

Estudios de base para una estrategia de prevención y adaptación al cambio climático en Cataluña

Número 1: el delta del Ebro

Documento de síntesis

Framework studies for preventing and adapting to climate change in Catalonia Study N1: Ebro Delta

Summary document



Diciembre de 2008

December 2008

Estudios de base para una estrategia de prevención y adaptación al cambio climático en Cataluña

Número 1: el delta del Ebro

Documento de síntesis 3

***Framework studies for preventing and adapting
to climate change in Catalonia.
Study N1: Ebro Delta***

Summary document 103

Estudios de base para una estrategia de prevención y adaptación al cambio climático en Cataluña

Número 1: el Delta del Ebro

Documento de síntesis

Diciembre de 2008



Generalitat de Catalunya
Gobierno de Cataluña
**Departamento de Medio Ambiente
y Vivienda**

BIBLIOTECA DE CATALUNYA – DADES CIP

Estudios de base para una estrategia de prevención y adaptación al cambio climático en Cataluña. Número 1, El delta del Ebro : documento de síntesis = Framework studies for preventing and adapting to climate change in Catalonia. Study N1, Ebro Delta : summary document. - (Documents del canvi climàtic ; 2)

Text en castellà i anglès

I. Garriga Sala, Josep, dir. II. Loran Benavent, Gisela, ed. III. Cabrera Tosas, Francisco IV. Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge V. Oficina Catalana del Canvi Climàtic VI. Títol: Framework studies for preventing and adapting to climate change in Catalonia. Study N1, Ebro Delta VII. Col·lecció: Documents del canvi climàtic ; 2
1. Canvis climàtics - Aspectes ambientals - Ebre, Delta de l' 2. Canvis climàtics - Avaluació del risc - Ebre, Delta de l'
551.58(467.1:28Ebre)

Estudios de base para una estrategia de prevención y adaptación al cambio climático en Cataluña

Número 1: el Delta del Ebro

Documento de síntesis

© Generalitat de Catalunya

Departament de Medi Ambient i Habitatge

<http://www.mediambient.gencat.cat>

Dirección: Josep Garriga Sala, director de la Oficina Catalana del Cambio Climático, Departamento de Medio Ambiente y Vivienda

Coordinación: Gisela Loran Benavent, Taller d'Enginyeria Ambiental, SL

Redacción: Francisco Cabrera Tosas, Esther Ferrer Pont, Ramiro Aurín Lopera, MÀrcia Eugenio Gosálbo, Blanca Botey Sánchez de Rojas, Taller d'Enginyeria Ambiental SL

Collaboradores: Raúl Medina Santamaría, Iñigo J. Losada Rodríguez, Fernando Méndez Incera, Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, Universidad de Cantabria

Primera edición: mayo de 2010

Tiraje: 100 ejemplares

Diseño: Imatge i Color

Maquetación y impresión: Barcino Soluciones Gràfiques, SL

Depósito legal: B-24424-2010

Esta publicación se ha impreso en papel ecológico 100%, estucado mate de 135 g y las cubiertas en papel ecológico, estucado mate de 300 g.

Sumario

1. Presentación	7
1.1. Introducción.....	9
1.2. Objetivos	9
1.3. Metodología del trabajo	9
2. Caracterización del Delta del Ebro	11
2.1. El Delta como zona húmeda de importancia internacional	13
2.2. El medio socioeconómico en el Delta del Ebro.....	17
3. Análisis de variables	21
3.1. Introducción.....	23
3.2. Análisis de las variables climáticas	23
3.3. Caudales del río Ebro.....	25
3.4. Las variables marinas.....	26
4. Catálogo de episodios	29
5. Estudio de la vulnerabilidad del Delta del Ebro frente a los efectos del cambio climático .	33
5.1. Definición de vulnerabilidad	35
5.2. Vulnerabilidad del sistema físico	36
5.3. Vulnerabilidad de los sistemas naturales	42
5.4. Vulnerabilidad del sistema humano	51
6. Prognosis	53
6.1. Prognosis de la línea de costa exterior del Delta	55
6.2. Prognosis de la costa de las bahías	62
6.3. Prognosis de la presencia y permanencia de la falca salina.....	65
7. Análisis de riesgo sobre bienes económicos, naturales y sociales	67
7.1. Riesgo sobre bienes naturales	72
7.2. Riesgo sobre bienes económicos	78
7.3. Riesgo sobre bienes sociales.....	81
8. Diseño de medidas de adaptación y prevención	85
8.1. Presentación de las medidas	87
8.2. Zonificación de las actuaciones	92

1. Presentación

1. Presentación

1.1. Introducción

Este documento es una síntesis del estudio “Serie de estudios de base para la posterior definición de una estrategia de prevención y de adaptación al cambio climático en Cataluña. Estudio de base n1: Delta del Ebro (diciembre de 2008)”, que presenta las principales conclusiones obtenidas a lo largo del mismo. Se trata de un estudio que la empresa Taller de Ingeniería Ambiental, SL ha redactado por encargo de la Oficina Catalana de Cambio Climático, del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda.

El estudio que a continuación se sintetiza es, pues, el primero de una serie de estudios de base para la posterior definición de un Plan de acción para la adaptación y prevención del cambio climático en Cataluña. Su ámbito espacial es la plana deltaica del río Ebro, que se considera una de las áreas más vulnerables de Cataluña a los efectos del calentamiento global, dada su situación costera, sus características geomorfológicas y sus valores ambientales, sociales y económicos, y que por tanto constituye un área prioritaria en cuanto al diseño y la aplicación de políticas de adaptación al cambio climático y prevención del mismo.

1.2. Objetivos

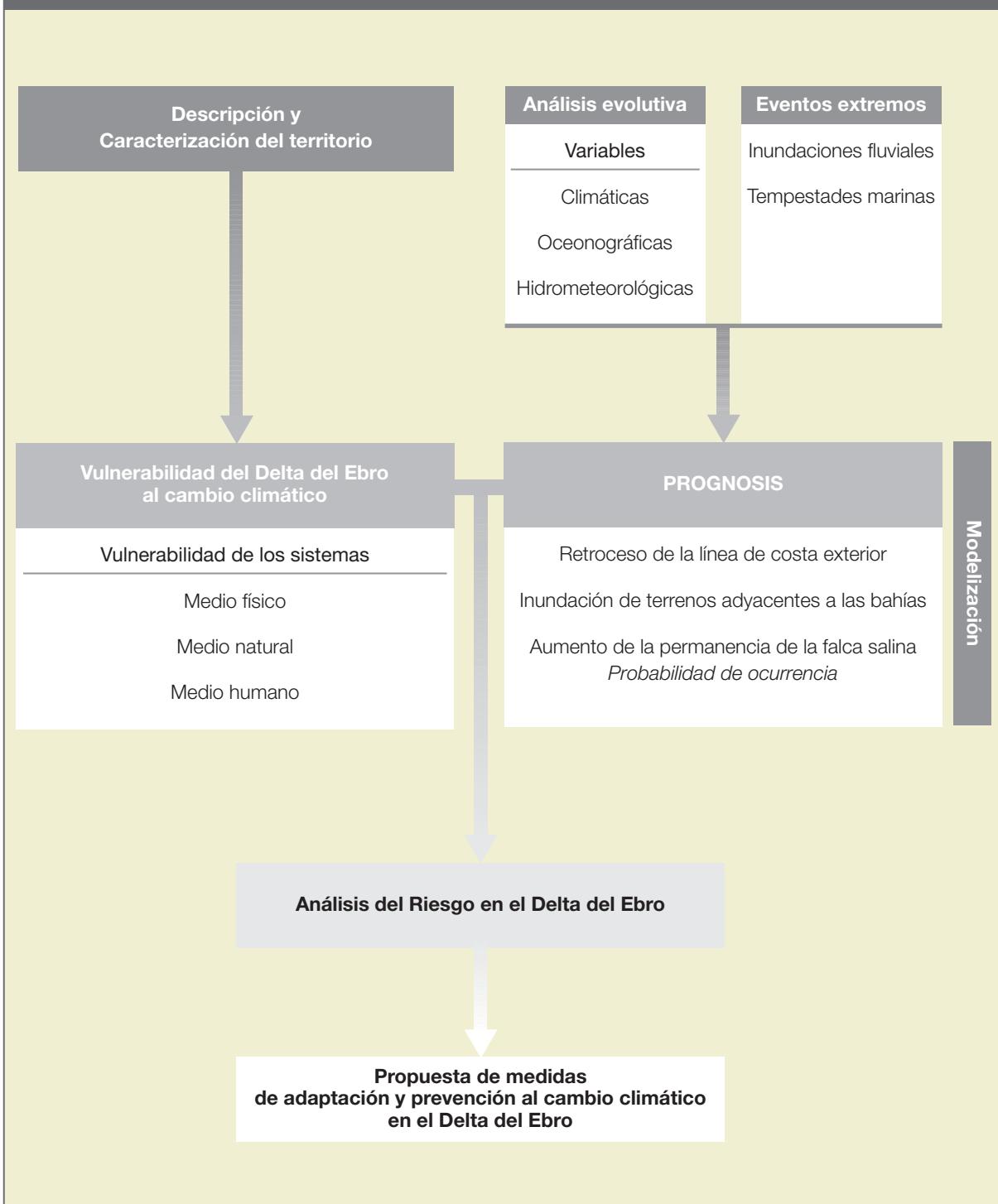
Los objetivos generales del trabajo son, por un lado, el establecimiento de las bases metodológicas y analíticas que se podrán usar posteriormente en otras zonas vulnerables y, por otro lado, la propuesta de las posibles medidas de adaptación al cambio climático y prevención del mismo para el caso particular del Delta del Ebro.

Esta presentación sintética de los resultados del estudio tiene que ser una herramienta básica de consulta para permitir, por una parte, la divulgación de los efectos del cambio climático en nuestro territorio y, por otra, la participación de todos los agentes sociales en la aportación de informaciones de interés que puedan ayudar a mejorar y detallar el conocimiento técnico, científico y social, así como en el necesario debate para identificar las acciones prioritarias en las medidas que nos permitirán afrontar el Plan de adaptación al Delta del Ebro.

1.3. Metodología del trabajo

Para alcanzar los objetivos descritos, se propone una metodología de trabajo tal y como se esquematiza a continuación, y que se desarrolla en capítulos posteriores.

Figura 1.1. Esquema general del trabajo.



2. Caracterización del Delta del Ebro

2. Caracterización del Delta del Ebro

2.1. El Delta como zona húmeda de importancia internacional

El río Ebro conforma en su tramo final uno de los deltas más extensos del Mediterráneo, de una superficie aproximada de 320 km². El Delta del Ebro presenta una forma triangular y lobulada, configuración que es el resultado de la interacción entre los procesos de sedimentación fluvial, las corrientes marinas, la climatología y la acción humana. Lo convierten en un lugar único tanto su singularidad geomorfológica como la diversidad de procesos dinámicos y de sistemas naturales que presenta.

El Delta del Ebro forma parte de la Lista de Zonas Húmedas de Importancia Internacional (Convención Ramsar), un tratado intergubernamental que está en vigor desde 1975 para la conservación y uso racional de las zonas húmedas. El estado español participa en la Convención con un total de 63 zonas húmedas y de 281.768 ha de superficie; en Cataluña se encuentran Els Aiguamolls de l'Empordà (4.784 ha), el Delta del Ebro (7.736 ha), L'Estany de Banyoles (1.033 ha) y el Parc Nacional de Aigües Tortes y Estany de Sant Maurici (39.979 ha). Considerando sólo las zonas húmedas costeras, el Delta del Ebro constituye el 62% de la superficie catalana.

En la costa Mediterránea española (Comunidad Valenciana, Murcia y Almería) hay otras zonas húmedas incluidas en la Convención Ramsar: Albufera de València (21.000 ha), Lagunas de la Mata y Torrevieja (3.693 ha), Marjal de Pego-Oliva (1.290 ha), Pantano del Hondo (2.387 ha), Paraje Natural Punta Entinas-Sabinar (1.948 ha), Prat de Cabanes-Torreblanca (812 ha), Salinas de Santa Pola (1.496 ha) y Salinas del Cabo de Gata (300 ha). La superficie mencionada para La Albufera de València incluye unas 18.000 ha de arrozales, que en el caso del Delta del Ebro se encuentran excluidos. Considerando este hecho, el Delta constituye más de una cuarta parte de la superficie de zonas húmedas de la costa Mediterránea española. De hecho, es considerado la zona húmeda más importante de la Mediterránea occidental, después de la Camarga (Parque Regional Francés), y la segunda de España, después de Doñana.

Las zonas húmedas son uno de los ecosistemas que presentan una mayor biodiversidad, y a la vez se consideran los más amenazados a nivel mundial. A lo largo del s.XX ha desaparecido más de la mitad de superficie de zonas húmedas en Europa, y las que quedan están sometidas a fuertes presiones, fundamentalmente por sobreexplotación de los recursos hídricos, contaminación y construcción de grandes infraestructuras, así como también por especies invasoras y por los potenciales efectos derivados del calentamiento global. Además de los valores naturales, las zonas húmedas presentan valores económicos, culturales, científicos y recreativos muy notables, que justifican sobradamente los esfuerzos de conservación de las mismas.

