los usuarios que lleguen a la parte Norte cuando esta está saturada (2009), se van a otra playa por lo que se reduce la cantidad de usuarios y se mantiene la densidad en el límite aceptable o (II) los usuarios que no caben en la parte Norte se van a la zona Sur por lo que la densidad de la zona Sur aumenta más rápidamente al llegar el Norte al límite, en este caso los límites de comodidad y aceptabilidad se alcanzarían igual que en el primer caso en la parte Norte pero en la zona Sur se alcanzarían antes, en 2006 ya se superaría el límite de comodidad y el límite aceptable se alcanzaría en 2007 y en 2009 (figura 6.4).

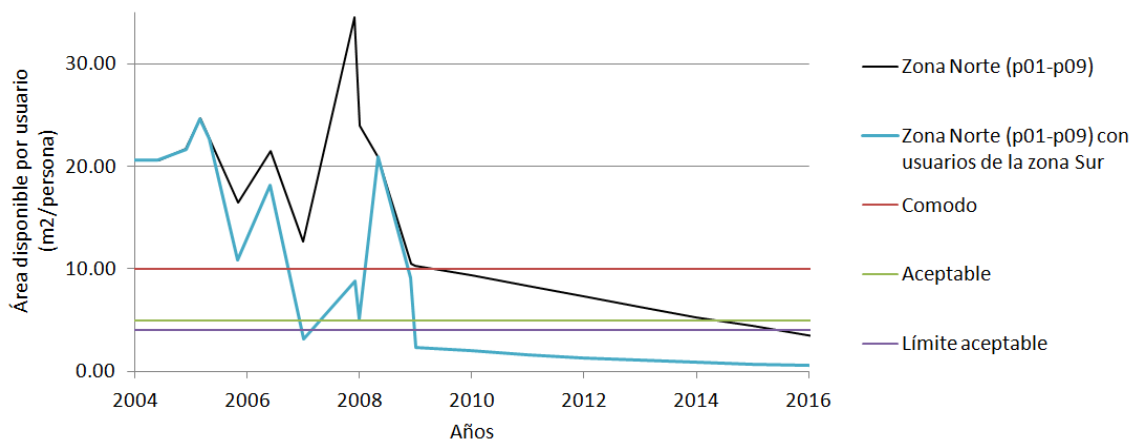


Figura 6.4. Cambio en la densidad de la zona Norte con los usuarios sobrantes de la zona Sur y sin ellos.

La función recreativa de la playa de s'Abanell está siendo insuficiente (se supero el límite aceptable) desde el año 2005 o 2009 dependiendo del escenario. Esto supone la disminución del número de usuarios y la disminución de la calidad para los usuarios restantes, dada la baja disponibilidad de espacio. Estos hechos pueden suponer también una degradación del nivel turístico de la zona al atraer un turismo menos exigente y con un menor poder adquisitivo. El resultado obtenido puede llegar a ser muy perjudicial para un municipio en el que el sector servicios, entre los que se encuentran el turismo y el comercio, supone el 70% del PIB y el 65% de la ocupación de la población.

6.4 Propuestas

Como acabamos de exponer actualmente la playa de s'Abanell no cumple las dos funciones básicas que tiene como playa. Las autoridades competentes deberían

replantarse la administración que se está llevando a cabo. Ha quedado claro que las alimentaciones no son una solución a largo plazo y que dan peor resultado que el que cabría esperar de ellas. Por otro lado la reparación de los continuos daños supone otra pérdida de capital que quizás no se ha valorado lo suficiente.

La primera decisión que se debería plantear es el mantenimiento o no de la playa. Si se decide no mantenerla habría que reforzar y defender todas las estructuras traseras para preparar las mismas para la inminente desaparición de la inmensa mayoría de la playa. Se debería estudiar el coste que esta solución supondría, tanto en ejecución como los efectos económicos a largo plazo que supondría la desaparición de s'Abanell para toda la actividad económica de la zona.

