



Consecuencias a Largo Plazo de la Gestión Desintegrada en Zonas Costeras: el Caso del Delta de la Tordera (Cataluña, España)

Enric Sagristà¹, Rafael Sardá² y Jordi Serra³

e-mail: e.sagrista@ceab.csic.es

¹ Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC). Carretera d'Accés a la Cala St. Francesc, 14, 17300 Blanes (Girona), España;

² Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC). Carretera d'Accés a la Cala St. Francesc, 14, 17300 Blanes (Girona), España.
sarda@ceab.csic.es

³ Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Barcelona (UB). Calle Martí i Franquès, s/n, 08028 Barcelona, España.
jordi.serra@mailcat.cat

Keywords: Beach erosion, human-mediated interventions, coastal evolution, aerial photograph comparison, erosion/accretion rates.

Abstract

Catchment-coastal zones have undergone enormous changes during the last decades that have led to erosion processes, which in turn have compromised their stability, viability and existence. The main problem lies in human-made interventions that have degraded the beaches but also the river basins on which they depend. For many years, we forgot that everything we do in the river basin would have an impact on the associated coastal area. Gravel and water extraction, sand dredging, river channelling and land-use occupation, among others, have degraded fluvial and deltaic systems, which are no longer functional losing resilience. From 1956 to 2006, the coastline of the Tordera delta receded an average of 22 meters at the northern arm, 42 meters at the mouth of the river and advanced 35

Submitted:

Reviewed:

Accepted:

Associate Editor: Martinez Scherer

meters at the southern arm. In some areas, this led to the total loss of the beach surface in 2006, with multiple damages to its hinterland and its infrastructures such as seafront promenades, buildings or campsites that receive the direct impact of sea-storms due to the inability of the beach to protect the coast. To learn from mistakes and propose solutions, the first step was to strengthen the knowledge base of what we did in the region and its effects and consequences. Only then, we will be able to propose solutions following ecosystem-based management guidelines.

Resumen

Las zonas costeras han sufrido enormes cambios en las últimas décadas que han provocado unos procesos erosivos que comprometen su estabilidad, viabilidad e incluso su existencia. El principal problema reside en las acciones realizadas por el ser humano, las cuales han degradado tanto las playas como las cuencas fluviales de las cuales dependen. Durante muchos años, obviamos que toda modificación en una cuenca fluvial tiene asociado un impacto en la zona costera de ésta. Las extracciones de gravas y de agua, los dragados submarinos, las canalizaciones de ríos y las modificaciones en los usos del suelo, entre otros, han degradado los sistemas fluviales y deltaicos, los cuales ya no son funcionales, perdiendo su resiliencia. Desde 1956 hasta 2006 la línea de costa del delta de la Tordera ha retrocedido de media 22 metros en el brazo norte y 42 metros en la zona de la desembocadura del río, a la vez que ha avanzado 35 metros en el brazo sur. En algunas zonas, este proceso llevó a la total desaparición de la superficie de playa en el año 2006, con numerosos daños en su parte posterior y sus infraestructuras costeras, como paseos marítimos, edificios o campings, que ahora reciben el impacto directo de los temporales marítimos debido a la incapacidad de la playa para proteger la costa. Para aprender de los errores y proponer soluciones, el primer paso es ampliar la base de conocimiento de qué hemos hecho en la región, así como sus efectos y consecuencias. Solo entonces estaremos en disposición de proponer soluciones que sigan las directrices de la gestión por ecosistema.

Palabras clave: erosión costera, acciones humanas, evolución costera, comparación por fotografía aérea, tasas de erosión/acreción.

1. Introducción

En el marco de las Políticas Marinas y Costeras de la Unión Europea (*European Union Coastal and Marine Policy*), se lanzó en 2013 una propuesta de Directiva para la Planificación Territorial Marítima y la Gestión Integrada de Zonas Costeras (MSP-ICM, Warner & Verhallen, 2005) para tratar, entre otros, el problema de la fragmentación de responsabilidades y los conflictos por objetivos de sus políticas jurisdiccionales. Al final del proceso legislativo, la Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC) no fue incluida en la directiva 2014/89/EU, que establece un marco para la planificación territorial marítima. La única mención a la GIZC, fue un artículo que hace referencia a la ne-

cesidad de cuidar las interacciones tierra-mar a través de procesos formales y/o informales de la GIZC. Sin embargo, los problemas originados por el hecho de no integrar correctamente las demandas medioambientales, sociales, culturales y económicas en una zona costera definida, pueden tener consecuencias muy negativas a medio y largo plazo. Todas estas complejidades se amplifican cuando consideramos zonas costeras que tienen un sistema fluvial como principal aporte sedimentario. Las zonas deltaicas son una de esas áreas en las cuales la ausencia de una gestión integrada y de marcos de gobernanza efectivos puede tener consecuencias muy negativas. Globalmente, las zonas deltaicas se en-

cuentran actualmente en retroceso sufriendo, año tras año, grandes pérdidas de superficie emergida debido a las alteraciones humanas en las tasas de transporte sedimentos y otros procesos a escala global (Ericson *et al.*, 2006; Valiela 2006; Nicholls *et al.*, 2007; UNESCO-IRTCES, 2011). Una de estas zonas es el delta de la Tordera.

La cuenca del río Tordera (894 km^2) se encuentra en el Noreste de la Comunidad Autónoma de Cataluña (España) (Figura 1A). Se trata de uno de los cursos fluviales más importantes de ésta zona fluyendo en dirección NE desde su nacimiento hasta cruzar el sistema montañoso prelitoral, y hacia el SE en el tramo bajo mientras cruza el sistema litoral (Serra *et al.*, 2007). Esta cuenca finaliza en una llanura aluvial, el delta de la Tordera, una extensión de 12 km^2 de material sedimentario depositado por el río Tordera en forma de

aluviones (Figura 1B). El río Tordera divide el delta en dos partes. La parte norte (pertenece a la provincia de Girona) está ocupada por el municipio de Blanes y la playa de s'Abanell, además de una pequeña parte del término municipal del municipio de Tordera. La parte sur (pertenece a la provincia de Barcelona) incluye dos municipios, Palafolls y Malgrat de Mar, siendo el último el único que da al mar con las playas de La Conca (próxima al río) y la de Malgrat de Mar (delante del núcleo urbano). El delta de la Tordera se podría clasificar como una llanura de arena gruesa formada con sedimentos procedentes de la erosión de granitoides de las cordilleras costeras catalanas (Sorribas *et al.*, 1993) (Figura 1B). Estos sedimentos, depositados por el río Tordera (90%) y otros cursos fluviales menores (10%), se depositan encima del basamento granítico, de igual composición y edad que los del área fuente, y sobre

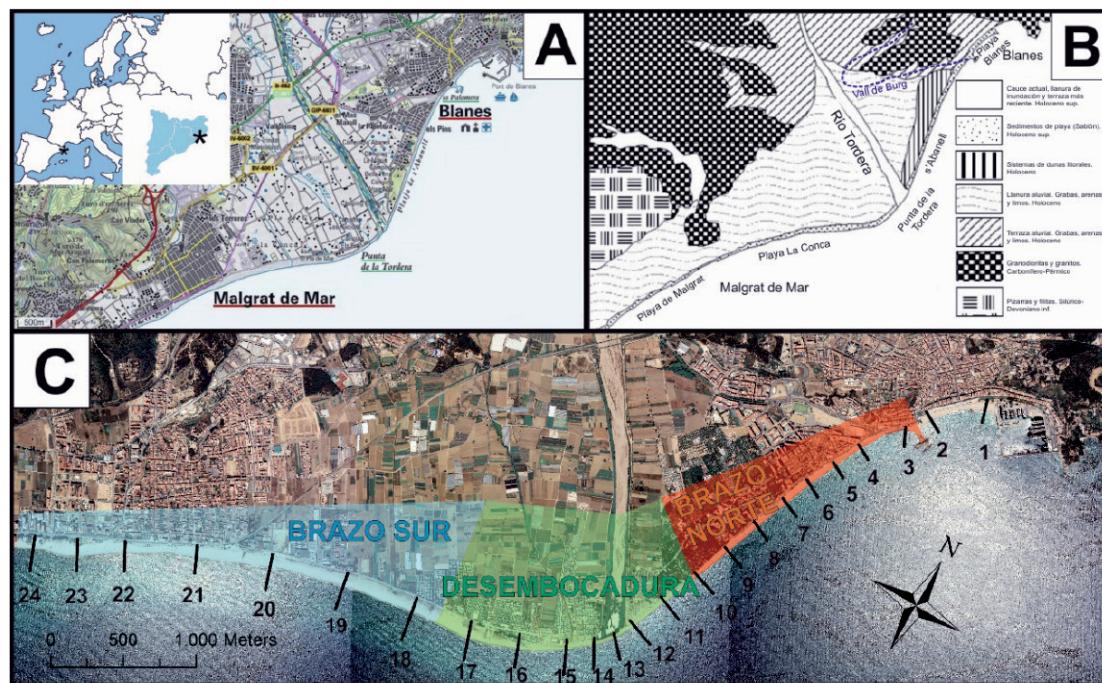


Figura 1. A) Mapa topográfico de la zona de estudio con la situación de la zona de estudio: Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya (ICGC). B) Mapa geológico de la zona de estudio. C) Fotografía aérea de 2006 con los 24 transectos analizados.

pizarras y filitas, materiales donde se emplazó la gran intrusión del Maresme (Sorribas, 1991). El delta se encuentra en una zona de régimen fluvio-torrencial típico de la Mediterránea Occidental y una predominancia del oleaje del Noreste (Vila y Serra, 2015).