En el caso del Delta del Ebro, la franja de terrenos costera de la plana deltaica goza de diversas figuras de protección: el Parque Natural (7.736 ha, todas de superficie terrestre), Espacio del PEIN (10.400 ha, de las cuales 616 ha son marinas), espacio de la Red Natura 2000 (40.431 ha, de las cuales 33.720 ha son marinas), y se encuentran varias reservas naturales (de superficie total de 11.496 ha, todas terrestres) y varias zonas húmedas incluidas en el Inventario de las Zonas Húmedas de Cataluña.

Figura 2.1.1. Espacios protegidos. Fuente: Departamento de Medio Ambiente y Vivienda.



En el Delta del Ebro se encuentran elementos geomorfológicos de gran singularidad y valor; son los que se recogen en la tabla siguiente:

Tabla 2.1.1. Elementos geomorfológicos presentes en el Delta del Ebro.

Elemento geomorfológico	Nombre	Longitud/Longitud de la línea de costa/ perímetro (km)	Superficie (Ha)
Delta	Delta de l'Ebre	58,42	29753,24
Flechas litorales	Punta del Fangar	13,8	489,9
	Punta de la Banya	41,74	2664,69
Bahías	El Fangar	31,73	2430,31
	Els Alfacs	59,89	6994,93
Estuario	Desembocadura	16,27	400,67
Playas	Arenal	1,98	4,18
	Fangar	7,39	480,06
	Goleró	1,13	0,62
	Marquesa	1,77	12,67
	Bassa de l'Arena	3,1	14,5
	Riumar	3,45	59,75
	Sant Antoni	1,93	14,97
	Buda	4,66	107,16
	Alfacada	2,77	55,8
	Serrallo	1,81	72,65
	Platjola	1,31	56,65
	Eucaliptus	2,68	77,42
	Aluet	1,95	29,94
	Trabucador	20,39	561,01
Sistemas dunares	Platja del Fangar		77,71
	Platja de la Marquesa		8,34
	Platja de la Bassa de l'Arena		7,82
	Platja del Trabucador		336
	Altres		204,47
Lagunas	Les Olles	2,4	27,8
	Canal Vell	8,68	245,46
	Garxal	6,04	205,72
	Calaixos de Buda	12,13	507,09
	Alfacada	3,94	65,86
	Platjola	5	50,14
	Tancada	9,11	238,8
	Encanyissada	22,68	782,4

Figura 2.1.2. Imagen aérea del lóbulo deltaico. Se aprecian la desembocadura actual del río Ebro, el Garxal (derecha de la desembocadura) y la isla de Sant Antoni, Calaixos de Buda e isla de Buda (izquierda de la desembocadura).



Figura 2.1.3. Punta del Fangar y bahía del Fangar (Izquierda); y Punta de la Banya y bahía Dels Alfacs.



Figura 2.1.4. Playas del Fangar y la Marquesa (punta del Fangar), a la izquierda; y Laguna de El Canal Vell a la derecha.



El Delta del Ebro presenta una elevada heterogeneidad en las condiciones físico-químicas de los suelos y las aguas, tanto espacial como temporal. El resultado es una gran diversidad, tanto de sistemas naturales como de hábitats, masas de vegetación y comunidades de animales.

Muchos de los sistemas naturales más característicos del Delta están íntimamente ligados a la disponibilidad de agua y a la calidad de ésta, así como en procesos dinámicos de erosión, transporte y deposición de sedimentos.

Es particular el caso de los arrozales, que aparecen clasificados dentro de los sistemas naturales terrestres. La ocupación agrícola del Delta del Ebro se ha dado de forma intensa desde el siglo XIX, y únicamente no ha modificado los espacios periféricos, donde resulta difícil el control de la salinidad, o que presentan sustratos muy desfavorables para el cultivo.

2.2. El medio socioeconómico en el Delta del Ebro

Población

En cuanto a la población, el conjunto de los municipios que configuran el ámbito deltaico presentaba una población, el año 2007, de 59.172 habitantes (IDESCAT). En la tabla 2.2.1 se muestran los datos de población residente (censada), población estacional, así como datos referentes al número total de viviendas y tipología de los mismos, en los principales núcleos de población del Delta del Ebro.

Tabla 2.2.1. Datos poblacionales del Delta del Ebro.
Fuente: Instituto de Estadística de Cataluña (IDESCAT).

T.M.	Población residente (2007)	Población estacional ETCA ¹ (2003)	Población total ² ETCA (2003)	Número viviendas ³ (2001)	Primera residencia (2001)	Segunda residencia (2001) ⁴	Densidad de población (2007)
L'Ampolla	2.662,00	Sin datos	Sin datos	2.863,00	807,00	2.056,00	74,70
L'Aldea	3.927,00	..	..	1.581,00	1.251,00	324,00	111,50
Camarles	3.479,00	..	..	1.200,00	997,00	203,00	1.328,30
Deltebre	11.603,00	-232,00	10.465,00	4.428,00	3.314,00	1.114,00	103,00
Amposta	19.805,00	-220,00	17.539,00	8.234,00	5.911,00	2.323,00	143,20
St. Jaume d'Enveja	3.434,00	..	..	1.460,00	1.091,00	369,00	56,50
St. Carles de la Ràpita	14.262,00	993,00	13.088,00	7.505,00	4.184,00	3.321,00	53,70

1. ETCA: población equivalente a tiempo completo año.

2. Vecinos residentes de este territorio más la población estacional.

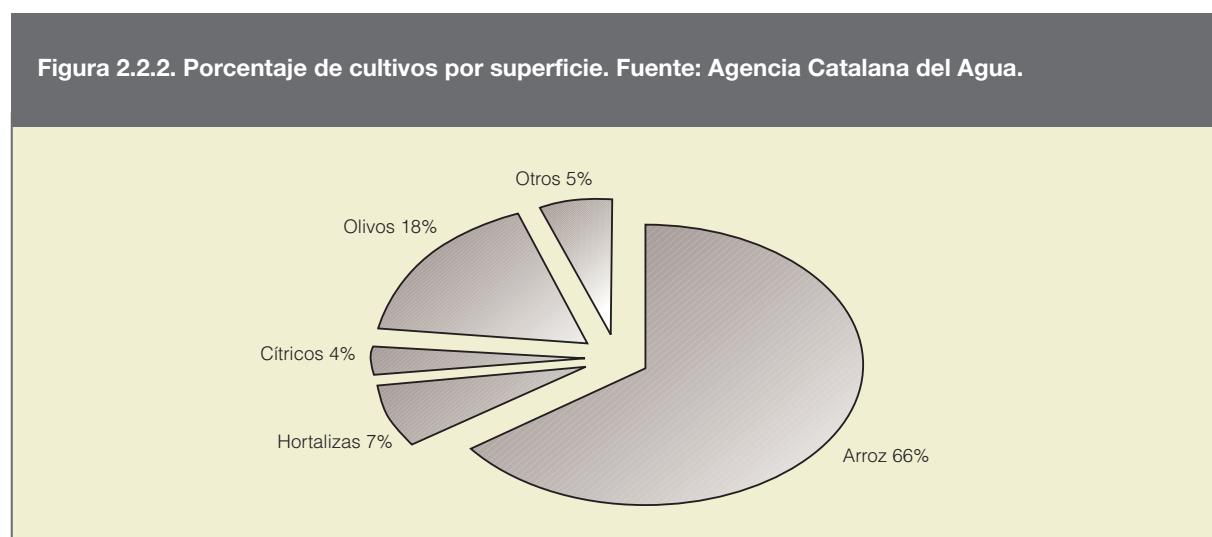
3. Incluye segundas residencias no ocupadas.

4. Incluye plazas hoteleras, campings y turismo rural 2006.

Actividades económicas

Agricultura

En cuanto a actividades económicas, la agricultura, que constituye una de las grandes bases de la economía en el Delta, se encuentra fundamentada en el cultivo de arroz. El porcentaje de cultivos para superficie aparece representado en la figura siguiente, obtenida del “Estudio agronómico de la zona del Delta del Ebro” (Agencia Catalana del Agua):



El cultivo del arroz ocupaba el año 2000 una superficie total de 21.554 ha, es decir, un 66,5% del total de superficie de la plana deltaica. La producción de arroz del Delta supone el 98% de la producción total catalana.

Pesca y marisqueo

Asimismo, presentan gran importancia económica:

- La pesca marina, centrada en los alrededores de los puertos de L’Ampolla, Deltebre y Sant Carles de la Ràpita; en el Delta del Ebro se captura el 10% del volumen total de capturas de pesca en Cataluña, que representa el 13% del valor en el mercado,
- La pesca continental, que se lleva a cabo en las lagunas de L’Encanyissada, La Tancada, El Canal Vell y Les Olles, siguiendo aun el sistema tradicional de sorteo,
- La acuicultura: se practica la acuicultura marina, tanto en la franja costera y en las bahías como en mar abierto, y también la acuicultura continental o en tierra, en las lagunas y otros lugares,
- El marisqueo.

Actividad industrial

Por lo que respecta a la actividad industrial, está poco desarrollada, y casi siempre tiene una base agraria; la mayor parte de las actividades industriales se localizan en el eje de la carretera N-340, fuera de la plana deltaica. En la punta de la Banya se encuentran Les Salines de la Trinitat, actualmente en explotación.

Turismo

En cuanto al turismo, destaca el turismo estival (de hecho es importante la segunda residencia, también por lo que respecta al modelo de construcción), y el turismo verde o el agroturismo, que se prevé que llegue a ser uno de los principales motores de dinamización socioeconómica del conjunto del ámbito deltaico.

Infraestructuras

Por lo que respecta a infraestructuras, es característico en el Delta del Ebro el sistema de canales para riego y desagüe de los arrozales. Se trata de sistemas capilares: el de riego parte del azud de Xerta, situado a unos 50 Km aguas arriba de la desembocadura del río, desde donde salen los dos canales principales: el Canal de la Derecha del Ebro y el Canal de la Izquierda del Ebro. Desde éstos el agua pasa a un conjunto de otros canales, y después a las acequias, hasta llegar a las acequias secundarias, que distribuyen el agua en los arrozales, generalmente por gravedad. Los retornos se abocan en canales de desagüe de sección progresivamente mayor, que finalmente confluyen en dos grandes canales: en el margen derecho del río, el Canal de Circumval·lació, y en el margen izquierdo, el Canal Sanitari. Estos canales proveen agua dulce a las lagunas y bahías del Delta.

3. Análisis de variables

3. Análisis de variables

3.1. Introducción

En el presente apartado se ha realizado un análisis de las siguientes variables:

- Variables climáticas.
- Caudales de río.
- Variables marinas.

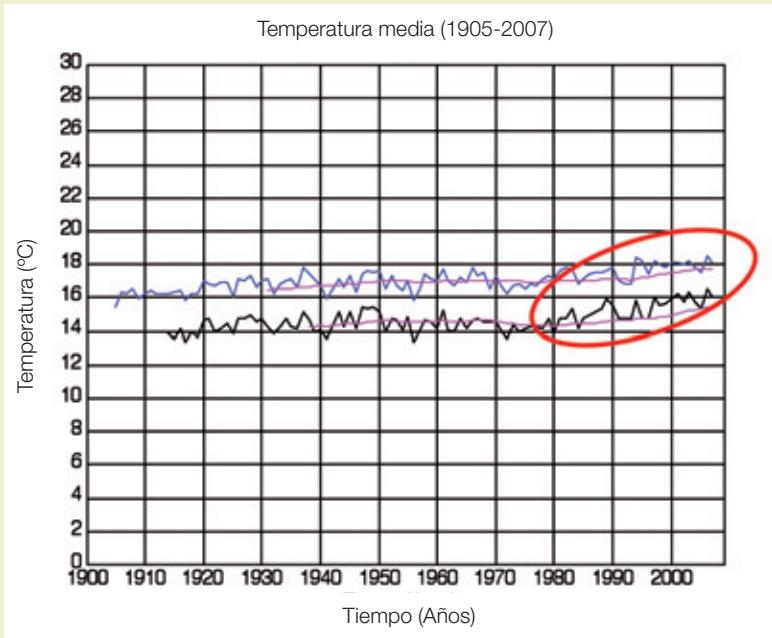
3.2. Análisis de las variables climáticas

Se han recogido los análisis evolutivos y las proyecciones de futuro emitidas por parte de organismos de reconocida autoridad en la materia respecto de las mismas variables, y se han contrastado con los resultados obtenidos en el presente estudio. A continuación se ofrece un resumen.

Por lo que respecta a los análisis de temperatura del aire,

- Evolución de la temperatura Media (1905-2007)

Gráfico evolutivo de temperatura media del aire en el Observatorio del Ebro (azul) y en el Observatorio Fabra (negro) a lo largo del último siglo. Las líneas fucsia corresponden a las medias móviles de los últimos 25 años. Se observan tendencias crecientes en las medias.



- Los resultados concuerdan con los obtenidos por el Servicio Meteorológico de Cataluña sobre las mismas series de datos, en particular: (1) la media anual se ha incrementado a un ritmo de 0,15 °C por década, (2) la media de la temperatura máxima ha aumentado a un ritmo más acelerado que la media de la temperatura mínima.