Sin embargo si se decide conservar la playa, opción que parece que se ha seguido hasta ahora y que parece más lógica dada la fuerte dependencia del turismo asociado a la playa de la zona, habría que hacer un estudio con una valoración económica del coste que supone el mantenimiento que se sigue actualmente (que sería la suma de las reparaciones de los desperfectos de los temporales y el coste de las alimentaciones) y la valoración económica de una estructura definitiva que impida el transporte longitudinal del sedimento fuera de la playa junto con una última alimentación. Esta solución definitiva debería estudiar si se deben permitir todos los usos que se le dan a la playa, como por ejemplo la situación de instalaciones como las de la desaladora y los campings de la zona Sur en una zona que podría ir retrocediendo de forma natural sin ningún impedimento ni problema si no fuese por la existencia de estas dos estructuras.

Los estudios que se realizasen deberían tener un apartado medioambiental especialmente dedicado a la zona de la desembocadura del Tordera, ya que cualquier obra que se realice en esta zona puede interferir en la gran biodiversidad existente.

Capítulo 7

CONCLUSIONES

La playa de s'Abanell sufre un proceso erosivo por el cual pierde de media 1,3 m de ancho anualmente. Esto equivale a una pérdida media de unos 31.500 m³ de arena anualmente. El principal causante de este proceso es el transporte longitudinal que produce el clima marítimo de la zona, este transporte longitudinal tiene una gran variabilidad de un año a otro pudiendo dar un balance positivo de 28.000 m³ de sedimento en un año a llegar a llevarse 245.000 m³ de arena fuera de la playa en otro año distinto. Este proceso erosivo, que se da en la zona desde la década de los setenta, ha disminuido notablemente el ancho de la playa, hasta un punto en el cual los temporales registrados, que han sido capaces en un solo episodio de hacer retroceder a la playa hasta 15 m mediante el transporte transversal, hayan causado numerosos problemas y daños en: un edificio de la desaladora, nueve pozos de bombeo, varios campings, un paseo marítimo, un vial y algunos edificios.

Se ha intentado paliar el problema que genera este proceso erosivo con varias alimentaciones de arena, estas obras han dado un resultado peor de lo que cabría esperar llegando a perder en torno a 113.000 m³ de arena de la alimentación de 2007 en dos meses y 98.000 m³ de la alimentación del año siguiente en siete meses.

La playa lleva incumpliendo su función de proteger los elementos situados tras ella desde la década de los ochenta en la parte Norte, desde la década de los noventa en la parte Sur y desde 2005 en la parte central de media. Actualmente la playa incumple esta función a lo largo de sus 2400 m. Tampoco está cumpliendo su función recreativa desde el año 2005. La falta de superficie para los usuarios puede conllevar a que disminuya considerablemente tanto el número de usuarios como el nivel adquisitivo de los mismos en una población con gran dependencia económica del turismo.

Por estas razones se debe replantear el mantenimiento de la playa buscando una solución definitiva que solucione el proceso erosivo para poder solucionar así los problemas que genera. Para este propósito recomendamos seguir las propuestas de estudios a realizar comentada en el apartado 6.4 de este estudio.

Si no se toman medidas urgentemente en esta playa, los costes de los daños, tanto materiales directos, los desperfectos, como materiales indirectos, la disminución de turistas, irán en aumento.

Capítulo 8

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bou i Termens, Josep. 1994. Uso de la fotogrametría en los estudios de morfología costera. Aplicación al Delta del Ebro. Tesina de Especialidad, DEHMA, ETSECCPB, UPC.

CEDEX, 1979. Estudio de la dinámica litoral en la costa peninsular Mediterránea y Onubense. Provincias de Barcelona y Gerona. Laboratorio de Puertos Ramón Irribarren, Madrid.