Durante los últimos 60 años, el tramo bajo de la cuenca del río Tordera ha sufrido grandes cambios en su dinámica fluvial, en los usos del suelo y en la gestión del recurso hídrico y sus playas se han resentido de estas dinámicas. En una primera etapa durante el desarrollismo español (años cincuenta y sesenta) estos cambios se produjeron sin ninguna ley territorial que ordenara sus procesos naturales. A partir de 1968 la Ley de Costas, reformada en 1988 con una última pequeña modificación que entró en vigor en 2016 (Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas), ordenó parcialmente el uso del litoral, aunque esta ordenación se hizo de forma absolutamente desintegrada de los procesos naturales que rigen el estado del delta (cursos fluviales y planificación territorial terrestre). El progresivo abandono de cultivos seguido del aumento de la impermeabilización del suelo por la construcción, añadió más presiones al sistema fluvial que han afectado también al sistema litoral debido a la reducción del caudal del río y de los aportes sedimentarios de éste (Serra y Pinto, 2005). Hay que tener en cuenta que entre 1956 y 2006 nunca se contempló una gestión integrada en la gestión del delta, estando ésta basada únicamente en los requisitos administrativos de la Ley de Costas. Hoy en día, es una zona con gran ocupación turística y residencial, la cual ejerce enormes presiones a sus recursos naturales (García y Servera, 2003; Martí 2005; Ariza *et al.*, 2007).

Si en los años cincuenta las playas del delta presentaban una anchura que superaba en algunos tramos los 100m, en 2007, amplios tramos de dichas playas (como la comentada playa de s'Abanell) quedaron sin arena. Esto provocó un cambio en la gestión de esta zona. La problemática del delta de la Tordera está aso-

ciada, igual que en la mayoría de deltas en recesión, a la reducción de las tasas de transporte de sedimentos como consecuencia de la acción humana. Sin embargo, tiene un hecho diferencial respecto a la mayoría de deltas en recesión, y es que la cuenca de la Tordera no cuenta con alteraciones del tipo embalses o pantanos. Esta diferencia es muy importante ya que, por este motivo, no tenemos ningún obstáculo a la libre circulación de sedimentos. Así pues, a pesar de haber una clara similitud en la variable causante de la recesión del delta de la Tordera con otros deltas (las tasas de transporte de sedimentos), las modificaciones realizadas en su cuenca son menos invasivas y su afectación al sistema puede ser reducida, al menos, parcialmente.

La capacidad de transporte de sedimentos del río Tordera ha sido objeto de discusión a lo largo del tiempo. Durante muchos años se ha considerado que su transporte anual oscilaba entre 45.000 m³/año (DGPC 1986) y 60.000 m³/año (MOPU, 1979; Copeiro, 1982). Sin embargo, estudios más recientes estiman un potencial de transporte máximo mucho mayor, de unos 200.000 m³/año, en base al estudio de cuerpos relictos en el delta sumergido de la Tordera (Serra *et al.* 2007). Este transporte representa hasta un 90% de la arena de las playas del delta, siendo el 10% restante el correspondiente a ríos y arroyos de la zona. De estos cursos más pequeños, el más importante es la riera de la Vall de Burg, con una cuenca de 8 km² (DPTOP, 2013), que incluso funcionaba en el pasado como un canal secundario del río Tordera en momentos de grandes crecidas; en la actualidad es tan solo un colector pluvial debido a la canalización y encauzamiento que ha sufrido en las últimas décadas.

La problemática de erosión en el delta de la Tordera presenta un claro componente antrópico. En la región Noroeste del Mediterráneo, el nivel del mar sube de media unos 1,5mm por año (EEA, www.eea.europa.eu/data-and-maps/data) lo que produce alrededor de 15-20cm de retroceso de la línea de costa según el principio de Schwartz's Bruun (Schwartz 1967) el cual

está agravado por procesos de subsidencia en algunas zonas. Sin embargo, los procesos de erosión medidos en las playas catalanas (Noreste Español) promedian 103cm por año (Jiménez *et al.*, 2016), lo que indica una preponderancia de la intervención humana cuando deseamos explicar el proceso observado de erosión natural. La situación de las playas del Delta en 2007 cuestionó cuales eran las causas principales por las que habían desaparecido sus playas siguiendo las recomendaciones del contrato-informe de la Comunidad Europea Euroision (Veloso-Gomes *et al.*, 2006).

Euroision recomienda en un inicio ampliar la base de conocimiento de las dinámicas presentes en la zona y la identificación de factores clave que expliquen dicha situación. El objeto del presente trabajo es mostrar la evolución geomorfológica del delta de la Tordera durante un período de 50 años (1957-2006) relacionando la evolución del Delta con los cambios que ha sufrido la zona debido a la actividad humana como la transformación de los usos del suelo o las interferencias con los

procesos naturales. Se describe cómo la fragmentación en las decisiones políticas puede conllevar a la degradación, e incluso desaparición, del activo más importante de una región, sus frecuentadas playas de arena (Sardá *et al.*, 2001; Cormier *et al.*, 2010). Estudiando la evolución del delta de la Tordera y los cambios en el curso bajo del río durante el período 1956-2006, este trabajo tiene por objetivos: a) describir la evolución de la línea de costa del delta durante medio siglo, b) correlacionar dicha evolución con las actividades y decisiones humanas hechas en la región, c) establecer escenarios de futuro para la costa basados en la dinámica pasada, y d) remarcar la necesidad de establecer un marco para la gestión integrada en zonas costeras para el uso sostenible de los recursos naturales a través de un marco de gobernanza efectivo que se base en los principios estratégicos del enfoque ecosistémico (*Ecosystem Approach*, CBD 1999) y una gestión por ecosistema (*Ecosystem-Based Management*, Sarda *et al.*, 2014).

2. Metodología

Evolución costera: información usada y tratamiento de datos

Para evaluar los cambios en la región del delta de la Tordera y la evolución de su línea de costa compilamos una serie de fotografías aéreas. Estas fotografías cubren un período de 50 años desde 1956 a 2006 (Tabla 1). La fotografía de 1956 se ha tomado como referencia para estimar los cambios costeros. Estas imágenes nos han permitido hacer un análisis de la evolución de la región en 4 períodos distintos (1956 a 1977; 1977 a 1986; 1986 a 2000 y 2000 a 2006).

Para garantizar una superposición precisa de todas las imágenes que permita la comparación de la información extraída de cada una de ellas, las imágenes han sido corregidas geométricamente con la proyección UTM (*Universal Transverse Mercator*) basada en el Sis-

Tabla 1. Colección de fotografías aéreas analizadas con información de fuente, época en que se tomó la foto y escala de las imágenes.

Vuelo	Fuente	Obtenido en:	Escala
1956-1957	Universitat de Girona	Septiembre 1956	1/32,000
1977	Universitat de Girona	Octubre 1977	1/30,000
1986	Universitat de Girona	Agosto 1986	1/22,000
2000	Universitat de Girona	Agosto 2000	1/22,000
2006	Instituto Cartográfico de Catalunya	Junio 2006	1/38,000

tema de Referencia Terrestre Europeo (ETRS 89). Posteriormente, todas las imágenes han seguido un proceso de georreferenciación, para aumentar o reducir sus dimensiones y resolución, usando las herramientas de georreferenciación disponibles en el software *ArcGis* 10.3 de ESRI. Después de éste proceso, la información se ha proyectado y analizado usando las distintas herramientas de análisis que proporciona *ArcGis* 10.3 con el cual obtenemos las líneas de costa de cada año, así como las distintas áreas de erosión y acreción para cada uno de los períodos estudiados.

Para obtener las tasas de erosión y acreción de la línea de costa (en metros por año) se crearon 24 transectos a lo largo de la zona estudiada (Figura 1C). En el cálculo de dichas tasas se usó la herramienta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) para *ArcGis* del Servicio Geológico de Estados Unidos (Thieler y Danforth, 1994; Thieler *et al.*, 2009; Sheik, 2011). Finalmente, se crearon gráficos donde se representa la evolución positiva (color azul) o negativa (color rojo) de cada transecto. A partir de las tasas correspondientes al período de estudio más moderno (2000-2006) obtenemos una predicción de escenarios futuros (a 5, 25 y 50 años vista) para la línea de costa considerando únicamente que se sigue con la tendencia más reciente. A pesar de que en ciertas zonas estos escenarios pueden ser irreales debido a posibles actuaciones de remediación futuras, sirven para visualizar que pasaría si no interviniésemos más y dejásemos la zona evolucionar libremente. Hay que tener en cuenta que existe una variable con gran incidencia en la evolución futura: la variabilidad de los fenómenos naturales. En la proyección de estos escenarios de futuro, no se ha considerado la posibilidad de una variación al alza de los fenómenos naturales, sino que hemos mantenido las tasas del período considerado. Estos escenarios futuros plantean una situación a corto plazo (2011) que ya se ha superado en la actualidad. El motivo de la inclusión de dicho escenario sirve para poder ver si las tendencias observadas en el período 2000-2006 siguen o no en la actualidad.

La carga de sedimentos del río Tordera ha cambiado mucho a lo largo de las décadas estudiadas, así como la forma en que se reparte esa carga sedimentaria una vez llega al mar. Para interpretar estos cambios a través de los dos tipos de oleaje más frecuentes en la zona (Levante y Garbí) y analizar su implicación en la evolución de la línea de costa, se realizó una estimación al clima de oleaje de la región con datos desde 1950 hasta 2006. Como elemento de soporte se realizó una batimetría de la zona costera sumergida más somera en enero de 2015 utilizando la embarcación Dolores propiedad del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Se utilizó una ecosonda que recogió datos, cada 5 segundos y durante unas 5 horas, hasta realizar todos los perfiles previamente diseñados para cubrir la totalidad del delta sumergido con una nube de puntos (con coordenadas XYZ) suficientemente densa como para procesar los datos de manera fiable con las herramientas de interpolación de *ArcGis* 10.3. El siguiente paso consistió en dibujar las líneas de flujo aproximadas (flujos sedimentarios, flujos erosivos y flujos mar adentro) considerando la estructura submarina, los dos tipos de oleaje y los aportes sedimentarios potenciales hacia el sistema costero. Finalmente, comparamos la situación entre 1956 y 2006 para ver las consecuencias de las actividades humanas que se han realizado en la zona y que han modificado su dinámica natural.