- De acuerdo con las predicciones de cambio climático del IPCC (Previsiones del IPCC para Europa Mediterránea, 2007): (1) se está dando un calentamiento en todas las estaciones, (2) el calentamiento es mayor en verano que en invierno, (3) en verano, el calentamiento está más relacionado con temperaturas más altas en los días calurosos, (4) el calentamiento de invierno está relacionado con temperaturas más elevadas en los días fríos

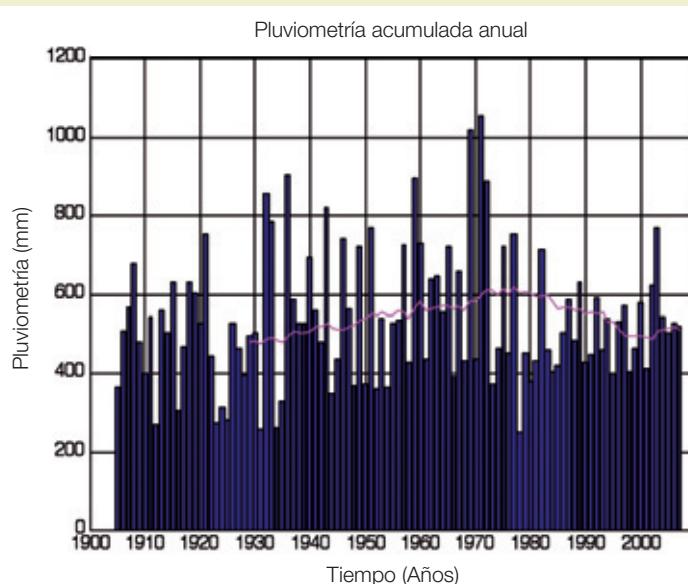
Por lo que respecta a los análisis de temperatura del agua del mar,

- La serie de temperatura del agua en el Estartit, que se ha utilizado en este estudio, se ha utilizado también en otros estudios, como *Cambio climático en el Mediterráneo* (Instituto Español de Oceanografía, 2008), *Reflexiones sobre el cambio climático* (Josep Pascual, 2006) y *Boletín Anual de Indicadores Climáticos. Año 2007* (Servicio Meteorológico de Cataluña, 2008)), dado que se trata de una de las series más largas disponibles.
- No hay contradicción entre los resultados obtenidos en los diferentes estudios. En todos ellos se detectan subidas importantes de la temperatura del mar hasta los 80 m de profundidad, que varían a lo largo del año y son particularmente intensas durante el verano.
- El SMC cuantifica el aumento de temperatura para el periodo 1974-2007 en 0,34 °C, 0,37 °C, 0,35 °C y 0,22 °C por década en diferentes profundidades: en superficie, a 20 m, 50 m y 80 m, respectivamente.

Por lo que respecta a los análisis de pluviometría,

- Análisis evolutivo de la Pluviometría

Precipitación anual acumulada en el Observatorio del Ebro a lo largo del último siglo.
Se observa que la media móvil (fucsia) presenta una tendencia ascendente entre 1929 y 1972 (correspondiente al periodo 1904 y 1947), **posteriormente un periodo relativamente estable, y, desde 1983 hasta el 2002, una tendencia descendente** (correspondiente al periodo 1958-1977).
En los últimos años (2002-2007) la tendencia es ascendente.



- Se han analizado los datos correspondientes en el Observatorio del Ebro, que son los que presentan una mayor longitud temporal, y se ha observado un patrón que se da en 8 de los 12 meses del año, consistente en un periodo de tendencia decreciente que se sitúa en la segunda mitad del S.XX.

- Por estaciones, habrían aumentado las precipitaciones de invierno y de otoño, y disminuido las de verano y primavera. En el caso de la precipitación acumulada, la tendencia (no significativa) sería al aumento.
- Estos resultados coinciden con los obtenidos por el Servicio Meteorológico de Cataluña a partir de la serie temporal del Observatorio del Ebro, y con la prognosis llevada a cabo por el Observatorio del Ebro (Universidad Ramon Llull-CSIC, 2009) en el Estudio del balance hídrico de la cuenca del Ebro y de las cuencas internas de Cataluña durante la segunda mitad del s.XX y la primera del s.XXI mediante modelos de clima regionales.
- El IPCC (2007) también señala un aumento de la intensidad de lluvia, que se ha contrastado en el *Boletín Anual de Indicadores Climáticos. Año 2007* (Servicio Meteorológico de Cataluña, 2008) y en el Estartit (datos de Josep Pascual).

Por lo que respecta a los análisis de humedad relativa,

- Es difícil obtener tendencias o patrones claros, dado que presentan una longitud máxima de sólo 16 años.
- Se observa que la variable: (1) en la estación de invierno disminuye a partir del 2002 y hasta el 2007 en el Fangar, (2) en la estación de primavera aumenta desde 1992 hasta el 2003, y disminuye a partir de entonces, (3) en la estación de verano presenta un patrón creciente hasta el 2003, y decreciente a partir de entonces, y (4) en la estación de otoño disminuye entre 2005 y 2007.

En cuanto a los análisis de evapotranspiración,

- Es difícil obtener tendencias o patrones claros, dado que presentan una longitud máxima de sólo 16 años.
- Se observa que la variable presenta tendencia creciente: (1) por meses, en Marzo desde 2004, y en Agosto desde 1998, (2) a partir de 2000 para la serie de valores medios anuales y (3) a partir de 1998 para los datos de valores máximos obtenidos para cada año de la serie (en base a las medias mensuales).

Por lo que respecta a los análisis de viento terrestre,

- La velocidad media mensual del viento medida a 2 m de altitud en tres estaciones situadas en la zona del Delta del Ebro (Fangar, Amposta y Alfacs) se ha reducido en los últimos 13 años. La tasa anual de disminución ha sido de 0,102 (m/s)/año en Els Alfacs; 0,093 (m/s)/año en el Fangar; y 0,0485 (m/s)/año en Amposta (en orden decreciente).
- La velocidad máxima registrada cada mes en la estación de Amposta ha aumentado a lo largo de los últimos 13 años, con una tasa anual de 0,098 (m/s)/año.
- Los resultados obtenidos en el presente análisis son claros, y no contradicen las predicciones de otros estudios.

3.3. Caudales del río Ebro

Por lo que respecta a caudales del río Ebro, se observa una reducción del caudal medio anual del 11% entre 1913-1935 y 1951-1979, de 23% entre 1951-1970 y del 19% entre 1971-1990 y 1991-2004. Esta disminución se atribuye fundamentalmente a causas ligadas a la construcción de presas (Mequinença, Flix y Riba-roja a partir de los años '60).

La reducción del caudal presenta un punto de cambio de magnitud muy importante en torno al año 1980.

3.4. Las variables marinas

De la misma forma que se ha hecho para los caudales del río Ebro, se han analizado los cambios acontecidos en lo últimos 50 años en las variables ambientales oceanográficas, y se han estudiado sus tendencias de largo plazo. Para la mayoría de los casos se han añadido los datos a una escala mensual, estacional y anual. Las variables son:

- Oleaje,
- Viento (marítimo),
- Marea meteorológica y
- Nivel del mar.

En los casos del oleaje, el viento y la marea meteorológica, se ha considerado tanto el régimen medio como el extremal.

1. Oleaje. El estudio de la influencia de los patrones climáticos pone de manifiesto que la NAO (*North Atlantic Oscillation*) y el EA (*Eastern Atlantic*) son los que tienen mayor influencia con carácter general, ya que juegan un papel importante en la generación del oleaje en el Delta. El índice NAO presenta una



influencia general en todo el área, mientras que el índice EA domina la zona norte y explica parte de los oleajes del nordeste. El índice EA/WR (*Eastern Atlantic-Western Russia*) afecta a los oleajes extremos del sudeste, mientras que el SCA (*Scandinavian*) explica el medio en la zona sur.

El análisis de tendencias de largo plazo de la magnitud y altitud de oleaje indica tendencias de cambio muy pequeñas. Se ha detectado una tendencia ligeramente positiva en el sur de la desembocadura y un pequeño descenso en el norte que sólo se describe durante la época de invierno para el régimen medio.

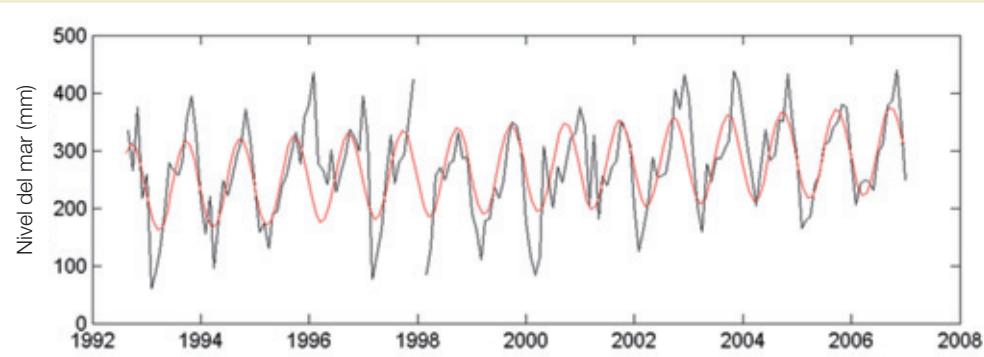
El estudio de las persistencias para la altitud de oleaje 1 m muestra una tendencia de largo plazo positiva en los oleajes del nordeste y una tendencia negativa para los oleajes del sudeste.

El estudio de valores extremos del oleaje (tempestad) indica unos valores de altitud de ola significante de periodo de retorno de 100 años de hasta 5.5 m en el lóbulo deltaico (la parte más expuesta) y de 0.5 m en las bahías (la más protegida).

2 y 3. Viento marítimo y marea meteorológica. El estudio de marea meteorológica y viento en un punto en aguas profundas ha revelado la relación de los patrones climáticos estudiados y estas variables. Los índices EA/WR y NAO afectan en especial a ambas variables, aunque el campo de vientos está dominado principalmente por la oscilación del Atlántico Norte (NAO). El índice SCA explica parte de la variabilidad en los valores medios de estas variables, mientras que no afecta especialmente a los valores extremos.

4. Nivel del mar. Los análisis realizados sobre la variable nivel del mar indican un aumento de 4'5 mm/año en el periodo 1992-2007 y una importante correlación con el patrón escandinavo (índice SCA).

Figura 3.4.2. Serie de nivel del mar correspondiente al mareógrafo de Barcelona.



4. Catálogo de episodios

4. Catálogo de episodios

Se ha llevado a cabo un pliego de los episodios extremos que han acontecido históricamente en el Delta del Ebro, en particular de las inundaciones fluviales y las tempestades marinas. Mientras que hasta la primera mitad del s.XX los episodios se han identificado en base a la búsqueda bibliográfica, para la segunda mitad del s.XX se han identificado mediante modelización, y comprobado con fuentes documentales, como reseñas en los diarios; para la identificación de los episodios de inundación fluvial, se ha tomado como criterio que el caudal fuera mayor que 2000 m³/s.

La cronología de riadas y tempestades marinas resultantes se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 4.1. Episodios históricos de riadas (izquierda) y tempestades (derecha) en el Delta del Ebro.

Riadas	Comentarios	Riadas	Comentarios	Tempestades	Comentarios
s.XIV		s.XX		s.XVIII	
1380		1907	la segunda más grande de la historia	1779	ruptura Volquete
s.XV		1914		1920's	ruptura Volquete
1488		1937		1940's	ruptura Volquete
s.XVI		1959		1948	
1532		1960	tres en total	1958	dos en total
1582		1961	dos en total	1960	dos en total
s.XVII		1962		1962	
1605		1967		1963	
1617		1969	dos en total	1965	
1625		1970		1967	dos en total
1700		1971		1971	
s.XVIII		1972		1972	
1717		1974		1973	
1743		1977		1975	
1772		1978		1978	
1773		1979	dos en total	1980	
1783		1982		1982	
1787	la mayor de la historia	1997	dos en total	1985	
s.XIX		2001		1990	
1826				1992	
1845				1995	
1853				1997	tres en total
1865				2000	
1866				2001	dos en total
1871					
1884					

5. Estudio de la vulnerabilidad del Delta del Ebro frente a los efectos del cambio climático

5. Estudio de la vulnerabilidad del Delta del Ebro frente a los efectos del cambio climático

5.1. Definición de vulnerabilidad

El desarrollo de este apartado tiene presentes los apartados anteriores. Se basa en el análisis de la capacidad intrínseca de un sistema a sufrir daños ante un fenómeno de una severidad (intensidad o magnitud) determinada.

En el presente trabajo, y al objeto de evaluar la vulnerabilidad de un sistema, se considerarán tanto su valor intrínseco como su capacidad de hacer frente a los potenciales cambios ambientales que se prevén como efecto del calentamiento global.

Por lo que respecta al valor intrínseco, se evalúan los diferentes componentes que presenta un sistema particular en el territorio considerado. Esta valoración se hace en virtud de las características descritas en el punto de descripción y caracterización del medio.

La capacidad de hacer frente se entiende en un sentido amplio, y englobaría tanto:

- La no afectación del componente por parte del factor o acontecimiento considerado.
- La capacidad del componente/sistema de taponar los efectos del cambio.
- La capacidad del componente/sistema de recuperar sus condiciones anteriores después de la ocurrencia de ciertos cambios ambientales, particularmente aquellos sucesos repentinos e intensos de duración corta que cambian notablemente estas condiciones (*resiliencia*, en el sentido ecológico del término).
- La capacidad del componente/sistema de modificar sus condiciones actuales en función de ciertos cambios ambientales, particularmente aquellos que se dan de una forma progresiva en el tiempo, sin desaparecer o convertirse en otro componente/sistema diferente.