Dally, W.R., R.G. Dean y R.A. Dalrymple, 1985. Wave height variation across beaches of arbitrary profile. *Journal of Geophysical Research*, 90, 11917-11927.

Dolan, R., Fenster, M.S. y Holme, S.J. 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7, 723-744.

Fenster, M.S., Dolan, R. y Elder, J.F., 1993. A new method for predicting shoreline positions from historical data. *Journal of Coastal Research*, 9, 147-171.

Gracia, V., Jiménez, J.A. y Sánchez-Arcilla, A. 1997. Temporal and spatial variability of the depth of closure in the Ebro delta coast. *PACE- Prediction of Aggregated Coastal Evolution*, 1st Overall Meeting, Extended Abstracts, 1.4.

Hallermeier, R.J., 1981. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *Coastal Engineering*, 4, 253-277.

Jiménez, J.A., Valdemoro, H.I., Gracia, V. y Sánchez-Arcilla, A., 1998. Estudio sobre la erosión de la Platja de s'Abanell (Blanes, Girona). Análisis y Propuesta de Soluciones. TR-AMC-98-C3107. Laboratori d'Enginyeria Marítima, UPC, Barcelona.

Jiménez, J.A., Valdemoro, H.I. y Sánchez-Arcilla, A., 2002. Estudio sobre la estabilidad de la margen izquierda del Tordera (T.M. Blanes, Girona) y la creación de accesos a la zona. Laboratori d'Enginyeria Marítima, UPC, Barcelona.

Kamphuis, J. W., 1991. "Alongshore sediment transport rate", *Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering ASCE*, 117(6), 624-641.

Larson, M. y Kraus, N.C. 1989. SBEACH Report 1: Empirical foundation and model development. Technical Report CERC-89-9, US Army Corps of Engineers.

Larson, M., Kraus, N.C. y Byrnes, M.R. 1990. SBEACH Report 2: Numerical formulation and model tests. Technical Report CERC-89-9, US Army Corps of Engineers.

Mathiesen, M., Goda, Y., Hawkes, P.J., Mansard, E., Martin, M.J., Peltier, E., Thompson, E.F. y van Vledder, G., 1994. Recommended practice for extreme wave analysis. *Journal of Hydraulic Research*, 32(6), 803-814.

MOP, 1970. Playas. Modelos Tipo y Sugerencias Para Su Ordenación. Ministerio de Obras Públicas, Madrid.

Nicholls, R.J., Birkemeier, W.A. y Lee, G., 1998. Evaluation of depth of closure using data from Duck, NC, USA. *Marine Geology*, 148, 179-201.

Roca, E., Riera, C., Villares, M., Fragel, R. y Junyent, R., 2008. A combined assesment of beach occupancy and public perceptions of beach quality: A case study in the Costa Brava, Spain. *Ocean & Coastal Management*, 51, 839-846.

ROM 0.2-90. Acciones al proyectar Obra Marítima y Portuaria

Thieler, E.R. y Danforth, W.W., 1994. Historical shoreline mapping (I): Improving techniques and reducing positioning errors. *Journal of Coastal Research*, 10, 549-563.

Valdemoro, H.I. y Jiménez, J.A., 2006. The influence of shoreline dynamics on the use and exploitation of mediterranean tourist beaches. *Coastal Management*, 34, 405-423.

Wise, R., Smith, S.J. y Larson M., 1996. SBEACH Report 4: Cross-shore transport under random waves and model validation sith SuperTank and field data. Technical Report CERC-89-9, US Army Corps of Engineers.

Yepes, V., 1999. Las playas en la gestión sostenible del litoral. Cuadernos de Turismo, 4, 89-110.

Capítulo 9

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer el apoyo de mi tutor José Antonio Jiménez en la realización de esta tesina, tanto en la resolución de problemas como en la aportación de datos y bibliografía necesaria.

También quiero agradecer a mi familia por su apoyo en todo momento, en especial a mi hermano y a mis Aitas.