La acción humana: análisis de las actuaciones antrópicas

Partiendo de la idea de que las acciones humanas son la causa principal de la regresión de las áreas deltaicas (Syvitski *et al.*, 2009), se recopilaron datos de las distintas actividades humanas realizadas en la zona del delta de la Tordera, incluyendo su línea de costa, obteniendo una línea cronológica de dichas actividades, para ello:

- se visitó el Archivo Municipal del municipio de Blanes para datar las actividades y las transformaciones en los usos del suelo de la llanura deltaica. Fotografías, documentos oficiales, proyectos de

urbanización, mapas o cartas son sólo algunos de los tipos de documentos que se analizaron obteniendo una colección de más de 500 páginas de información relacionada.

- se analizó la prensa histórica local y el conocimiento popular mediante entrevistas con personas mayores y expertos del Ayuntamiento de Blanes. Además de confirmar los datos obtenidos, las entrevistas han proporcionado datos que no aparecían en los archivos como por ejemplo la importancia y magnitud de las crecidas de la riera de la Vall de Burg.

• se compiló y analizó bibliografía científica y técnica (50 artículos científicos, 3 libros y 2 tesis doctorales) en busca de información relevante para este proceso.

El objetivo final de este estudio fue correlacionar éstas actividades humanas con la evolución geomorfológica del delta sabiendo que los sistemas deltaicos son muy sensibles y, a menudo, capaces de desarrollar respuestas muy rápidas a corto plazo (Orton y Reading, 1993; Anthony *et al.*, 2014) además de las consecuencias esperables a largo plazo. Esta correlación se ha realizado individualmente para cada uno de los períodos seleccionados.

3. Resultados

Evolución histórica (1956-2006) del delta de la Tordera

Antes de las primeras fotografías aéreas tomadas en 1956 y que permitieron evaluar los cambios desde el aire, en 1943 se produjo una gran alteración del tramo bajo del río Tordera; se ensancharon los márgenes del río con arena y rocas para evitar los desbordes en episodios de grandes crecidas, que en esta zona se caracterizaban por roturas de los márgenes que hacían migrar el canal. Ésta transformación respondía a la necesidad de los municipios del delta de protegerse a sí mismos de las inundaciones que sufrían por el desbordamiento del río Tordera, las llamadas "Torderadas". La construcción de éstos muros (motas) causó un cambio impactante en la dinámica fluvial ya que de ésta manera se desconectó el río Tordera de sus canales secundarios, como es el caso de la riera de la Vall de Burg. Éstos canales secundarios, que recogían y canalizaban el agua y los sedimentos desbordados, tenían la función de repartir los sedimentos procedentes de la Tordera hacia distintos puntos del delta en momentos de grandes crecidas; es el caso de la riera de la Vall de Burg que conducía una enorme carga de sedimentos

hacia la parte norte del delta, en la playa de s'Abanell. Si tenemos en cuenta que las crecidas más grandes vienen en momentos de grandes levantadas (temporales marítimos de levante) éstos aportes de la riera de la Vall de Burg servían para amortiguar la erosión que éste tipo de oleaje causa en el brazo norte del delta (playa de s'Abanell). Otra alteración importante previa a 1956 es la construcción del puerto de Blanes en 1945-46. Sin embargo, éste puerto fue construido a cubierto de un saliente natural como es la Punta de Santa Ana, limitando su afectación a la zona más próxima a él, es decir, la bahía de Blanes, la cual ya no está considerada como delta de la Tordera. Después de estas dos actuaciones, y ya dentro del período de tiempo en el que disponemos de fotografías aéreas, se sucedieron una gran cantidad de alteraciones humanas en el ámbito del delta de la Tordera, desde modificaciones en el propio río como en la fachada litoral (Figura 2; Tabla 2).

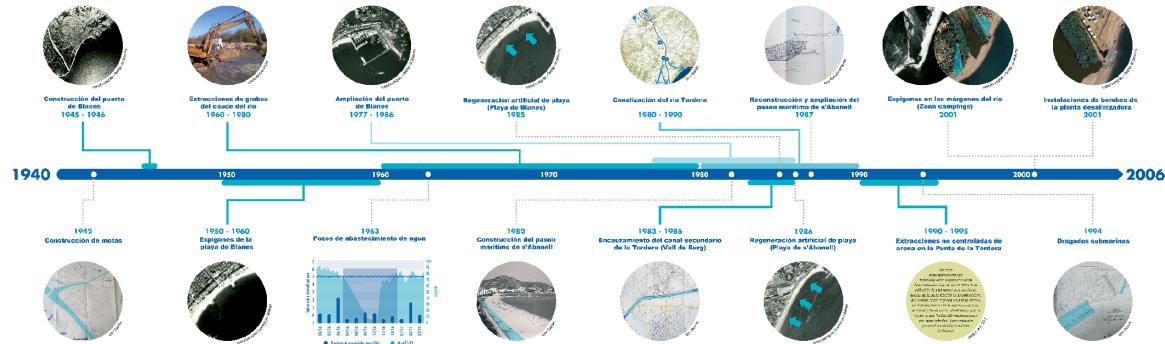


Figura 2. Línea cronológica de acciones humanas en el ecosistema delta de la Tordera que pueden tener una influencia en la dinámica costera.

Tabla 2. Relación de acciones humanas en el ecosistema con la autoridad responsable.

Evento	Época	Autoridad responsable
Construcción del Puerto de Blanes	1945-46	
Extensión I del Puerto de Blanes	1977-1986	Gobierno de España
Extensión II del Puerto de Blanes	2010-2012	
Construcción de motas en los márgenes del río	1943	Junta de Motes (Ayto. de Blanes)
Espigones de la playa del centro de Blanes	1950-1960	Prefectura de Costas y Puertos de Cataluña
Pozos de abastamiento para Lloret de Mar (otros en época parecida)	1963	Confederación hidrográfica del Pirineo Oriental. Ministerio de Obras Públicas
Canalización del tramo bajo del río Tordera	1980-1990	Generalitat de Catalunya
Extracciones de áridos en el lecho del río Tordera	1960-1980	Empresas privadas del sector de la construcción
Canalización de un canal secundario de la Tordera (Riera de la Vall de Burg)	1983-1986	Junta de Aguas, Departamento de Política Territorial y Obras Públicas, Generalitat de Catalunya.
Construcción del paseo marítimo de s'Abanell	1982	Prefectura de Costas y Puertos de Cataluña
Reconstrucción y extensión del paseo marítimo de s'Abanell	1987	(Participación del Ayto. de Blanes)
Regeneración artificial en la playa del Centro de Blanes	1985	Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU) Gobierno de España
Regeneración artificial del tramo norte de la playa de s'Abanell	1986	Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU) Gobierno de España
Extracciones incontroladas de arena en la playa de la Punta de la Tordera	1990-1995	Ayto. de Blanes
Dragado submarino del frente deltaico del delta de la Tordera	1994	Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente (MOPTMA) Gobierno de España
Construcción de la estructura de los pozos de captación de la desalinizadora de la Tordera en la playa de la Punta de la Tordera	2001	Agencia Catalana de l'Aigua (ACA)
Escolleras para proteger los campings de la zona	Después de 2001	Desconocido

Período 1956-1977

Evolución costera

Se trata de un período de 20 años en los que el delta de la Tordera progradaba. Se observa un gran avance de la línea de costa ($\approx 100m$) con una tasa de crecimiento de unos 5 m anuales (Figuras 3 y 4) a excepción de una pequeña zona de retroceso en la parte sur del delta (Figuras 3 y 4). En el resto de zonas el delta se mantenía estable, sin cambios notables en la playa de s'Abanell (brazo norte) y con tan solo una pequeña franja de erosión entre las playas de La Conca y Malgrat (brazo sur) tal como podemos observar en la figura 4. El balance global de la superficie deltaica mostró una acreción global de unos 44.000 m^2 .

Cambios en los usos del suelo

y actuaciones antrópicas

En este período se pusieron en evidencia los cambios sociales y económicos que afectaron a las poblaciones costeras y que generaron grandes transformaciones en el paisaje. Se trata de un proceso global en toda España debido a la transformación social causada por el turismo de masas. Se reemplazaron las tierras agrícolas con suelos impermeables y creció el porcentaje de terreno construido que condujo rápidamente al crecimiento de los núcleos urbanos, urbanizaciones y al aumento de las actividades turísticas. La demanda de agua potable aumentó considerablemente y se procedió a la construcción de nuevos pozos de extracción de agua del acuífero de la Tordera, disminuyendo de ésta manera los niveles de dicho acuífero, el caudal superficial y, por lo tanto, el potencial de transporte de sedimentos del río hacia el mar. En este período, el cauce y los márgenes del río Tordera se usaron como fuente de materiales de construcción (arena y gravas) para cubrir la demanda que exigía el desarrollo urbanístico que experimentaba tanto la zona del delta de la Tordera como el resto de Cataluña. Las extracciones de gravas y arenas del río Tordera se iniciaron en 1960 y se mantuvieron hasta mediados de la década de los años 80. (Tabla 2; Figura 2). A pesar de que no existen documentos ofi-

ciales de contabilidad y registro de éstas extracciones se estima que se trajeron millones de metros cúbicos de arena y gravas (Gutiérrez, 1999). Esta reducción de la disponibilidad de sedimento para ser transportado redujo los aportes de sedimento hacia el mar (y hacia las playas) a corto plazo, pero sobre todo a medio y largo plazo haciendo necesario el llenado de los fosos de extracción antes de recuperar las tasas originales de transporte, algo que requiere de mucho tiempo (décadas) para realizarse de forma natural.

Período 1977-1986

Evolución costera

En éste período se observa un giro hacia el sur del delta (Figuras 3 y 4) que viene representado por el inicio del retroceso de la línea de costa en su brazo norte ($\approx 25m$), la entrada en recesión de la zona de la desembocadura (alrededor de 6m anuales) y un avance generalizado en el brazo sur, a excepción de la zona del núcleo urbano de Malgrat de Mar. Sin embargo, observamos que se trata de un período de estabilidad en cuanto al balance global de sedimentos ya que la superficie erosionada (67.000 m^2) y la ganada (67.000 m^2) son iguales.