Los *cambios ambientales* presentan características variables:

Por lo que respecta a las escalas temporales, se pueden dar tanto:

- Acontecimientos extremos de duración corta que cambien notoriamente las características de los sistemas físicos y naturales, como por ejemplo las tempestades,
- Procesos prolongados en el tiempo, que se pueden dar a un ritmo aproximadamente constante, o a ritmos variables; p.e. el aumento del nivel del mar, que se prevé que se dé con un ritmo creciente en el tiempo (IPCC, 2007).

En cuanto a las escalas espaciales, se pueden dar tanto:

- Cambios que afecten a zonas amplias, como el propio aumento del nivel del mar,
- Cambios locales, por ejemplo los cambios de orientación de algunas playas debidos a la variación del flujo medio de energía del oleaje.

Existen otras características de estos cambios ambientales también muy importantes: su magnitud o intensidad, su frecuencia en un área determinada, su recurrencia sobre una misma localización, etc. Además, cabe considerar que muchos de los potenciales cambios ambientales no siguen comportamientos linea-

les, p.e. los cambios de temperatura relativos entre el mar y el aire generan otros cambios atmosféricos que a la vez interaccionan, hecho por el cual los patrones observados en estas variables pueden cambiar de signo a lo largo del tiempo.

La vulnerabilidad se estudiará para los siguientes sistemas:

- Vulnerabilidad del sistema físico
- Vulnerabilidad del sistema natural
- Vulnerabilidad del entorno humano

5.2. Vulnerabilidad del sistema físico

5.2.1. Valor intrínseco

Todos los componentes del sistema físico del Delta del Ebro (*ver capítulo 2*) presentan un alto valor como elementos geológicos y geomorfológicos singulares. Se debe tener presente que constituyen la base para el desarrollo de los diferentes biótopos y ecosistemas que configuran el Delta del Ebro.

5.2.2. Potenciales cambios ambientales y afectación en los componentes del sistema físico

Falta de transporte de sedimentos por el río Ebro

La construcción de embalses en la cuenca hacia mediados del s.XX supuso tanto la regulación del caudal líquido como la práctica interrupción del transporte de caudal sólido por parte del río Ebro. Se estima que los embalses suponen la retención del 93,7% del sedimento que el río aportaría al Delta (Varela *et al.* 1986). El sedimento grueso, de diámetro medio superior a 125 µm, es el que se considera relevante desde el punto de vista de la estabilidad costera, y queda retenido al 100%, de manera que las aportaciones del mismo que llegan a la costa se producen exclusivamente aguas abajo del embalse de Flix. El sedimento fino, de diámetro inferior a 125 µm, se transporta en suspensión y queda retenido en porcentajes altos, superiores al 90% (Catalán 1969; Palenques 1987; Palenques *et al.* 1990; Guillem y Palenques 1992; Ibáñez *et al.* 1996).

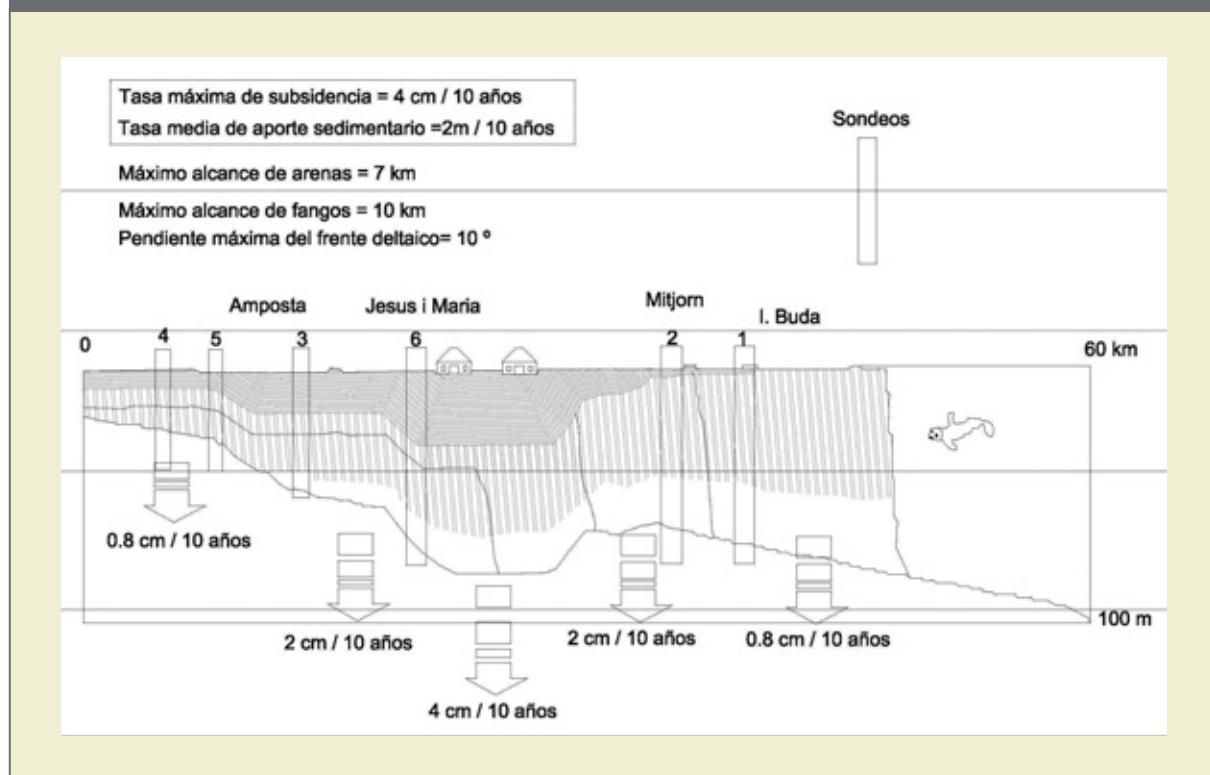
Por estos motivos se considera que el Delta del Ebro ha pasado de estar modelado por la combinación de factores dinámicos río-oleaje a estar modelado únicamente por el oleaje, que transporta los sedimentos existentes a lo largo de la línea de costa y determina así la existencia de zonas erosivas y de zonas de acumulación.

Aun así, este proceso no está directamente ligado al cambio climático, pero puede empeorar sus efectos.

Subsidencia de la plana deltaica

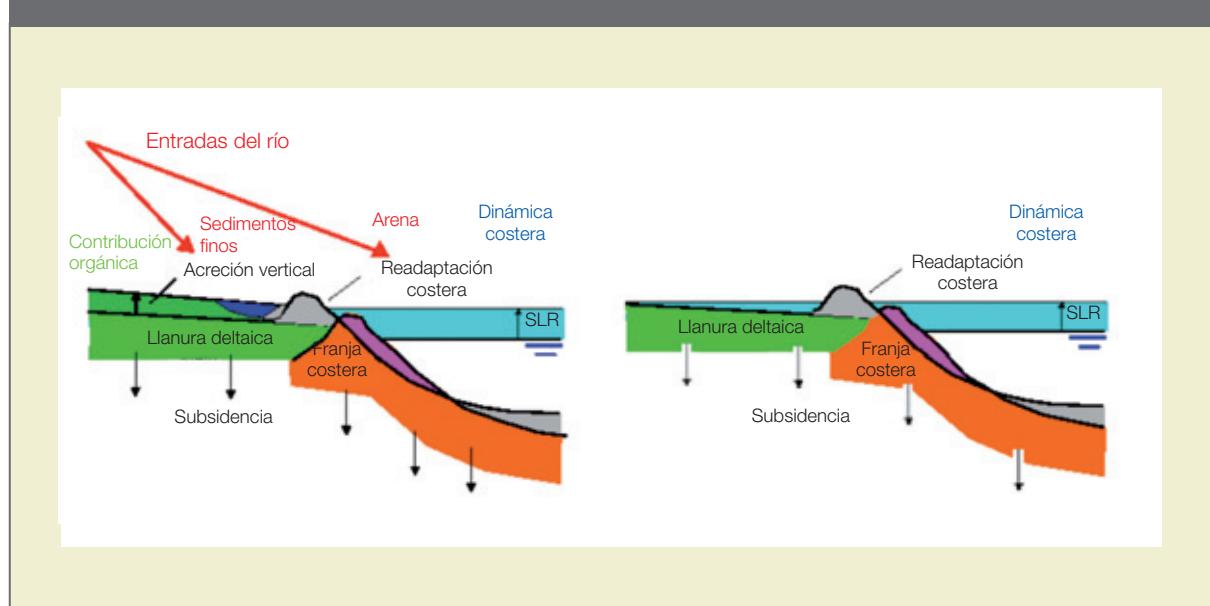
La falta de acreción vertical de la plana deltaica contribuye a intensificar los efectos de los procesos de subsidencia que se den por compactación de los sedimentos que conforman el Delta (la tasa de subsidencia media se ha estimado en 2 mm/año), y que comportan un aumento relativo del nivel del mar en la plana deltaica. Este constituye uno de los problemas ambientales que afectan de forma global al medio físico del Delta.

Figura 5.2.1. Tasas de subsidencia en la plana deltaica del Ebro. Fuente: ITGE, 1996.



Una costa en la cual se da acreción vertical de sedimentos presenta una capacidad de respuesta al ascenso del nivel del mar que no presenta una costa en que la acreción no se da, como es el caso del Delta del Ebro (ver figura 5.2.2).

Figura 5.2.2. Esquematización del efecto del ascenso del nivel del mar en una costa deltaica. Izquierda: con capacidad de respuesta, derecha: sin respuesta. Fuente: Sánchez-Arcilla et al. (1998).



Los procesos de subsidencia no están directamente ligados al cambio climático, pero pueden empeorar sus efectos.

Evolución de la línea de costa

El aumento del nivel del mar afectará la evolución de la línea de costa exterior de la plana deltaica del Ebro, un sistema modelado únicamente por el oleaje, que transporta los sedimentos existentes a lo largo de la línea de costa y determina así la existencia de zonas erosivas y de zonas de acumulación.

En la línea de costa correspondiente a las bahías del Fangar y Els Alfacs prácticamente no se da transporte longitudinal de sedimentos, dado que está protegida debido a la presencia de la punta del Fangar y la punta de la Banya. En este caso el aumento del nivel del mar será el principal factor que determinará la evolución de la línea de costa.

Considerando que el Delta del Ebro, debido a su origen geomorfológico, presenta una orografía prácticamente plana, con cotas que están por debajo del nivel del mar, la pérdida de terrenos por aumento del nivel del mar pasa a ser una de las consecuencias más relevantes de los efectos del calentamiento global al Delta del Ebro. Por este motivo se ha llevado a cabo una prognosis de futuro, que aparece resumida en el siguiente apartado del presente documento de síntesis (*ver punto 6 de prognosis*).

Ocurrencia de tempestades

Del análisis de régimen extremal de las variables oleaje, marea meteorológica y viento llevado a cabo específicamente para el caso del Delta del Ebro (ver el apartado relativo *Análisis de Variables*), se concluye:

- Las zonas que hasta ahora se han visto más afectadas por el efecto de las tempestades son las que lo seguirán siendo en el futuro: el lóbulo deltaico, la zona entre Marquesa y Riumar, y la zona entre L'Alfacada y El Trabucador.
- La altitud del oleaje tiende a aumentar ligeramente frente a la punta de la Banya, en concreto en la zona del faro.
- La duración de las tempestades podría disminuir el Hemidelta norte, y aumentar en el sur, en particular frente al Aluet y también a lo largo de la barra del Trabucador y frente a Les Salines de la Trinitat.

Presencia y permanencia de la falca salina

El río Ebro, en su tramo final, se comporta como un estuario altamente estratificado o de falca salina. Esto es debido al hecho de que la cota de altitud es igual o inferior a la del mar, por lo que, cuando el caudal del río está por debajo de ciertos límites, no tiene suficiente fuerza para empujar al agua del mar, que penetra y forma una lengua de agua salada que circula por debajo de la capa de agua dulce, la llamada falca salina. La longitud y el grosor de la falca depende de los caudales del río, del nivel del mar y de la topografía del cauce.

Como consecuencia del cambio climático, se espera tanto un aumento del nivel del mar como una disminución de los caudales del río Ebro (*ver explicación detallada en el punto 6*). Estos efectos serían sinérgicos por lo que respecta a la falca salina, es decir, ambos potenciarían un aumento en la presencia y permanencia de ésta. Por este motivo se ha llevado a cabo una prognosis de futuro, que aparece resumida en el siguiente apartado del presente documento de síntesis.

Variación de las variables climáticas

Algunos componentes del medio físico, y en particular las masas de agua, pueden padecer variaciones de sus características fisicoquímicas como consecuencia de los cambios en sus variables climáticas, como por ejemplo por aumento de la temperatura o variaciones en las precipitaciones.

Reducción de los caudales del río Ebro

Como consecuencia del cambio climático, y en base a la esperada reducción de la precipitación anual acumulada y en la modificación de los patrones estacionales de precipitación, así como en el aumento de temperaturas y por tanto de la evaporación, se espera una reducción general de los caudales de base en ríos, hecho que supondrá el aumento del número de cursos fluviales temporales y de tramos de río con caudales únicamente estacionales (*Impactos del Cambio Climático en España, 2007*). En el caso del río Ebro, y según resultados de diversos proyectos europeos, se esperan reducciones del régimen de caudales en Tortosa de entre el 10% y el 20% a lo largo del s.XXI.