Cambios en los usos del suelo

y actuaciones antrópicas

Durante los años 80 se observa una gran cantidad de modificaciones en la zona deltaica. El tramo bajo del río Tordera fue canalizado con lo que se redujo la movilidad de la desembocadura y la funcionalidad de los canales secundarios modificando la distribución de los sedimentos hacia el mar. Además, la riera de la Vall de Burg, que ya había sido desconectada del río Tordera por la construcción de las "motitas", se enterró y se canalizó con hormigón dejándola como un simple colector de aguas pluviales. Esta actuación eliminó la capacidad de transportar sedimentos en el extremo norte de la playa de s'Abanell (extremo norte del delta) (Figura 2; Tabla 2).

Tanto Blanes como Malgrat de Mar, los dos municipios costeros del delta de la Tordera, vieron au-

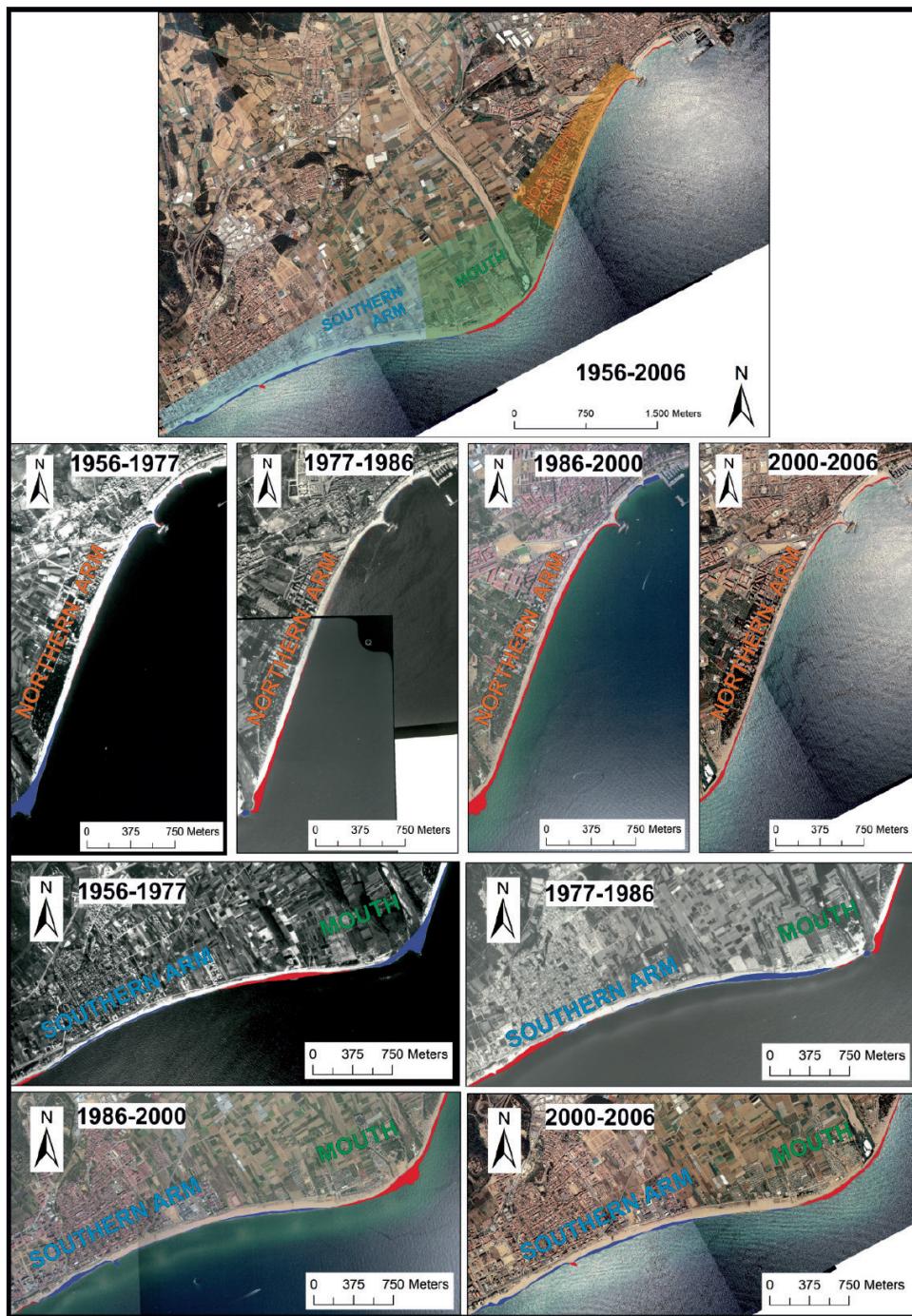


Figura 3. Evolución costera del delta de la Tordera en distintos períodos entre 1956 y 2006 dónde las áreas pintadas en rojo representan erosión y en azul acreción.

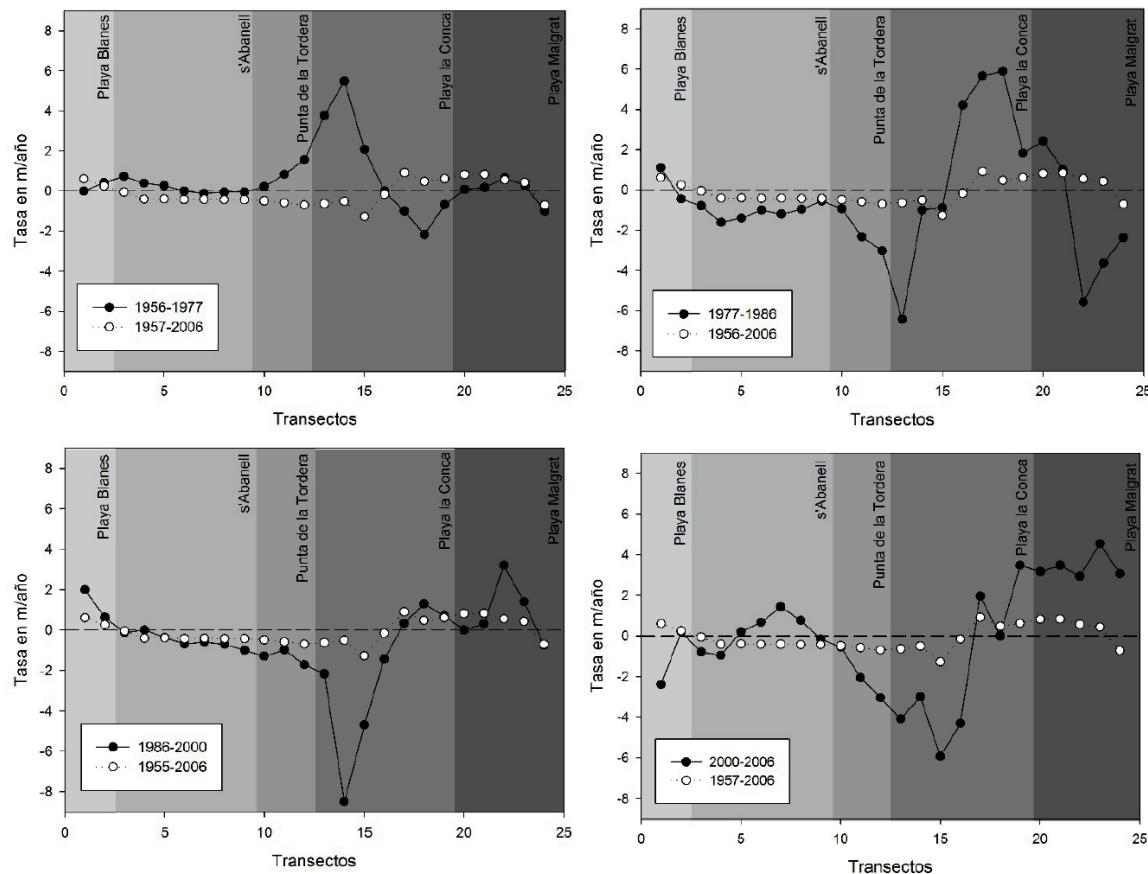


Figura 4. Tasas de erosión (-) y acreción (+) de la línea de costa del delta de la Tordera de Norte de Sur.

mentado enormemente el turismo. Éste hecho hizo crecer enormemente los núcleos urbanos, dotándolos de nuevos servicios e instalaciones como campings y otras infraestructuras turísticas situadas justo detrás de las playas. Ésta expansión de la población y los nuevos desarrollos que conllevaba, demandaron la construcción de un paseo marítimo en los años 80 en la playa de s'Abanell, a lo largo de unos 1.700m de los 2.300 que tiene de largo la playa. El paseo marítimo debía servir como protección para todas las nuevas construcciones realizadas en primera línea de mar. Sin embargo, fue

construido encima de la playa, perdiendo de esta manera una parte importante de su extensión (la parte posterior de la playa), fijando su orientación y no se extendió a lo largo de toda la playa hecho que hizo perder la continuidad de la playa causando una desconexión entre la zona de s'Abanell con paseo marítimo detrás y la zona de la Punta de la Tordera (extremo sur de s'Abanell) sin paseo. Junto con la construcción del paseo de s'Abanell, en 1982, se realizó la primera regeneración artificial de playa para restablecer las pérdidas que ya empezaban a aparecer.

Período 1986-2000

Evolución costera

Se trata de un período dominado por la erosión (Figuras 3 y 4). La zona central del delta presenta una tasa de erosión muy fuerte de hasta 7 metros por año mientras que en la zona norte la recesión no es tan marcada, siendo ésta de unos 2 metros anuales, e incluso nula en el extremo norte (Figura 4). La situación es bien diferente en la zona sur del delta donde se puede observar un ligero avance de la línea de costa. En definitiva, el balance sedimentario global muestra una erosión de unos 47.000m² de superficie deltaica.

Cambios en los usos del suelo

y actuaciones antrópicas

Con el objetivo de solventar los primeros problemas ligados al retroceso de la costa en el tramo más septentrional de la playa de s'Abanell, se realizaron extracciones no controladas de arena en las playas más próximas a la desembocadura de la Tordera. Éstas extracciones se realizaron entre los años 1990 y 1995 con la intención de mejorar las condiciones y regenerar la playa de s'Abanell y la playa del centro de Blanes antes de las estaciones de verano. Éstas extracciones, no legales según la ley de Costas, no fueron registradas, pero varias personas anónimas que fueron entrevistadas y expertos en la zona confirmaron ésta actuación. Todo ello empeoró y aceleró la pérdida de sedimentos en la desembocadura y sus zonas adyacentes, a la vez que tan solo consiguió reducir parcialmente y a corto plazo (meses de verano) los problemas de erosión de las playas de Blanes.

La reducción de la tasa de transporte del río Tordera no sólo tuvo influencia para la zona deltaica, sino que también la tuvo en muchas otras playas del Maresme, región que se extiende desde Malgrat de Mar hasta el Área Metropolitana de Barcelona, dónde se empezó a perder superficie de playa de forma generalizada. La demanda de aportes sedimentarios artificiales de todas estas playas del Maresme se incrementó con el paso de los años y muchas de ellas fueron regeneradas con sedimentos procedentes de la parte sumergida del delta

de la Tordera (Figura 2; Tabla 2). En 1994, se declaró una extracción de 1,5 millones de metros cúbicos de arena de la zona sumergida del delta de la Tordera creando un enorme foso en la plataforma deltaica, muy cerca del talud del prodelta a lo largo de toda la extensión del delta. Precisamente, la batimetría realizada en 2015 pudo detectar de forma clara la cicatriz en forma de bañera correspondiente a dicha extracción de arena.

Período 2000-2006

Evolución costera

Durante éste período la zona de la desembocadura y el brazo norte del delta sufrieron muchos problemas ligados a la erosión. La anchura de la playa se redujo de tal manera que ya no era suficiente para proteger la parte posterior de la playa y, en muchas ocasiones, durante los temporales marítimos, el paseo marítimo quedaba colapsado de sedimento e incluso, a veces, se llegaba a romper la estructura del paseo dejando al descubierto la calle y los edificios de primera línea de mar que a menudo sufrían graves desperfectos, los cuales requerían largos y costosos trabajos de reconstrucción. Igual que en el período anterior, la zona de la desembocadura presentó una tasa de erosión muy fuerte de hasta 6 metros anuales (Figuras 3 y 4). Sin embargo, la tasa erosiva del brazo norte se redujo, incluso se llegó a tasas positivas en algunos puntos. En el otro extremo encontramos que el brazo sur experimentó fuertes tasas de acreción de entre 2 y 4 metros anuales de avance de la línea de costa (Figura 4). A pesar de éste avance en la zona sur, el balance sedimentario global muestra una pérdida de 21.000 m² de superficie deltaica.

Cambios en los usos del suelo

y actuaciones antrópicas

La primera planta desalinizadora de agua de mar de Cataluña se construyó a finales del siglo XX en el delta de la Tordera e inició su actividad en el año 2001. La planta se construyó en el margen norte del río a escasos 500 metros de su desembocadura. La desalinizadora necesitó de la construcción de pozos de extracción

de agua que fueron situados en la parte posterior de la playa de la Punta de la Tordera (extremo norte de la playa de s'Abanell), en la zona de los campings. Sin embargo, esos pozos, que pretendían coger agua salada de la intrusión salina en el acuífero de la Tordera, nunca funcionaron correctamente ya que el agua que bombeaban tenía una concentración muy pobre de sal, llegando a bombear agua dulce en algunas ocasiones que dañaba las membranas de la planta desalinizadora. Posteriormente, se construyó una tubería de captación directa de agua del mar que se colocó en el fondo marino de la plataforma deltaica llegando a escasos metros del talud deltaico (Figura 2; Tabla 2). Desde 2001 hasta 2006 se observa una aceleración en la desestabilización de la desembocadura causando graves problemas en la zona norte de la desembocadura. El oleaje en episodios de temporal marítimo superaba constantemente la anchura de playa y llenaba de sedimentos el paseo marítimo e inundaba infraestructuras como los campings. Como consecuencia de todo esto, observamos un período de construcción de escolleras a ambos lados de la desembocadura para evitar la inundación de los campings (Figura 2; Tabla 2) que acabó con la poca movilidad que le quedaba a la desembocadura del río, dejándola con una orientación fijada perpendicular al mar y con una escollera que evita la correcta distribución de sedimentos hacia la zona norte y, sobretodo, en las zonas más próximas (tanto norte como sur) de la desembocadura. A pesar de ello, varios temporales marítimos forzaron a reconstruir frecuentemente partes del paseo marítimo, parcelas de camping o bajos de edificios debido a la ausencia de una anchura de playa suficiente para cumplir la función de protección que debería ejercer. A finales de 2006 diferentes tramos de playa del delta, sobretodo tramos de las playas de s'Abanell y la Conca, perdieron toda superficie de playa siendo necesario a partir de ese momento un plan de regeneración artificial en las zonas afectadas.

Dinámica costera y escenarios de futuro para costa del delta

El balance entre superficie perdida y ganada durante los 50 años estudiados, da una pérdida de 24.000 m² de superficie de playa del delta, lo que significa un 5% de la superficie de playa existente en el año 1956. Se observa un gran cambio en la dinámica deltaica observado a partir de los años 80, pasando de un delta progradante a un delta en recesión en su zona central y norte (Figura 3). La línea de costa en el brazo norte del delta (playa de s'Abanell), la cual se había mantenido estable hasta mitad de los años 80, experimenta tasas erosivas de unos 2 metros anuales de media (Figura 4). En la zona de la desembocadura, las tasas de acreción de entre 4 y 6 m anuales se transformaron en tasas de erosión de la misma magnitud e incluso superiores (Figura 4) que desembocaron a la desestabilización de ésta zona. Sólo el brazo sur (playas de Malgrat de Mar), que se había mantenido más o menos estable hasta mediados de los 80, empezó a experimentar tasas de acreción de unos 2 metros anuales (Figura 4). Así pues, a pesar de que la pérdida de superficie fue "sólo" del 5% del total, ésta se concentró en la parte norte y centro del delta, a la vez que empezó a crecer la parte sur, hecho que pone de manifiesto un importante cambio en la forma cómo se reparten en la actualidad los sedimentos procedentes del río Tordera.

El oleaje del este (Levante) y el del oeste (Garbí) son los que dominan la dinámica litoral en la zona del delta de la Tordera y, por lo tanto, son los que inciden en su morfología costera. La figura 5 muestra cómo se ha modificado ésta dinámica litoral desde los años 50 a 2006. Al principio del período estudiado (1950s) los aportes sedimentarios procedentes del río Tordera se distribuían también mediante otros canales secundarios tanto en el brazo norte como en el sur del delta, especialmente a través de la riera de la Vall de Burg que nutría de sedimentos el extremo norte del delta. En esa situación la combinación de los dos oleajes dominantes (opuestos entre ellos) redistribuía ese sedimento

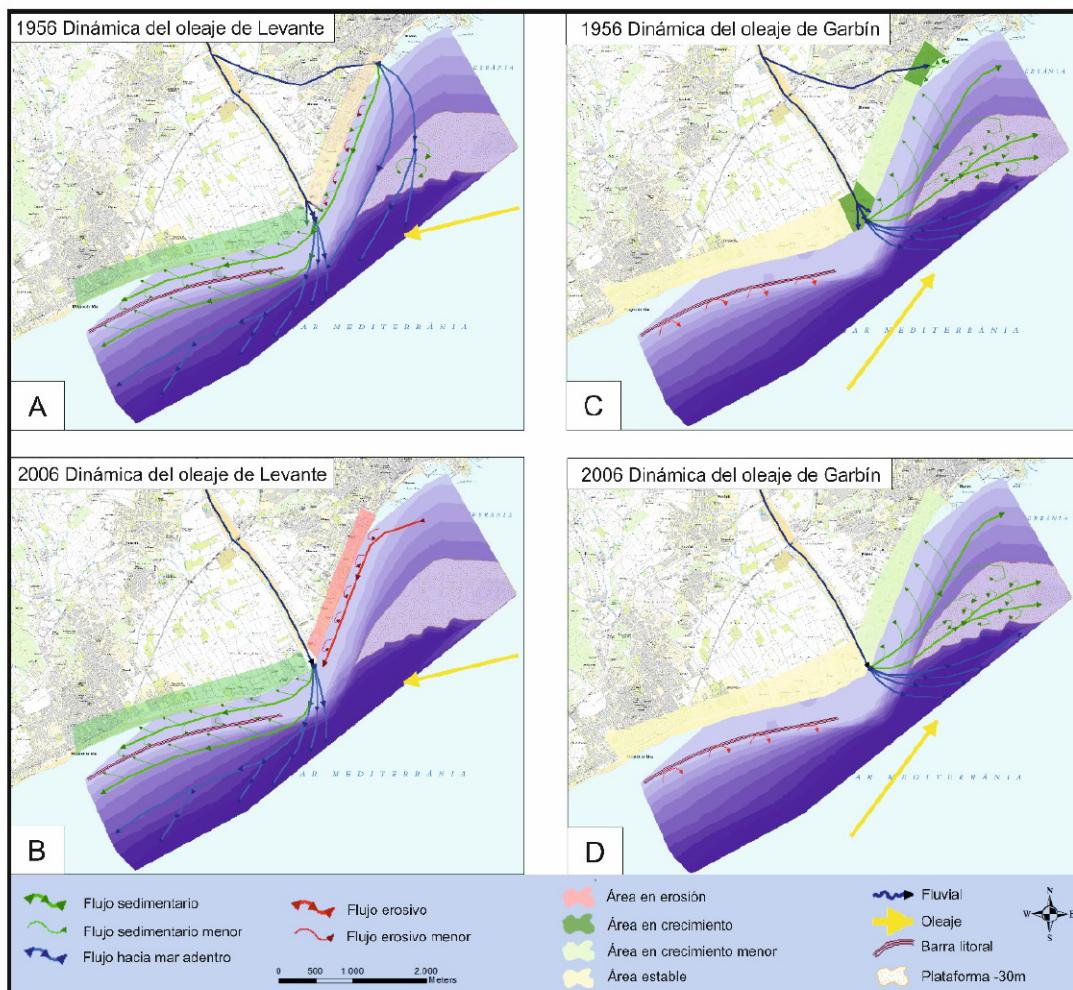


Figura 5. Simulación de la dinámica de transporte de sedimentos una vez estos llegan a la desembocadura del río. A) Dinámica para temporales de levante en 1950; B) Dinámica para temporales de levante en 2006; C) Dinámica para temporales de Garbí en 1950 y D) Dinámica para temporales de Garbí en 2006.

a lo largo de la playa de s'Abanell generando tasas de acreción moderadas e incluso fuertes. Cincuenta años más tarde, en 2006, la riera de la Vall de Burg, así como otros canales secundarios menores, ya no eran funcionales y los sedimentos del río Tordera se canalizan únicamente a través de su cauce principal con una desembocadura fuertemente canalizada y con obstáculos rígidos que dificultan la aportación hacia el norte. En

esta nueva situación, la redistribución de sedimentos es mucho menor y la erosión domina la dinámica litoral en el brazo norte del delta, a la vez que se facilita el aporte hacia el sur donde domina la acreción por un aumento en el porcentaje de sedimentos que llegan a esa zona.