Inundaciones fluviales

Podrían darse inundaciones temporales de los terrenos adyacentes al río Ebro por crecidas de éste, relacionadas con un incremento de la torrencialidad de las lluvias.

En el *Green Paper* de la Comisión de la Unión Europea (*Adapting to Climate Change in Europe-Options for EU Action, 2007*) se incluyen los resultados de una simulación del cambio de nivel de inundación fluvial de periodo de retorno de 100 años para el 2080 a escala europea, según el cual en el tramo bajo del río Ebro se daría un aumento de entre el 20 y el 40%. Lógicamente, cabe considerar que la cuenca fluvial del río Ebro se encuentra fuertemente regulada; este hecho, fundamental en la escala espacial considerada en el presente trabajo, no se ha tenido en cuenta en la previsión.

En la tabla siguiente se lleva a cabo una valoración de la afectación por parte de los cambios ambientales anteriormente identificados en los diferentes componentes que conforman el sistema físico.

Figura 5.2.3. Afectación a los componentes del sistema físico por parte de los cambios ambientales identificados.

	Componentes del sistema físico						
	Delta	Flechas litorales	Bahías	Lagunas	Río y estuario	Playas y dunas	Zona de aguas costeras
Subsidiencia	**	*				*	
Evolución de la línea de costa	**	**	**	**		**	
Ocurrencia de tempestades marinas		*	*	*		*	
Presencia y permanencia de la falca salina					**		
Variación variables climáticas			*	*	*		*
Variación de caudales del río Ebro	*		*	*	**		
Ocurrencia de inundaciones fluviales					*		

* / ** Afectado por los efectos derivados del cambio climático
* / ** Potencialmente afectado por los efectos derivados del cambio climático, o con efectos que pueden empeorar

5.2.3. Capacidad de los componentes del sistema físico de hacer frente a los cambios

Finalmente, se hace referencia a aquellas características del sistema físico del Delta del Ebro o de los componentes del mismo que le confieren cierta capacidad de taponar, de recuperarse o adaptarse a los potenciales cambios ambientales anteriormente identificados.

Medida de la plana deltaica

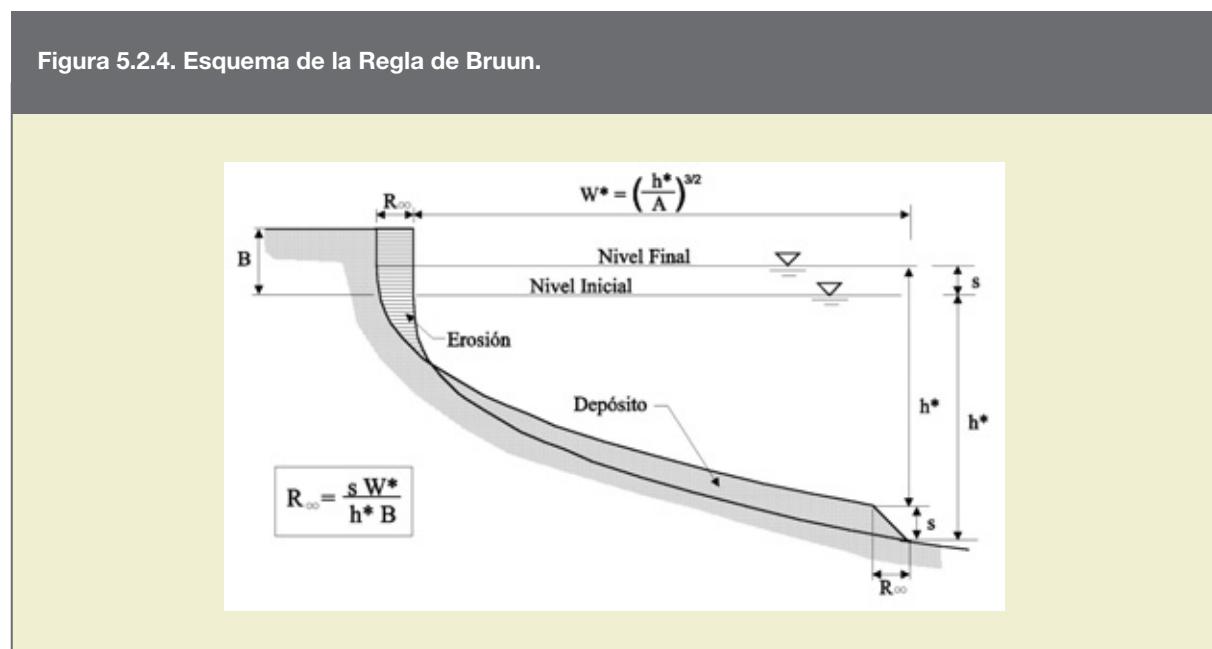
La disponibilidad de superficie en el Delta del Ebro (que mayoritariamente presenta usos agrícolas o naturales del suelo) permite la reproducción o la compensación de las pérdidas de algunos de los componentes del sistema físico de forma natural o mediante medidas de intervención directa.

Bajo grado de rigidización de la costa y la plana deltaica

- En la costa exterior del Delta del Ebro, sólo existe un rompeolas en la playa de la Marquesa; en la costa de las bahías, se encuentran estructuras rígidas en el caso de la bahía de Els Alfacs.
- Sólo un 2,75% de la plana deltaica está urbanizada, y además la densidad de ocupación por infraestructuras es baja, lo que constituye un hecho ventajoso por lo que respecta a la adaptación al aumento del nivel del mar.
- Casi 2/3 partes de la superficie total del Delta están ocupadas por el cultivo de arroz, que es compatible con los valores ambientales del Delta, y que además presenta un elevado potencial de renaturalización.

Mantenimiento del perfil activo de las playas

Si el nivel del mar sube como consecuencia del cambio climático, el perfil de playa se desplazará en respuesta a esta variación. Para cuantificar la respuesta de las playas se utiliza la Regla de Bruun, según la cual en el nuevo nivel del mar se establecerá un perfil de equilibrio con forma idéntica a la existente antes del ascenso, y se asume que el volumen de arena de la playa se conserva.



Es decir, el retroceso de la línea de costa exterior del Delta del Ebro como consecuencia del aumento del nivel del mar no supondrá la desaparición de playas y sistemas dunares por inundación, sino su retroceso tierra adentro, siempre y cuando haya espacio disponible y no existan estructuras antrópicas que interrumpan los procesos de retroceso.

Acumulación de sedimentos orgánicos por parte de las zonas húmedas

En las zonas húmedas se generan sedimentos orgánicos que sufren procesos de putrefacción y carbonificación parcial, en un proceso lento que conduce a la formación de turba. El paso de los años resulta en una acumulación de turba que puede alcanzar metros de grosor; el ritmo de crecimiento se ha estimado entre los 0,5 y los 10 cm/100 años. La acumulación de materia orgánica y la subsiguiente acumulación de turba permiten ganar altura. En el Delta existen numerosas zonas húmedas que hacen estas funciones, y existe también la posibilidad de renaturalizar terrenos para potenciarla.

Evolución de las barras litorales y bahías

La presencia y los procesos de acrecimiento del ápice de las puntas del Fangar y la Banya comportan cierta capacidad de protección de las franjas de terreno costeros situadas alrededor de las bahías por lo que respecta a las dinámicas litorales de erosión, transporte y sedimentación, y también por lo que respecta al impacto de las tempestades.

Orografía de la plana deltaica

En último lugar es necesario mencionar una característica del Delta del Ebro que lo hace particularmente vulnerable a algunos de los potenciales cambios ambientales derivados del calentamiento global, en particular al aumento del nivel del mar: se trata de la orografía. El Delta del Ebro, debido a su origen geomorfológico, presenta una orografía prácticamente plana, que incluye cotas que se encuentran por debajo del nivel del mar.

5.3. Vulnerabilidad de los sistemas naturales

5.3.1. Valor intrínseco

El valor ambiental de los sistemas naturales del Delta del Ebro se califica en función de la presencia de hábitats de interés comunitario, de especies de especial interés¹, y de figuras legales de protección. Los resultados se recogen en las tablas siguientes:

Tabla 5.3.1. Figuras de protección legal, especies de especial interés y hábitats de interés comunitario en los sistemas marinos del Delta del Ebro.

Sistemas naturales	Protección del espacio	Hábitats y especies de interés particular	Valor intrínseco
Marinos			
Franja litoral	XN2000: Delta de l'Ebre	Presencia de <i>Posidonia oceanica</i> , <i>Cymodocea nodosa</i> , <i>Zostera noltii</i> (especies protegidas a nivel autonómico mediante Orden de 31 de julio de 1991. Fuente: Biocat, Banco de Datos de Biodiversidad)	Muy alto
		Presencia de <i>Caretta caretta</i> (protegida a nivel autonómico mediante Ley 12/2006; a nivel estatal por el RD 439/1990; incluida en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas; recogida en los anejos II y IV de la Directiva Hábitats. Fuente: Biocat, Banco de Datos de Biodiversidad)	
		Está presente en el HIC prioritario <i>Posidonia oceanica</i> (1120*), (cartografía temática aún no elaborada)	
Estuario	PEIN y XN 2000	Especies de ictiofauna autóctonas y protegidas como <i>Acipenser sturio</i> , <i>Alosa alosa</i> , <i>Alosa fallax</i> , <i>Barbus graellsii</i> , <i>Gasterosteus aculeatus</i> , <i>Petromyzon marinus</i> , <i>Salaria fluviatilis</i> (endémica), y <i>Syngnathus abaster</i>	Muy alto
Bahías	bahía del Fangar: XN 2000, PEIN (parcial), ENPE (parcial), bahía dels Alfacs: XN 2000 (parcial)	Presencia de <i>Cymodocea nodosa</i> , <i>Zostera noltii</i> (especies protegidas a nivel autonómico mediante Orden de 31 de julio de 1991. Fuente: Biocat, Banco de Datos de Biodiversidad y Mapa de la vegetación sumergida de la bahía dels Alfacs. Pérez et al., 2006)	Fangar: Muy alto
		Presencia de <i>Caretta caretta</i> (protegida a nivel autonómico mediante Ley 12/2006; a nivel estatal por el RD 439/1990; incluida en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas; recogida en los anejos II y IV de la Directiva Hábitats. Fuente: Biocat, Banco de Datos de Biodiversidad)	Alfacs: Muy alto y Alto (fuera de figuras de protección)
		Presencia de <i>Sterna hirundo</i> y <i>Sterna nilotica</i> (especies protegidas a nivel autonómico mediante Ley 22/2003)	

¹ Identificadas mediante consulta en: (1) Web del Parque Natural del Delta del Ebro, (2) Catálogo nacional de especies amenazadas, (3) Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España (2001), (4) Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España (2002), (5) Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España (2002), (6) Banco de Datos de Biodiversidad de Cataluña (BIOCAT), (7) Atlas de los pájaros nidificantes de Cataluña 1999-2002 (Estrada et al. 2004), (8) Atlas de los anfibios y reptiles de Cataluña y Andorra (Llorente et al. 1995) y (9) Los grandes mamíferos de Cataluña y Andorra (Ruiz-Olmo et al. 1995)

Nota: El valor intrínseco que se ha otorgado a la mayor parte de la superficie de arrozales del Delta del Ebro es medio. Así pues, se ha considerado que la superficie de arrozales que está situada alrededor de sistemas naturales de valor intrínseco alto o muy alto y que está en terrenos protegidos mediante una figura legal presenta un valor intrínseco alto.

Tabla 5.3.2. Figuras de protección legal, especies de especial interés y hábitats de interés comunitario en los sistemas terrestres del Delta del Ebro.