Extrapolando la dinámica más reciente analizada (2000-2006) hacia el futuro se pueden predecir gran-

des procesos erosivos que afectan las zonas central y norte del delta de la Tordera. En ese sentido, pueden dibujar 3 escenarios a 5, 25 y 50 años vista (Figura 6); estos escenarios se han hecho con algunas asunciones como que no habrá ninguna acción humana para parar o regenerar la erosión de la zona (hecho poco probable) y teniendo únicamente en cuenta las tasas presentes en el período 2000-2006. El objetivo es ver dónde se focaliza la amenaza erosiva y qué efectos podría tener en las actividades económicas de la zona como los campings.

Escenario a corto plazo (5 años)

El escenario a corto plazo proyectado para el año 2011 ya muestra cambios importantes en la línea de costa, tal y como observamos en la realidad. En el brazo sur (Figura 6A) la dinámica de 2006 sugería un crecimiento de la superficie de playa con un avance total de entre 10 y 20 metros, un hecho que se cumplió en el año 2011 y que en la actualidad sigue, habiendo avanzado un total de unos 15 metros más desde 2011. Sin embargo, para la zona central del delta, dónde se encuentra la desembocadura del río (Figura 6B), esa misma dinámica sugería una importante erosión de alrededor de

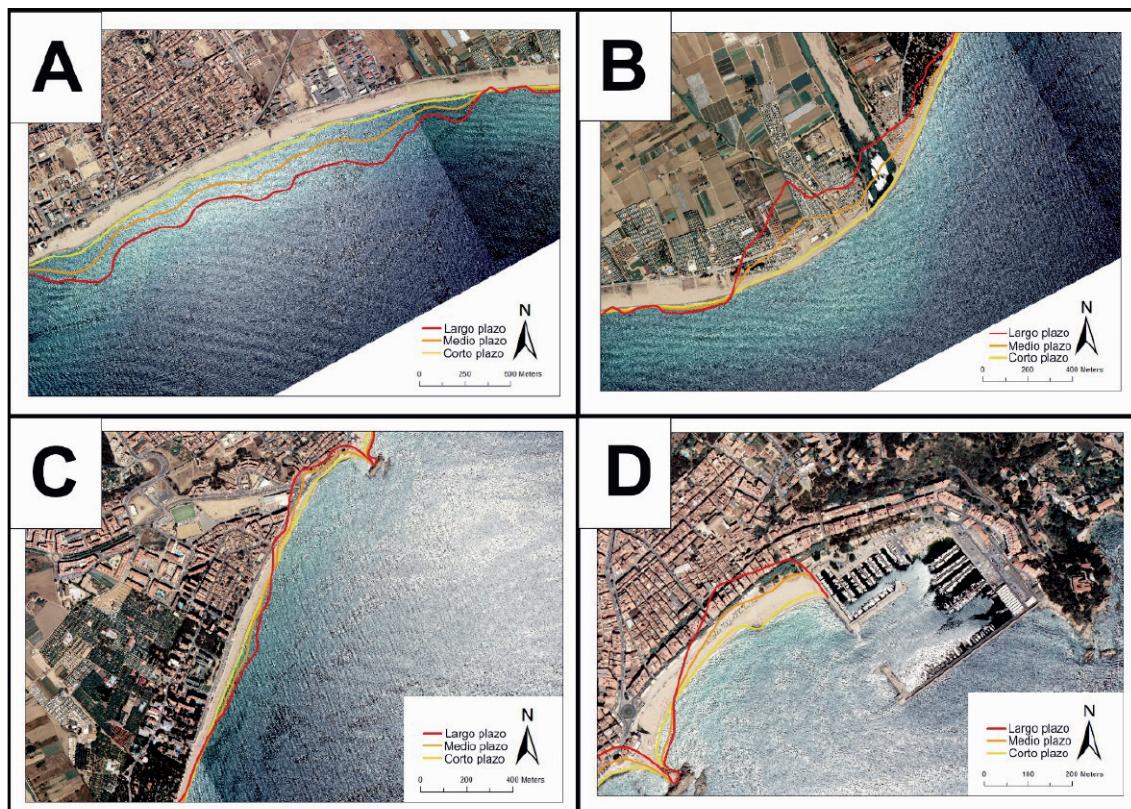


Figura 6. Secuencia de fotografías con los escenarios futuros de línea de costa En base a la dinámica del año 2006 proyectados para los años 2011 (amarillo), 2031 (naranja) y 2056 (rojo). De izquierda a derecha y de arriba abajo: A) Zona de Malgrat de Mar; B) Zona de la desembocadura del río (Delta y Punta de la Tordera); C) Playa de s'Abanell y D) Playa del centro de Blanes.

10 metros a lo largo de todo el período alcanzando un máximo de 30 metros de erosión acumulada en el lado sur de la desembocadura, si bien las defensas existentes (escolleras discontinuas) se preveía que se mantuviesen efectivas. En los datos reales de 2011, se observan dichas tasas de erosión en la zona de la desembocadura a la vez que se denota la efectividad de las defensas presentes. Sin embargo, a partir de 2015 las defensas ya no eran efectivas y fue necesario ampliarlas, enlazándolas entre si y extendiéndolas hacia el sur. En el brazo norte, en la playa de s'Abanell (Figura 6C), la dinámica de 2006 sugería una pequeña variación, exceptuando su extremo norte donde se sugería la pérdida total de la superficie de playa, un hecho que se cumplió ya en 2008 en el cual la playa de s'Abanell se quedó sin arena en gran parte de su extensión. Desde entonces y hasta 2009, se realizaron hasta 3 regeneraciones artificiales de playa para contrarrestar la erosión. Desde 2010, ésta playa se muestra estable e incluso en los últimos 3 años muestra una tendencia al crecimiento. La playa del centro de Blanes, fuera del ámbito del delta de la Tordera (Figura 6D), se espera que se mantenga estable a corto plazo. Dicha estabilidad se mantiene aún en 2018, habiéndose producido variaciones muy pequeñas en la playa desde 2006.

Escenario a medio plazo (25 años)

El escenario a medio plazo proyectado para el año 2031 prevé cambios más críticos. En el brazo sur del delta (Figura 6A) se prevé un avance acumulado de hasta 100 metros. Por otro lado, la zona central del delta, dónde se encuentra la desembocadura del río (Figura 6B), entraría en un profundo retroceso dónde su erosión acumulada sobrepasaría las defensas existentes que ya no serían efectivas. En ésta situación, se estima que los campings situados en el lado sur de la desembocadura perderían alrededor de 60.000 m² de superficie mientras que los situados en el lado norte perderían algunas parcelas, las situadas más cerca del mar. En el brazo norte, en la playa de s'Abanell (Figura 6C), cabría esperar dos evoluciones diferenciadas: La zona sur

y centro de la playa de s'Abanell crecerían levemente mientras que, en la zona norte, dónde a corto plazo ya se habría perdido toda la superficie de playa, se espera que haya una enorme afectación del paseo marítimo y de la calle adyacente. Finalmente, incluso en la playa del centro de Blanes se prevé un importante retroceso de hasta 65 metros a lo largo de toda la playa (Figura 6D). Bajo éstas circunstancias, los eventos de inundación costera previstos en el Plan Regional de Inundación de la Generalitat de Cataluña (Generalitat de Catalunya 2010) tendrían importantes consecuencias negativas, especialmente en la zona de la desembocadura.

Escenario a largo plazo (50 años)

El escenario a largo plazo proyectado para el año 2056 prevé cambios críticos en toda la morfología del delta. En el brazo sur (Figura 6A) se observa un avance acumulado de hasta 200 metros en algunos tramos. Sin embargo, en la zona central, en la desembocadura del río (Figura 6B), se prevé un retroceso muy marcado. De hecho, se estima una pérdida de 200.000 m² de superficie de camping contando ambos lados de la desembocadura, lo que significa aproximadamente la mitad de la superficie actual ocupada por campings. En el brazo norte, en la playa de s'Abanell (Figura 6C), cabría esperar dos evoluciones distintas: La zona sur y centro de s'Abanell acumularían un avance notable de entre 40 y 60 metros mientras que la zona norte, dónde ya hablábamos de afectación del paseo y la calle a medio plazo, a largo plazo se prevé que habría afectación al entramado urbano (edificios, red eléctrica, etc...). Finalmente, la playa del centro de Blanes (Figura 6D) se espera que retroceda hasta el punto de perder toda su superficie de playa con la afectación del entramado urbano asociado en momentos de temporal.

Éste análisis de escenarios de futuro pone de manifiesto la necesidad urgente de tomar acciones correctoras cuanto antes incluso a corto plazo (5 años), dónde ya se observan puntos críticos como el extremo norte de s'Abanell o la zona de la desembocadura.

4. Discusión

El caso del delta de la Tordera sigue la narrativa actual del patrón erosivo que están sufriendo las zonas costeras debido al cambio global (Ericson *et al.*, 2006; Valiela 2006; Nicholls *et al.*, 2007; UNESCO-IRTCES, 2011). En áreas donde predominan los cultivos, como ocurría en la zona estudiada en la primera parte del S.XX, el suelo se erosiona más fácilmente y los sedimentos son arrastrados por las corrientes superficiales de ríos y rieras progradando los deltas y las playas que los forman. Al abandonarse los cultivos, crece fuertemente el porcentaje de suelo impermeabilizado por el fenómeno de urbanización y los bosques se regeneran. Como consecuencia, se movilizan menos sedimentos en los cauces fluviales y las áreas deltaicas entran en recesión (Valiela, 2006), tal y como ocurrió en la segunda mitad del S.XX en ésta región. Este patrón general se desarrolló a partir de políticas públicas fragmentadas y poco coordinadas que llevaron a esta zona a la pérdida de la funcionalidad del río.

Desde 1956 hasta 2006 la línea de costa del delta de la Tordera ha retrocedido una media de 22 metros en el brazo norte, 42 metros en la zona central (desembocadura del río) y ha avanzado unos 35 metros en el brazo sur. Éste patrón general de erosión/acreción en el delta de la Tordera ha seguido un giro hacia el sur de la estructura deltaica iniciado en el período 1977-1986. El caso del delta de la Tordera no se trata de un caso aislado ya que varios deltas estudiados en el mundo sufren una cascada de eventos similar (Orton y Reading, 1993; Bondesanf *et al.*, 1995; Fanos, 1995; Valiela, 2006; Anthony *et al.*, 2014). Lo que es común en todos los ejemplos es la fragmentación de responsabilidades políticas en el momento de tomar decisiones, lo que ha conducido a ésta situación. Los procesos naturales (cómo el de erosión) se desarrollaron durante millones de años de manera integrada; los humanos hemos alterado éstos procesos naturales de forma significativa.

El retroceso del delta de la Tordera se aceleró con un conjunto de acciones antrópicas (Tabla 2). El giro ha-

cia el sur en la dinámica deltaica se corresponde cronológicamente con los trabajos de canalización del tramo bajo de la Tordera que redujeron drásticamente la capacidad de transporte y la movilidad de su canal principal (Martínez, 1994; Echevarria, 2013; Bergillos *et al.*, 2015) modificando los porcentajes de distribución de los sedimentos una vez llegan al mar. La canalización del río agravó una situación que ya había comenzado con la construcción histórica de las “motas” en los márgenes del río en los años 40, lo cual que causó un primer grado de desconexión entre el canal principal y los canales secundarios que había en el delta determinantes para la morfodinámica de las playas. Como consecuencia de todo esto, el delta de la Tordera ajustó su posición y dio lugar a sus nuevas características (Panareda y Serrano, 2008) que hacían imposible que agua y sedimentos del río pudiesen ser repartidos directamente en diferentes zonas de la fachada litoral del delta, un hecho muy importante para el brazo norte debido al menor potencial de redistribución de sedimentos del oleaje del sur (Sorribas *et al.*, 1993) que es el responsable de enviar sedimentos del río a esa zona. Las extracciones de gravas para la industria de la construcción, realizadas en el mismo cauce del río y que se iniciaron en 1960, empezaron a tener consecuencias negativas para el delta siguiendo la teoría de “las consecuencias no inmediatas” (Erskine *et al.*, 1985). Las extracciones de agua del acuífero para satisfacer el crecimiento económico y social de los municipios de la zona afectaron los niveles de agua subterránea los cuales a su vez redujeron el transporte de sedimentos debido a la reducción del flujo de agua superficial como consecuencia de ese descenso de niveles del acuífero.

Durante los años 80, el municipio de Blanes (situado en el brazo norte del delta) decidió construir un paseo marítimo. Éstas infraestructuras, construidas encima de la parte posterior de la playa, son uno de los problemas más controvertidos de la gestión de playas (Santás y de la Peña, 2009). El paseo marítimo modificó la



forma de la playa y redujo la anchura de playa efectiva reduciendo así su capacidad de disipar la energía de los temporales marítimos y disminuyendo la función de protección que ejerce la playa (Jiménez *et al.*, 2016). Los últimos trabajos de canalización que modificaron la dinámica deltaica (Martínez, 1994; Echevarría 2013) y la lenta recuperación de la presión ejercida por las extracciones de gravas (Serra y Bosch, 2010) contribuyeron a la aparición de los primeros problemas de erosión en el brazo norte del delta (playa de s'Abanell, Blanes) que acabarían necesitando regeneraciones artificiales de playa. Las extracciones ilegales y no controladas de arena del extremo sur de la playa de s'Abanell aceleraron la pérdida de sedimento en la zona de extracción y no significaron una solución efectiva para las playas que lo recibieron más allá de los meses posteriores a la regeneración (temporada de verano). Por otro lado, el giro hacia el sur del delta benefició el brazo sur debido a la recepción de una mayor cantidad de sedimentos procedentes del río y la dirección predominante del transporte longitudinal de sedimentos de la costa catalana que va de norte a sur (Díaz y Maldonado, 1990; Sorribas *et al.*, 1993). Las playas del municipio de Malgrat de Mar crecieron como consecuencia del aumento del porcentaje de distribución de sedimentos

hacia el sur. Finalmente, en los años 90, se empezaron a popularizar en España las regeneraciones artificiales de playa para aliviar los problemas de erosión. Debido a ello, se extrajeron enormes cantidades de sedimentos del fondo marino somero. En el delta de la Tordera se extrajeron millones de metros cúbicos de sedimento de la estructura del delta sumergido para regenerar otras playas de la costa del Maresme, situada más al sur. Sin duda, eso fue un error gravísimo ya que se generó un agujero en el frente deltaico que desestabilizó aún más el perfil de playa causando más erosión aún en la zona de la desembocadura de la Tordera.

Al principio del S.XXI todas estas acciones (Tabla 2) llevaron a las playas del delta de la Tordera al límite del colapso (Figura 7) debido a la acumulación de los efectos negativos de todas las modificaciones que se hicieron en el ecosistema. Consecuentemente, aparecieron varios conflictos. Entre otros, empresas privadas del sector de la construcción tenían su propio criterio para evitar los cambios hidrológicos causados por la extracción de gravas; el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente del Gobierno de España dragó arena del delta sumergido de la Tordera siguiendo su propio estudio de impacto ambiental; el ayuntamiento de Blanes pidió permiso para hacer un

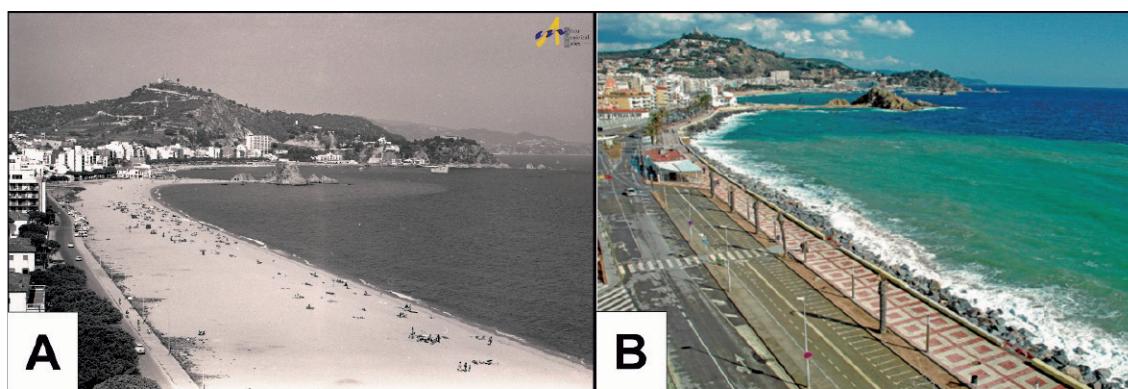


Figura 7. Comparación de la zona norte de la playa de s'Abanell entre A) 1968 (Foto el Archivo Municipal de Blanes) y B) 2006 (Foto adaptada de Sardá *et al.*, 2014).

paseo marítimo sobre la playa; la Agencia Catalana del Agua (ACA) y otros propietarios privados hicieron construcciones legales e ilegales de escolleras en la desembocadura del delta para evitar inundaciones en episodios de grandes crecidas fluviales. Todas estas acciones se llevaron a cabo sin ningún tipo de plan estratégico global que garantizase la funcionalidad del ecosistema delta de la Tordera y crearon una condición no resiliente en el delta que acabó con la capacidad del brazo norte y la desembocadura de proveer sus funciones y servicios ecosistémicos.

La fragmentación de competencias ha sido reconocida como un impedimento para el desarrollo sostenible de los recursos naturales (Cormier *et al.*, 2010). Desafortunadamente, cualquier agente responsable de una acción antrópica en la costa suele operar únicamente bajo su propia política reguladora usando las mejores prácticas de gestión sectorial en base a sus propias evaluaciones de impacto ambiental. Además, para resolver algunos de los problemas creados por este tipo

de desarrollo casi siempre se toman medidas reactivas, que en la mayoría de los casos crean otros impactos ambientales. Éste mecanismo debe ser solventado tan pronto como sea posible, sobretodo en áreas en las que éste tipo de complejidad es amplificada por las interacciones entre los diferentes usos del suelo; el caso del delta de la Tordera no es una excepción. Sin una visión global y una política integrada cualquier intento de solucionar los problemas será inefectivo. A pesar de que España es particularmente susceptible al reto de la fragmentación de competencias habiendo infinidad de jurisdicciones superpuestas y una falta de legislación que apoye la gestión integrada de zonas costeras, es imprescindible conseguir nuevas relaciones entre el sector público y privado para desarrollar planes para éstas zonas. Los expertos recomiendan construir instrumentos y métodos para garantizar la coherencia entre los sistemas terrestres y marinos con el objetivo de evitar la duplicación de regulaciones o la transferencia de problemas de planificación del terreno no resueltos.