Sistemas naturales	Protección del espacio	Hábitats y especies de interés particular	Valor intrínseco
Terrestres			
Dunar	XN 2000, PEIN, ENPE	<p>Dunas móviles embrionarias (HIC no prioritario 2110)</p> <p>Dunas móviles del cordón litoral, con <i>Ammophila arenaria</i> (HIC no prioritario 2120)</p> <p>Dunas litorales fijas con comunidades del <i>Crucianellion maritimae</i> (HIC no prioritario 2210)</p> <p>Dunas con cubierta de <i>Malcomietalia</i> (HIC no prioritario 2230)</p> <p>Vegetación psamófila, especializada en este tipo de hábitats. Destacan especies como <i>Limoniastrum monopetalum</i> (vulnerable a Cat.; protegida por el Decreto 328/1992)</p> <p>Avifauna nidificante: <i>Charadrius alexandrinus</i> (principal población ibérica, vulnerable en Cat.), <i>Sterna nilotica</i> (en peligro en Eur.), <i>Haematopus ostralegus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Sterna hirundo</i> (vulnerable en Cat.), <i>Sterna albifrons</i> (en peligro en Cat.)</p>	Muy alto
Sistemas halobios: saladaras, marismas y salinas	(localizaciones especificadas debajo)	<p>Comunidades de Salicorn y otras plantas anuales, colonizadoras de suelos arcillosos o arenosos salinos (HIC no prioritario 1310)</p> <p>Prados de espesina (HIC no prioritario 1320)</p> <p>Pastizales mediterráneos halinos (<i>Juncatella maritimi</i>) (HIC no prioritario 1410)</p> <p>Matorrales halófilos mediterráneos y termoatlánticos (<i>Sarcocometea fruticosae</i>) (HIC no prioritario 1420)</p> <p>Matorrales halonitrófilos (<i>Pegano-Salsoletea</i>) (HIC no prioritario 1430)</p> <p>Comunidades halófilas de suelos de humedad muy fluctuante (HIC prioritario 1510)</p>	Muy alto
Playas de L'Alficada, la Platjola y Els Eucaliptus, y yermos de La Tancada	XN 2000, PEIN, ENPE	<p>Flora: <i>Zygophyllum album</i> (vulnerable en Cat. y España), <i>Spergularia rubra</i> subsp. <i>heidreichii</i>, <i>Limonium densissimum</i> (vulnerable en Cat. y en Esp.), <i>L. girardianum</i>, <i>L. ferulaceum</i></p> <p>Avifauna nidificante: <i>Glareola pratincola</i> (en peligro en Cat. y en Eur.; sólo nidifica en el Delta), <i>Sterna albifrons</i> (en peligro en Cat.), <i>Haematopus ostralegus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Charadrius alexandrinus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Calandrella brachydactyla</i> (en peligro en Cat., vulnerable en Eur.), <i>C. rufescens</i> (vulnerable en Cat. y Eur.)</p>	Muy alto
Punta de la Banya	XN 2000, PEIN, ENPE	<p>Flora: <i>Zigophyllum album</i> (vulnerable en Cat. y Esp.)</p> <p>Avifauna nidificante: <i>Larus audouinii</i> (vulnerable en Cat.), <i>L. fuscus</i> (vulnerable en Cat.), <i>L. genei</i> (vulnerable en Cat.), <i>Sterna sandvicensis</i> (vulnerable en Cat.), <i>S. albifrons</i> (en peligro en Cat.), <i>Charadrius alexandrinus</i> (principal población ibérica, vulnerable en Cat.), <i>Tringa totanus</i> (en peligro en Cat.), <i>Haematopus ostralegus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Tadorna tadorna</i> (vulnerable en Cat.)</p>	Muy alto
Arrozales	Sólo parte de la superficie de arrozales que está en la franja de terrenos costero de la plana deltaica está protegida (XN 2000, PEIN, ENPE)	<p>Avifauna: hábitat para anátidos hibernantes y limícolas</p> <p>Herpetofauna: <i>Mauremys leprosa</i> (vulnerable en Esp.) y <i>Emys orbicularis</i> (en peligro en Esp.)</p> <p>Especies de flora protegidas: <i>Lindernia dubia</i>, <i>Marsilea quadrifolia</i> y <i>Bergia capensis</i></p>	Medio/Bajo

Tabla 5.3.3. Figuras de protección legal, especies de especial interés y hábitats de interés comunitario en las aguas continentales y sistemas limnéticos del Delta del Ebro (I).

Sistemas naturales	Protección del espacio	Hábitats y especies de interés particular	Valor intrínseco
Aguas continentales y sistemas limnéticos			
Sistema fluvial		<p>Alamedas, saucedas y otros bosques de ribera (HIC no prioritario 92A0)</p> <p>Flora: especies protegidas como <i>Fraxinus angustifolia</i> subsp. <i>oxycarpa</i> y <i>Lonicera biflora</i></p> <p>Ictiofauna: especies autóctonas y protegidas como <i>Acipenser sturio</i>, <i>Alosa alosa</i>, <i>Alosa fallax</i>, <i>Barbus graellsii</i>, <i>Gasterosteus aculeatus</i>, <i>Petromyzon marinus</i>, <i>Salaria fluviatilis</i> (endémica), y <i>Syngnathus abaster</i>, <i>Chondrostoma miegii</i>, <i>Cobitis paludica</i> (endémica)</p>	Alto
Lagunas litorales	(localizaciones especificadas debajo)	<p>Lagunas litorales (HIC prioritario 1150*)</p> <p>Flora: macrófitos como <i>Ruppia cirrosa</i> y <i>Potamogeton pectinatus</i> dentro del agua; cinturones de helótitos en los alrededores</p> <p>Avifauna: <i>Chlidonias hybridus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Sterna nilotica</i> (en peligro en Eur.), <i>Circus aeruginosus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Ardeola ralloides</i> (vulnerable en Eur.), <i>Botaurus stellaris</i> (en peligro crítico en Cat.)</p>	
Les Olles	XN 2000, PEIN, ENPE	<p>Avifauna: <i>Ardeola ralloides</i> (vulnerable en Eur.), <i>Locustella luscinioides</i> (en peligro en Cat.)</p> <p>Ictiofauna: <i>Anguilla anguilla</i> (vulnerable en Esp.)</p>	
El Canal Vell	XN 2000, PEIN, ENPE Parque Natural y también Reserva de Fauna Salvaje, (el extremo noreste)	<p>Estanques naturales eutróficos con vegetación flotante (<i>Hydrocharition</i>) o poblaciones sumergidas de espigas de agua (<i>Potamion</i>) (HIC no prioritario 3150)</p> <p>Ictiofauna: <i>Aphanius iberus</i> (en peligro de extinción y protegida mediante Ley 12/2006; RD 439/90 y Directiva de Hábitats); <i>Anguilla anguilla</i> (vulnerable en Esp.)</p> <p>Herpetofauna: <i>Emys orbicularis</i> (vulnerable)</p> <p>Avifauna: <i>Botaurus stellaris</i> (en peligro crítico en Cat.), <i>Alcedo atthis</i> (vulnerable en Cat.), <i>Emberiza schoeniclus</i> (en peligro crítico en Cat.), <i>Ixobrychus minutus</i> (cercana a la amenaza), <i>Ardeola ralloides</i> (cercana a la amenaza), <i>Egretta garzetta</i> (cercana a la amenaza), <i>Chlidonias hybridus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Locustella luscinioides</i> (en peligro en Cat.)</p>	Muy Alto
El Garxal	XN 2000, PEIN, ENPE Parque Natural y también Reserva de Fauna Salvaje, (cinturón alrededor del área privada de caza)	<p>Dunas móviles embrionarias (HIC no prioritario 2110)</p> <p>Estanques naturales eutróficos con vegetación flotante (<i>Hydrocharition</i>) o poblaciones sumergidas de espigas de agua (<i>Potamion</i>) (HIC no prioritario 3150)</p> <p>Avifauna nidificante: <i>Ardea purpurea</i>, <i>Ixobrychus minutus</i> o <i>Chlidonias hybrida</i></p>	

Tabla 5.3.4. Figuras de protección legal, especies de especial interés y hábitats de interés comunitario en las aguas continentales y sistemas limnéticos del Delta del Ebro (II).

Sistemas naturales	Protección del espacio	Hábitats y especies de interés particular	Valor intrínseco
Aguas continentales y sistemas limnéticos			
El Calaix de Buda/ els Calaixos de Buda	XN 2000, PEIN, ENPE Parque Natural y también Reserva de Fauna Salvaje (parcial)	<p>Estanques naturales eutróficos con vegetación flotante (<i>Hydrocharition</i>) o poblaciones sumergidas de espigas de agua (<i>Potamion</i>) (HIC no prioritario 3150)</p> <p>Matorrales halófilos mediterráneos y termoatlánticos (<i>Sarcocornetea fruticosae</i>) (HIC no prioritario 1420)</p> <p>Flora: <i>Zygophyllum album</i> (vulnerable en Cat. y en Esp.), <i>Limonium vigoi</i> (endemismo; en este núcleo se concentran más del 99% de individuos de la especie)</p>	
L'Alfacada	XN 2000, PEIN, ENPE	<p>Estanques naturales eutróficos con vegetación flotante (<i>Hydrocharition</i>) o poblaciones sumergidas de espigas de agua (<i>Potamion</i>) (HIC no prioritario 3150)</p> <p>Avifauna nidificante: <i>Chlidonias hybrida</i> (vulnerable en Cat.), <i>Acrocephalus melanopogon</i> (vulnerable en Cat.), <i>Locustella lusciniooides</i> (en peligro en Cat.)</p>	
La Platjola	XN 2000, PEIN, ENPE	<p>Avifauna nidificante: <i>Ixobrychus minutus</i> (vulnerable en Eur.) y esporádicamente <i>Botaurus stellaris</i> (en peligro crítico en Cat., vulnerable en Eur.), <i>Locustella lusciniooides</i> (en peligro en Cat.), <i>Emberiza schoeniclus</i> (en peligro crítico en Cat.)</p> <p>Dormidor de <i>Circus aeruginosus</i> en invierno</p>	Muy Alto
La Tancada	XN 2000, PEIN, ENPE Parque Natural y también Reserva de Fauna Salvaje	<p>Matorrales halófilos mediterráneos y termoatlánticos (<i>Sarcocornetea fruticosae</i>) (HIC no prioritario 1420)</p> <p>Avifauna nidificante: <i>Sterna nilotica</i> (en peligro en Eur.), <i>Tringa totanus</i> (en peligro en Cat.), <i>Sterna hirundo</i> (vulnerable en Cat.)</p>	
L'Encanyissada	XN 2000, PEIN, ENPE	<p>Pastizales mediterráneos halinos (<i>Juncetalia maritimii</i>) (HIC no prioritario 1410)</p> <p>Matorrales halófilos mediterráneos y termoatlánticos (<i>Sarcocornetea fruticosae</i>) (HIC no prioritario 1420)</p> <p>Estanques naturales eutróficos con vegetación flotante (<i>Hydrocharition</i>) o poblaciones sumergidas de espigas de agua (<i>Potamion</i>) (HIC no prioritario 3150)</p> <p>Flora: <i>Najas marina</i> (bastante raro)</p> <p>Avifauna nidificante: <i>Botaurus stellaris</i> (en peligro crítico en Cat.), <i>Netta rufina</i> (vulnerable en Cat.), <i>Circus aeruginosus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Chlidonias hybrida</i> (vulnerable en cat.)</p> <p>Herpetofauna: <i>Emys orbicularis</i></p>	
Ojales y marjales	XN 2009, PEIN (parcial), ENPE (parcial)	<p>Aguas estancadas oligomesotróficas, duras, con vegetación bentónica de caroficias (HIC no prioritario 3140), en los ojales de Tronc</p> <p>Estanques naturales eutróficos con vegetación flotante (<i>Hydrocharition</i>) o poblaciones sumergidas de espigas de agua (<i>Potamion</i>) (HIC no prioritario 3150)</p> <p>Turberas calcáreas con <i>Cladium mariscus</i> (HIC prioritario 7210*), en los ojales del Tronc</p> <p>Flora: <i>Iris xiphium</i> (muy raro en Cat.), los ojales de la Panxa</p> <p>Fauna: <i>Phagocata ullaia</i> (planaria; único animal endémico del Delta), los ojales de l'Arispe y Baltasar</p> <p>Ictiofauna: <i>Gobio gobio</i> (autóctono en el Ebro), <i>Cobitis paludica</i> (endemismo ibérico, vulnerable en Esp.), <i>Gasterosteus aculeatus</i> (protegido en Cat., vulnerable en Esp.), <i>Valenciana hispanica</i> (endemismo entre el Delta y el norte de Alicante, en peligro en Esp.)</p> <p>Herpetofauna: <i>Emys orbicularis</i>, <i>Mauremys leprosa</i></p>	Muy Alto

5.3.2. Potenciales cambios ambientales y afectación a los componentes del sistema natural

Pérdidas de patrimonio natural por aumento del nivel del mar

En la medida en que el sistema físico es vulnerable a la subida del nivel del mar, y se da retroceso de la línea de costa e inundación de terrenos costeros, lo son también los sistemas naturales presentes en estos terrenos.

Los sistemas naturales del Delta del Ebro se encuentran mayoritariamente situados en la franja costera de terrenos, hecho por el cual el aumento del nivel del mar puede suponer la pérdida o reducción de superficie de estos. Es notorio el caso de las lagunas litorales, dado que, como ya se ha expuesto en el apartado relativo a vulnerabilidad del medio físico, las playas, sistemas dunares y marismas presentan cierta capacidad de retroceso.

Cambios en los sistemas naturales derivados de los cambios en las variables climáticas

Las variaciones de las variables climáticas tienen efectos sobre diferentes características de los sistemas naturales, como son:

- Aumento de la evaporación en masas de agua.
- Aumento de la transpiración en vegetales.
- Variación de la solubilidad de gases en agua y de sus concentraciones de saturación; en el caso del oxígeno, en aumentar la temperatura, disminuye la concentración de saturación.
- Aumento de las tasas biogeoquímicas y metabólicas, por ejemplo de descomposición de la materia orgánica.
- Disminución de la recarga hídrica de los acuíferos y ecosistemas acuáticos.

Que a la vez comportan cambios en las características del componente abiótico de los ecosistemas:

- Cambios en la medida (menor extensión/profundidad/volumen) y en la permanencia de las lagunas y de otros ecosistemas acuáticos.
- Aumento de la salinidad de éstos.
- Aumento de la concentración de nutrientes en ecosistemas acuáticos (eutrofización).
- Cambios en la estratificación de los ecosistemas acuáticos, tanto por lo que respecta a temperatura como por lo que respecta a salinidad, y potencialmente tanto en la duración temporal de la estratificación como en la profundidad a la cual se localiza la termoclina.
- Modificaciones de los ciclos biogeoquímicos.
- Cambios en la productividad.