5. Conclusión

Al final del año 2006, la situación en el delta de la Tordera era crítica en su zona costera. Una cascada de efectos acumulados resultantes de múltiples actividades en varios sectores industriales y otras acciones que se llevaron a cabo sin ningún plan de acción global resultó en la pérdida de la funcionalidad del ecosistema. Durante el período 1956-2006 la dinámica deltaica sufrió un giro hacia el sur iniciado en los años 80. El brazo norte del delta y la zona de la desembocadura han perdido gran parte de su superficie de playa entrando en un proceso de gran erosión. Sin embargo, el brazo sur, influenciado por éste giro, progradó. Como consecuencia, la mayor parte de las playas del delta, en su zona norte y central, son incapaces de cumplir con su función natural y de protección a la vez que su función recreativa se ha visto enormemente comprometida. En

este momento el gran reto es cómo recuperar la funcionalidad de todo el sistema (litoral y fluvial) y cómo restaurar sus servicios ecosistémicos. A pesar de que, en 2007, estaba claro que cualquier tipo de solución solo sería efectiva a través de un proceso de Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC) que incluyese las interacciones entre todos los sistemas que influyen en la costa y usando un marco de gobernanza eficiente, se necesitaron varias actuaciones de urgencia para aliviar las consecuencias negativas observadas. En 2011, el escenario a corto plazo que proponía la dinámica 2000-2006 ya se superó y se inició una política de prácticas regenerativas y de protección que pretendía reducir la erosión y proteger las infraestructuras de la costa. Fueron necesarias varias regeneraciones artificiales de playa, así como la construcción de varias escolleras para

paliar los efectos de la erosión costera. Desde 2011 a la actualidad, las tendencias observadas muestran que, en la zona de la desembocadura, se mantienen las tendencias observadas en 2006 e incluso se llegan a supe-

rar, mientras que en el brazo norte se ha estabilizado la playa llegando incluso a mostrar cierta tendencia a la mejoría según los datos de monitoreo de la playa que tenemos desde 2009 hasta la actualidad.

6. Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del Proyecto PLAYA+, un Proyecto (CGL2013-49061) del Plan Nacional de España de I+D+i.

7. Referencias

- Anthony EJ, Marriner N, Morhange C. 2014. Human influence and the changing geomorphology of Mediterranean deltas and coasts over the last 6000 years: From progradation to destruction phase? *Earth-Science Reviews*, 139: 336-361.
- Ariza E, Sardá R., Jiménez JA, Mora J, Ávila C. 2007. Beyond Performance Assessment Measurements for Beach Management: Application to Spanish Mediterranean Beaches. *Coastal Management*, 36(1), 47–66.
- Bergillos R, Rodríguez-Delgado C, López-Ruiz A. 2015. Variabilidad espacio-temporal de la morfología sumergida de un sistema deltaico heterogéneo: Playa Granada (Sur de España). Researchgate.net. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Rafael_Bergillos/publication/313771628_Variabilidad_espacio-temporal_de_la_morfologia_sumergida_de_un_sistema_deltaico_heterogeneo_Playa_Granada_sur_de_Espana/links/58a58063a6fdcc0e076646c3/Variabilidad-espacio-temporal
- Bondesanf M, Castiglioni GB, Elmis C, Gabbianellis G, Marocco R, Pirazzolit PA, Tomasin A. 1995. Coastal areas at risk from storm surges and sea-level rise in northeastern Italy. *Journal of Coastal Research*, 1354-1379
- Convention on Biological Diversity (CBD), 1998. Report of the Workshop on Ecosystem Approach. Lilongwe, Malawi, 26e28 January 1998, UNEP/CBD/COP/ 4/ Inf.9, p. 15.
- Copeiro E. 1982. Playas y obras costeras en España. *Revista de Obras Públicas*, 82: 125–130.
- Cormier C, Kannen A, Davis I, Sardá R, Diedrich A. 2010. Policy fragmentation implications in ecosystem-based management in practice. Working Paper. Proceedings of the ICES Annual Science Conference, ICES Annual Science Conference, Nantes, France.
- DGPC. 1986. Investigación tecnológica de las acciones a tomar para la estabilidad del tramo de costa de los términos municipales de Malgrat y Sta. Susana. Generalitat de Catalunya, 2, p.318.
- Díaz J, Maldonado A. 1990. Transgressive sand bodies on the Maresme continental shelf, western Mediterranean Sea. *Marine Geology*, 91(1-2): 53-72.
- DPTOP. 2013. Endegament i defensa de la riera de Vall-deburg en el T.M. de Blanes (Girona). Junta d'Aigües. Departament de Política Territorial i Obres Públiques (Generalitat de Catalunya), 1988.
- Echevarria PR. 2013. Perspectivas de futuro para la playa de s'Abanell. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/22625>
- Ericson JP, Vörösmarty CJ, Dingman SL, Ward LG, Meybeck M. 2006. Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human dimension implications. *Global and Planetary Change*, 50(1-2): 63–82.
- Erskine WD, Geary PM, Outhet DN. 1985. Potential impacts of sand and gravel extraction on the Hunter River, New South Wales. *Australian Geographical Studies*, 23(1): 71–86.
- Fanos AM. 1995. The Impact of Human Activities on the Erosion and Accretion of the Nile Delta Coast. *Journal of Coastal Research*, 11: 821–833.

- Garcia C, Servera J. 2003. Impacts of tourism development on water demand and beach degradation on the island of mallorca (spain). *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 85(3–4): 287–300.
- Generalitat de Catalunya. 2010. Pla Especial d'Emergències per Inundacions (INUNCAT). Barcelona, p-130.
- Gutiérrez, C. 1999. La Tordera, perspectiva geográfico-històrica d'un riu. Publicacions de La Rectoria Vella, Sant Celoni (Spain). *Lauro: revista del Museu de Granollers*, (18): 78.
- Jiménez JA, Valdemoro HI, Bosom E, Sánchez-Arcilla A, Nicholls RJ. 2016. Impacts of sea-level rise-induced erosion on the Catalan coast. *Regional Environmental Change*, 17(2): 593–603.
- Martí C. 2005. La Transformació del paisatge litoral de la Costa Brava anàlisi de l'evolució (1956-2003), diagnosi de l'estat actual i prognosi de futur. Universitat de Girona. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=8045>
- Martínez JM. 1994. Discusión de casos particulares de impactos físicos en playas arenosas por intervenciones del hombre en el litoral. In Seminario sobre territorio litoral y su ordenación (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria) pp. 145–160.
- MOPU. 1979. Estudio de la dinámica litoral en la costa peninsular mediterránea y onubense. Dirección General de Puertos.
- Nicholls RJ, Wong PP, Burkett V, Codignotto J, Hay J, McLean R, Ragoonaden S, Woodroffe CD. 2007. Coastal systems and low-lying areas. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden P, Hanson CE (Eds). Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press, pp 315–357
- Orton G, Reading H. 1993. Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size. *Sedimentology*, 40(3): 475–512.
- Panareda J, Serrano M. 2008. Efectos de la dinámica litoral inducidos por la actividad humana en áreas urbanizadas: el caso del Maresme (Barcelona). In *Territoris* (pp. 55–68). Universitat de les Illes Balears.
- Santás JC, de la Peña JM. 2009. New requirements on beach design: limiting states condition. In: C.A. Brebbia, G. Benassai, G.R. Rodriguez (Eds.), *Coastal processes*. WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 126, WIT Press.
- Sardá R, Pinedo S, Grémare A, Taboada S. 2001. Changes in the dynamics of shallow soft-bottom due to man-made disturbance processes in the Catalan Western Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 57: 1446–1457.
- Sardà R, O'Higgins T, Cormier R, Diedrich A, Tintoré J. 2014. A proposed ecosystem-based management system for marine waters: linking the theory of environmental policy to the practice of environmental management. *Ecology and Society*, 19(4), art51.
- Schwartz ML. 1967. The Bruun Theory of Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion. *The Journal of Geology*, 75(1): 76–92.
- Serra I, Pinto J. 2005. La transformació del paisatge del delta de la Tordera en els darrers cent cinquanta anys. Una anàlisi per mitjà dels canvis en els usos i les cobertes del sòl. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 0(46): 81–102.
- Serra J, Valois X, Parra D. 2007. Estructura del prodelta de la Tordera (costa del Maresme, NO Mediterráneo) a partir del análisis sísmico de alta resolución. *Geogaceta* 41: 211–213.
- Serra J, Bosch E. 2010. L'equilibri dels sistemes deltaics i els efectes del canvi climàtic. Noves oportunitats de gestió. El sistema litoral, p.103.
- Sheik M, Chandrasekar. 2011. A shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin, India, using digital shoreline analysis system. *Geo-Spatial Information Science*, 14(4): 282–293.
- Sorribas J. 1991. Dinàmica del litoral del Baix Maresme: processos i quantificació. Tesis de licenciatura, Universitat de Barcelona.
- Sorribas J, Serra J, Calafat A. 1993. Límites dinámicos y modos de transporte en el litoral del Maresme (Barcelona). *Geogaceta*, 14, pp.24–26.
- Syvitski JPM, Kettner AJ, Overeem I, Hutton EWH, Hannan MT, Brakenridge GR, Nicholls RJ. 2009. Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, 2(10): 681–686.
- Thieler E, Himmelstoss E, Zichichi J, Ergul A. 2009. The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0. An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change.
- Thieler ER, Danforth WW. 1994. Historical Shoreline Mapping (II): Application of the Digital Shoreline

- Mapping and Analysis Systems (DSMS/DSAS) to Shoreline Change Mapping in Puerto Rico. *Journal of Coastal Research. Coastal Education & Research Foundation, Inc.*
- UNESCO-IRTCES. 2011. *Sediment Issues & Sediment Management in Large River Basins Interim Case Study Synthesis Report. International Sediment Initiative. Technical Documents in Hydrology. UNESCO Office in Beijing & IRTCES 2011.*
- Valiela I. 2006. *Global coastal change*. Blackwell.
- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Das Neves, L., & Pais-Barbosa, J. (2006). *Erosion-a european initiative for sustainable coastal erosion. Pilot Site of River Douro-Cape Mondego and Case Studies of Estela, Aveiro, Caparica, Vale do Lobo and Azores*. IHRH, Porto, Portugal.
- Vila I, Serra J. 2015. Tordera River Delta system build up (NE Iberian Peninsula): sedimentary sequences and offshore correlation. *Scientia Marina*, 79(3), 305–317.
- Warner, J. F., & Verhallen, J. M. M. A. (2005). Multi-stakeholder Platforms for Integrated Catchment Management. Towards a comparative typology. In 11th MO-PAN conference, Coalitions and Collisions, Tilburg, 23-26 June 2004 (pp. 213-226).