Y también comportan cambios (directos e indirectos) en el componente biótico de los ecosistemas:

- Cambios en los ciclos biológicos, que dependen de las temperaturas y de otros factores abióticos.
- Cambios en la presencia de especies: se esperan cambios en las distribuciones geográficas de las especies, hecho que implicará extinciones locales de algunas especies, a la vez que el establecimiento de nuevas especies.
- Cambios en la abundancia de especies.
- Cambios en las relaciones entre especies (depredación, simbiosis, parasitismo, competencia, comensalismo, etc.).
- Proliferaciones temporales (durante ciertos episodios climáticos) de patógenos, algas nocivas, etc

En las tablas siguientes se detalla la afectación a los diferentes sistemas naturales del Delta del Ebro.

Tabla 5.3.5. Afectación a los sistemas terrestres del Delta del Ebro derivada de los cambios en las variables climáticas.

	Cambios en las características estructurales	Cambios en las características funcionales	Cambios en la biota
Dunar	<p>Aumento de la temperatura de la arena</p> <p>Cambios en la dirección del viento? Cambios en la forma de los sistemas dunares</p>		Posibles extinciones locales de especies
Halobios: saladeras, marismas, salinas	<p>Aumento de la temperatura del suelo</p> <p>Mayor evapotranspiración: fases secas más frecuentes y prolongadas</p>		Posibles extinciones locales de especies
Arrozales	<p>Aumento de las tasas de evapotranspiración</p> <p>Aumento de la temperatura en el agua</p>	Requerimientos hídricos más elevados	

Tabla 5.3.6. Afectación a los sistemas marinos del Delta del Ebro derivada de los cambios en las variables climáticas.

	Cambios en las características estructurales	Cambios en las características funcionales	Cambios en la biota
Franja litoral	Aumento de la temperatura del agua	Cambios en las relaciones tróficas derivadas del cambio de ciclo anual (mayor duración del reposo) en fitoplancton	Mayor duración temporal del período de reposo veraniego del fitoplancton (poblaciones poco densas, biomasa baja, etc)
	Termoclina situada a mayor profundidad, y de mayor duración temporal	Cambios de productividad	Cambios en los patrones de presencia, abundancia y distribución de especies derivadas de los cambios de temperatura: mortalidad de especies (especialmente en episodios de temperaturas anormalmente altas), establecimiento/aumento de abundancia de especies termófilas, proliferaciones de algas
	Acidificación del agua de mar (absorción de mayores cantidades de CO ₂)		
			Possibles brotes de patógenos, dado que la mayoría de ellos son sensibles a la temperatura
			Impacto negativo de la acidificación del agua en organismos con exoesqueletos calcáreos
Estuario	Aumento de la temperatura del agua	Cambios de productividad	Possibles brotes de patógenos, dado que la mayoría de ellos son sensibles a la temperatura
	Acidificación del agua de mar (absorción de mayores cantidades de CO ₂)		
Bahías	Aumento de la temperatura del agua	El aumento de temperatura favorece las tasas biogeoquímicas y metabólicas (p.e. degradación de la materia orgánica)	Cambios en los patrones de presencia, abundancia y distribución de especies derivados de los cambios de temperatura: mortalidad de especies (especialmente en episodios de temperaturas anormalmente altas), establecimiento/aumento de abundancia de especies termófilas, proliferaciones de algas
	Acidificación del agua de mar (absorción de mayores cantidades de CO ₂)	Mayor riesgo de anoxia	
	Si se dan disminuciones de las entradas de agua dulce (?): aumento de la salinidad, cambios en estratificación y en tiempo de renovación del agua	Cambios en la tasa de renovación del agua	Impacto negativo de la acidificación del agua en organismos con exoesqueletos calcáreos, como los moluscos (acuicultura)
		Cambios en la productividad	Possibles brotes de patógenos, dado que la mayoría de ellos son sensibles a la temperatura

Tabla 5.3.7. Afectación a las aguas continentales y sistemas limnéticos del Delta del Ebro derivada de los cambios en las variables climáticas.

	Cambios en las características estructurales	Cambios en las características funcionales	Cambios en la biota
Sistema fluvial	Variaciones en el caudal	Cambios de productividad	Cambios en los patrones de presencia, abundancia y distribución de especies derivados de los cambios de temperatura: mortalidad de especies (especialmente en episodios de temperaturas anormalmente altas), establecimiento/aumento de abundancia de especies termófilas, proliferaciones de algas
	Aumento de la temperatura del agua		Posibles brotes de patógenos, dado que la mayoría de ellos son sensibles a la temperatura
Marjales	Disminución de la recarga hídrica del acuífero	Reducción/Pérdida del afloramiento de agua	Posibles extinciones locales de especies
Lagunas litorales	Mayor temperatura del agua	Incremento de la productividad primaria y de las tasas de degradación de la materia orgánica (con el subsiguiente aumento de las emisiones de gases en la atmósfera, etc)	Cambios en los patrones de presencia, abundancia y distribución de especies derivados de los cambios de temperatura: mortalidad de especies (especialmente en episodios de temperaturas anormalmente altas), establecimiento/aumento de abundancia de especies termófilas (algunas oportunistas o exóticas invasoras), proliferaciones de algas, disminución de abundancia de los macrófitos sumergidos
	Mayor riesgo de anoxia, ya que las temperaturas más elevadas reducen las concentraciones de saturación de oxígeno disuelto	Episodios de eutrofización y anoxia más frecuentes y/o prolongados (por episodios de precipitación intensa que comportan inputs de nutrientes desde los arrozales; mayores concentraciones de nutrientes al aumentar la evaporación, si no se aumentan proporcionalmente los inputs de agua)	Cambios en los patrones de presencia, abundancia y distribución de especies derivados de los cambios de salinidad: ganan en dominio <i>Phragmites</i> y <i>Scirpus</i> ante <i>Typha</i> o <i>Cladium</i> (también supone un cambio hacia sspp anfibios en vez de acuáticas), desaparición de especies endémicas como <i>Margaritifera</i> y <i>Ephoron</i> (incremento de la salinidad en primavera)
	Aumento de salinidad por aumento de evaporación (y por intrusión salina y menores aportaciones de agua dulce de los arrozales en caso de no aumentarse las dotaciones de agua en los mismos)	Modificaciones de las relaciones entre especies (p.e. tróficas y competitivas)	Inestabilización de las poblaciones de macroinvertebrados
Ojales	Reducción de la medida (extensión, profundidad) y/o aceleración de la desaparición de la laguna por cambios en el balance hídrico (mayor evaporación, aportaciones de agua dulce proporcionalmente menores en caso de no aumentarse la dotación de agua de riego de los arrozales)		Aumento del dominio, por tanto reducción de la diversidad global
	Disminución de la recarga hídrica del acuífero	Reducción/Pérdida del afloramiento de agua	Posibles extinciones locales de especies

5.3.3. Capacidad de los sistemas naturales de hacer frente a los cambios

A continuación se hace referencia a aquellas características de los sistemas naturales del Delta del Ebro que les confieren cierta capacidad de taponar, de recuperarse o adaptarse a los potenciales cambios ambientales anteriormente identificados.

Retroceso de playas, sistemas dunares y marismas

Como se ha comentado anteriormente, las playas y dunas, así como otros sistemas naturales asociados (marismas) sufrirán un retroceso progresivo tierra adentro, siempre y cuando haya espacio disponible y no existan estructuras antrópicas que lo interrumpan; el ritmo de cambio determinará la capacidad de supervivencia de la biota asociada a dunas y marismas.

Medida y relación superficie/volumen en lagunas

Las lagunas litorales sufrirán una serie de cambios en las características del medio físico que influirán en sus características fisicoquímicas, su funcionamiento y los procesos ecológicos que tienen lugar. Entre estos cambios, son remarcables el aumento de las entradas de arena y de agua salada como consecuencia del aumento del nivel del mar, que comportarían procesos de colmatación y aumentos de la conductividad del agua. También se podría dar entrada de agua dulce desde los acuíferos, por aumento de la presión del agua del mar en ascenso.

La capacidad de hacer frente a estos cambios será mayor en aquellas lagunas que presentan una medida mayor, y dependerá también de su relación superficie/volumen. Una superficie mayor facilita la evaporación de agua; la existencia de un mayor volumen de agua dulce tapona más eficientemente las entradas de agua salada.

Regulación antrópica en lagunas y bahías

Las lagunas y bahías del Delta del Ebro son sistemas naturales fuertemente condicionados por los sistemas antrópicos del Delta del Ebro, en particular por los arrozales, ya que reciben aportaciones de agua dulce de los mismos que determinan sus ciclos hidrológicos.

Este hecho supone que, delante de cambios no deseados en estos sistemas naturales, existe la potencialidad de regularlos antrópicamente.

Capacidad de cambio y adaptabilidad global

La transformación a la que se puede ver sometido el Delta del Ebro como consecuencia de los efectos del cambio climático puede implicar un cambio en las características de los hábitats y ecosistemas:

- Desaparición física de algunos hábitats.
- Aparición de otros hábitats nuevos.
- Cambio en las condiciones fisicoquímicas del hábitat. Consecuentemente, sucesión de especies y adaptación a sus nuevas condiciones.

La medida y características del Delta del Ebro favorecen la posibilidad de aparición de nuevos hábitats.

5.4. Vulnerabilidad del sistema humano

5.4.1. Valor intrínseco

El valor con el que se han calificado los sistemas humanos del Delta del Ebro es mayoritariamente alto. Son excepciones los siguientes componentes:

- los núcleos urbanos y las infraestructuras portuarias, a los que se ha calificado con un valor muy alto, en el primer caso por la presencia de vidas humanas, y en el segundo por el valor económico, y
- el turismo, al que se ha calificado con un valor medio, por el peso económico que tiene en la zona comparativamente con otras actividades.

5.4.2. Potenciales cambios ambientales y afectación a los componentes del sistema humano

Pérdidas de patrimonio por aumento del nivel del mar

En la medida en que el sistema físico es vulnerable a la subida del nivel del mar, y se da el retroceso de la línea de costa y la inundación permanente de terrenos, lo son también los componentes del sistema humano en el situados.

El aumento del nivel del mar puede comportar pérdidas de patrimonio, en particular:

- **Núcleos urbanizados:** la urbanización Ampollamar, el camping Ampolla-Platja, las edificaciones de la playa de la Marquesa (un restaurante y otras instalaciones auxiliares), la urbanización Riumar (a este caso se le dedica un tratamiento particular en el capítulo de prognosis), el camping L'Aube, la urbanización y el camping Els Eucaliptus y los núcleos de Els Muntells y Poblenou del Delta.
- **Infraestructuras viarias:** las situadas en primera línea de costa o bien cercanas a la misma, fundamentalmente caminos y carreteras locales.
- **Infraestructuras hidráulicas y de saneamiento:** las situadas en primera línea de costa o bien cercanas la misma se podrán ver afectadas, directamente (por inundación de los terrenos) o indirectamente (por inhabilitación).
- **Infraestructuras portuarias:** la subida del nivel del mar y las alteraciones de la dinámica litoral general pueden tener consecuencias de diferente magnitud sobre el funcionamiento de los puertos (L'Ampolla, Deltebre y Sant Carles de la Ràpita).
- **Otras infraestructuras:** son también vulnerables las infraestructuras de protección de la línea de costa y otras redes de servicios como líneas eléctricas, y líneas telefónicas y de comunicaciones situadas cerca de la franja costera.
- **Actividades económicas: agricultura:** se prevén pérdidas de superficie de cultivo de arroz.
- **Actividades económicas: acuicultura:** se puede dar afección directa a las instalaciones existentes (jaulas, plataformas flotantes y no flotantes, bateas, estanques) como consecuencia del ascenso del nivel medio del mar, e inundación de terrenos dedicados a la acuicultura en tierra y situados en primera línea de costa.
- **Actividades económicas: las salinas de la Trinitat:** la ubicación de las salinas de la Trinitat podría condicionar el desarrollo futuro de la actividad, tanto por subida del nivel del mar en la bahía de Els Alfacs como por retroceso de la línea de costa en la franja litoral.
- **Actividades económicas: recursos turísticos:** se debe considerar afecciones en las instalaciones actualmente existentes (campings, núcleos de segundas residencias, ya comentados anteriormente), y en el patrimonio natural del Delta del Ebro, hecho que repercutiría en el turismo verde y en el agroturismo.

Cambios en las condiciones sanitarias y ambientales derivados de cambios en las variables climáticas

Por lo que respecta a los cambios en las condiciones sanitarias y ambientales, se debe considerar:

- un potencial aumento de la sobremortalidad veraniega
- la emergencia o reemergencia de enfermedades infecciosas como malaria, dengue, fiebre del virus del Nil Occidental, leishmaniosis y enfermedades transmitidas por garrapatas
- cambios en la calidad del aire

Cambios en la competitividad de las actividades económicas derivadas de cambios en las variables climáticas

Por lo que respecta a los cambios en la competitividad de las actividades económicas, se debe considerar:

- **Arrozales:** es previsible que se produzcan aumentos significativos de la evapotranspiración y disminuciones de los recursos hídricos disponibles, particularmente en verano.
- **Pesca marina y continental:** se pueden dar afectaciones a especies de interés pesquero por cambios en la temperatura y salinidad del agua, particularmente en masas de agua de escasa profundidad, como lagunas. También se pueden dar expansiones de ciertas especies, y acontecimientos decrecimiento súbito y excesivo de fitoplancton en ambientes eutróficos e hipertróficos como las lagunas, que pueden originar episodios de anoxia.
- **Acuicultura:** se podrían dar cambios en el ciclo reproductivo de ciertas especies de interés como peces y se podría favorecer la expansión de ciertas especies de algas microscópicas que dan lugar a blooms.
- **Actividad industrial:** se considera que la industria más vulnerable será la que desarrolla su actividad en la transformación, preparación o venta de productos agrícolas (principalmente el arroz y otros productos de huerta).
- **Recursos turísticos:** por lo que respecta a la vulnerabilidad de los recursos turísticos se debe considerar tanto la idoneidad de las condiciones climáticas futuras, como las condiciones de salud ambiental.

6. Prognosis

6. Prognosis

6.1. Prognosis de la línea de costa exterior del Delta

6.1.1. Escenarios considerados

La metodología se basa en el análisis histórico de tendencias: se evalúan las tendencias de largo plazo de las variables geofísicas oceanográficas e hidrometeorológicas y se extrapolan al año horizonte 2050.

Para la variable cota de inundación se aplica un sistema híbrido, consistente en la extrapolación de las tendencias de largo plazo de las dinámicas marinas (oleaje y marea meteorológica en el año 2050) y en la proyección de ascenso de nivel medio del mar global para el escenario A1B del IPCC (escenario promedio) para el año 2050: 15 cm de subida. Además, se hace una prognosis para el año 2100 para el escenario A1B con un ascenso de 40 cm y para un escenario que se ha considerado pesimista, el cual consiste en una sobre elevación del nivel medio del mar de 100 cm.

6.1.2. Evolución de la línea de costa a lo largo del s.XX

De la evolución histórica del Delta del Ebro a lo largo del siglo XX se puede destacar la abertura de la desembocadura actual y cierre de la Gola Est en 1937, debido a una riada de gran magnitud, y la drástica reducción de la aportación sedimentaria por parte del río, debida a la construcción de embalses en la cuenca del Ebro, que ha provocado la evolución hacia un sistema deltaico dominado por el oleaje, y ha invertido la tendencia sedimentaria hacia Cap Tortosa, que actualmente está en retroceso. En la figura 6.1.3 se representan las líneas de costa en el lóbulo deltaico a lo largo de la segunda mitad del s.XX.

Actualmente se da una tendencia sedimentaria en las dos flechas litorales, mientras que las zonas situadas entre el lóbulo y las flechas actúan como zonas de trasvase de sedimento. Así, según se observa en la Figura 6.1.2:

- Cap Tortosa está en proceso de erosión.
- El Fangar y la Banya son zonas receptoras de sedimento.
- Las zonas del Trabucador y Eucaliptus-Migjorn son de tránsito del sedimento que procede de Cap Tortosa y se dirige hacia la Banya.
- La zona Marquesa-Riumar es de tránsito del sedimento que procede de Cap Tortosa y se dirige hacia el Fangar.

Figura 6.1.1. Línea de costa en Cap Tortosa desde 1957 hasta el 2000.
Fuente: Jiménez et al, 2005.



Figura 6.1.2. Ganancias y pérdidas actuales de sedimento a lo largo de la costa exterior del Delta del Ebro (m³/año).



Evolución de la línea de costa

Para estimar la evolución de la línea de costa se ha analizado por separado la influencia del transporte longitudinal de sedimento y la influencia del nivel medio del mar, y posteriormente se han superpuesto ambos efectos.

Se parte de la configuración actual del sistema y no se considera ningún tipo de alteración sobre la misma, salvo las propias del cambio climático, es decir, la predicción realizada se basa en la hipótesis de no interferencia con el sistema por parte de agentes externos, en particular de carácter antropogénico.

Evolución de la línea de costa por transporte longitudinal de sedimento

Para estimar el cambio que experimenta la línea de costa debido al transporte longitudinal de sedimento se ha asumido que: el perfil de equilibrio conserva su forma y la profundidad de cierre de la playa queda constante; en cada tramo de playa el volumen de arena erosionado o depositado se distribuye uniformemente en toda su longitud.

El retroceso medio obtenido se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 6.1.1. Retroceso medio de la línea de costa por transporte longitudinal de sedimento.

Retroceso medio de la costa por transporte longitudinal (m)	15 cm año horizonte 2050	40 y 100 cm año horizonte 2100	m/año
Península del Fangar	-348.30	-753.29	-8.10
Playa de la Marquesa	10.24	22.14	0.24
Playa de Riumar y Cap Tortosa	194.42	420.48	4.52
Playa del Serrallo y Playa Migjorn	-120.81	-261.28	-2.81
Playa dels Eucaliptus	-76.97	-166.48	-1.79
Playa el Trabucador	7.18	15.53	0.17
Salines de la Trinitat	148.32	320.79	3.45
Punta de la Banya	-252.83	-546.82	-5.88

Cabe destacar que el análisis de tendencias muestra que las variaciones del transporte longitudinal de sedimento al largo plazo son no significativas, hecho por el cual el fenómeno más vinculado al cambio climático es el retroceso de la línea de costa asociado al aumento de nivel medio del mar.

Evolución de la línea de costa por ascenso del nivel medio del mar

Con la finalidad de estimar el retroceso que experimenta la línea de costa debido al aumento del nivel medio del mar se han asumido las siguientes hipótesis:

- en el nuevo nivel del mar se establecerá un perfil de equilibrio con forma idéntica a la existente antes del ascenso del nivel del mar,
- la forma del perfil de equilibrio está determinada por la formulación de Dean (1977), la profundidad de cierre de la playa es la correspondiente a la dada por la formulación de Birkemeier (1985),
- el volumen de arena de la playa se conserva.

El retroceso medio obtenido se muestra en la tabla 6.1.2.

Tabla 6.1.2. Retroceso medio de la línea de costa por aumento del nivel del mar.

Retroceso medio de la costa por aumento del nivel medio del mar (m)	15 cm año horizonte 2050	40 cm año horizonte 2100	100 cm año horizonte 2100
Península del Fangar	8.90	23.72	59.31
Platja de la Marquesa	10.25	27.33	68.33
Platja de Riumar i Cap Tortosa	10.15	27.06	67.65
Platja del Serrallo y Platja Migjorn	9.70	25.85	64.64
Platja dels Eucaliptus	9.05	24.12	60.30
Platja el Trabucador	9.12	24.32	60.79
Salines de la Trinitat	9.34	24.90	62.25
Punta de la Banya	7.85	20.93	52.32

Evolución de la línea de costa total

Finalmente se estima la evolución de la línea de costa total, tanto por transporte longitudinal de sedimento como por aumento del nivel del mar. El retroceso medio obtenido para los diferentes tramos considerados se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 6.1.3. Retroceso medio total de la línea de costa, por tramos.

Retroceso medio total de la costa (m)	Escenario A año horizonte 2050 (0.15 m)	Escenario B año horizonte 2100 (0.40 m)	Escenario C año horizonte 2100 (1.00 m)
Península del Fangar	-339.40	-729.57	-693.98
Platja de la Marquesa	20.49	49.47	90.47
Platja de Riumar y Cap Tortosa	204.56	447.54	488.13
Platja del Serrallo y Platja Migjorn	-111.11	-235.43	-196.64
Platja dels Eucaliptus	-67.93	-142.36	-106.18
Platja el Trabucador	16.30	39.84	76.32
Salines de la Trinitat	157.66	345.70	383.05
Punta de la Banya	-244.98	-525.90	-494.50

Las prognosis de línea de costa según los diferentes escenarios especificados se muestran en las figuras siguientes.

Figura 6.1.3. Líneas de costa actuales y de los diferentes escenarios de cambio climático en la Península del Fangar y en la playa de la Marquesa.

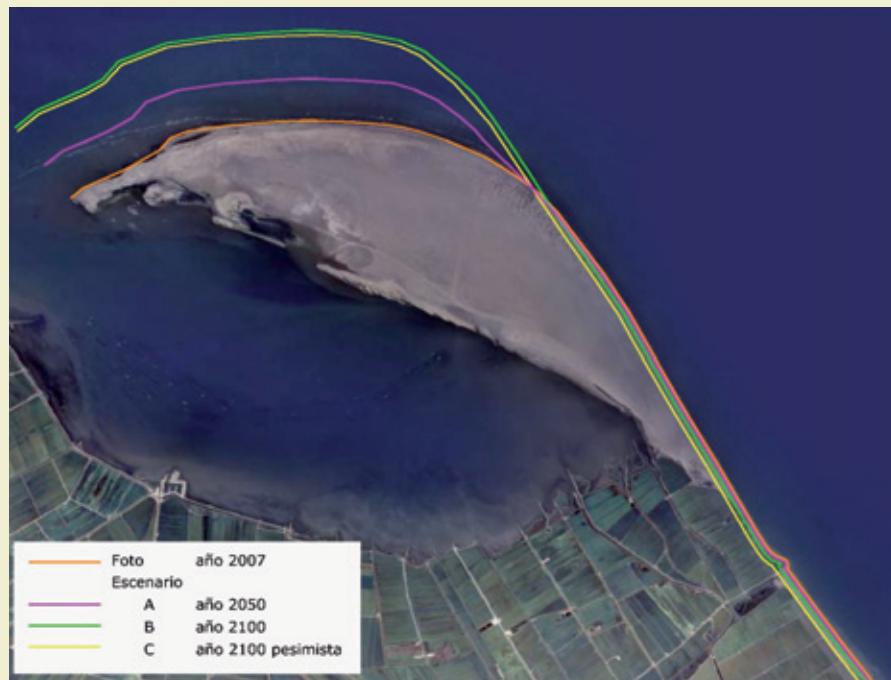


Figura 6.1.4. Líneas de costa actuales y de los diferentes escenarios de cambio climático en la playa de Riumar y en Cap Tortosa.



Figura 6.1.5. Líneas de costa actuales y de los diferentes escenarios de cambio climático en las playas d'Eucaliptus, Migjorn y Serrallo.



Figura 6.1.6. Líneas de costa actuales y de los diferentes escenarios de cambio climático en la playa del Trabucador.



Figura 6.1.7. Líneas de costa actuales y de los diferentes escenarios de cambio climático en las salinas de la Trinitat y en la Punta de la Banya.



6.1.3. Casuística de Riumar

La playa de Riumar está en la sombra de los bajos exteriores de la desembocadura, que actúan como elemento de difracción. El retroceso de Cap Tortosa provocará el retroceso de los mismos en la medida en que se desplaza la línea de costa, modificándose a la vez la posición de la planta de equilibrio de la playa. Esta se ha analizado utilizando la metodología de González y Medina (2001); la prognosis de la línea de costa en Riumar aparece representada en la figura inferior:

Figura 6.1.8. Forma en planta de equilibrio de la playa de Riumar para los diferentes escenarios planteados.



6.2. Prognosis de la costa de las bahías

Para calcular el efecto de la subida del nivel del mar al interior de las bahías se ha hecho un modelo digital del terreno (MDT) para evaluar las zonas inundables en la parte interior de las bahías, considerando la cota del nivel del mar la del puerto de Sant Carles de la Ràpita. Los escenarios que se han considerado para la realización de la simulación han sido los mismos que los considerados para el estudio de la evolución de la línea exterior de costa anteriormente explicado:

- El año 2050 el nivel del mar estará 15 cm por encima del nivel del mar actual (escenario A)
- El año 2100 el nivel del mar estará 40 cm por encima del nivel del mar actual (escenario B)
- El año 2100 el nivel del mar estará 1 m por encima del nivel del mar actual (escenario C y el más pesimista)

En todos estos escenarios se ha considerado la subsidencia media de 0'2 cm/año.

Este modelo tiene unas limitaciones dado que:

- Falta una cartografía detallada y adecuada para realizar los trabajos
- En la utilización del modelo, se ha considerado que la topografía no cambia en los 50 y 100 años en los que se realiza la hipótesis (no puede ser de otra manera ya que no se tiene la topografía del futuro). Esta suposición es del todo errónea, ya que a medida que aumente el nivel del mar cambiará la topografía (seguramente se construirán estructuras que interrumpirán esta subida de las aguas, etc).

Resultados

El análisis indica cual será la evolución del avance del agua y que zonas se inundarán primero; y no pretende constituir una prognosis de que son las zonas inundables a un horizonte temporal definido y bajo una cierta hipótesis, dado que hay una cierta imprecisión en los datos de base (escala de trabajo, detalle del error de las cotas, etc).

En el caso de las bahías, que no responden a aumentos del nivel del mar (no activas desde un punto de vista morfológico), y dado el carácter marcadamente llano del Delta, el agua del mar puede inundar sin demasiada interrupción, con excepción de la que pueden abastecer estructuras como carreteras, y que es eficiente sólo en un plazo corto de tiempo.

Las zonas que se ha detectado que ofrecen una facilidad mayor por la entrada del agua de mar, son las golas y puntos de bombeo:

Figura 6.2.1. Prognosis de las zonas inundables antes del año 2050, con cotas por debajo de los 15 cm. de aumento del nivel medio del mar. Se observa por donde comienza a inundar el agua de mar.



Figura 6.2.2. Prognosis de las zonas inundables en el año 2050 considerando un aumento del nivel medio del mar de 15 cm. (y la subsidencia).



Figura 6.2.3. Prognosis de las zonas inundables en el año 2100 considerando un aumento del nivel medio del mar de 40 cm. (y la subsidencia).

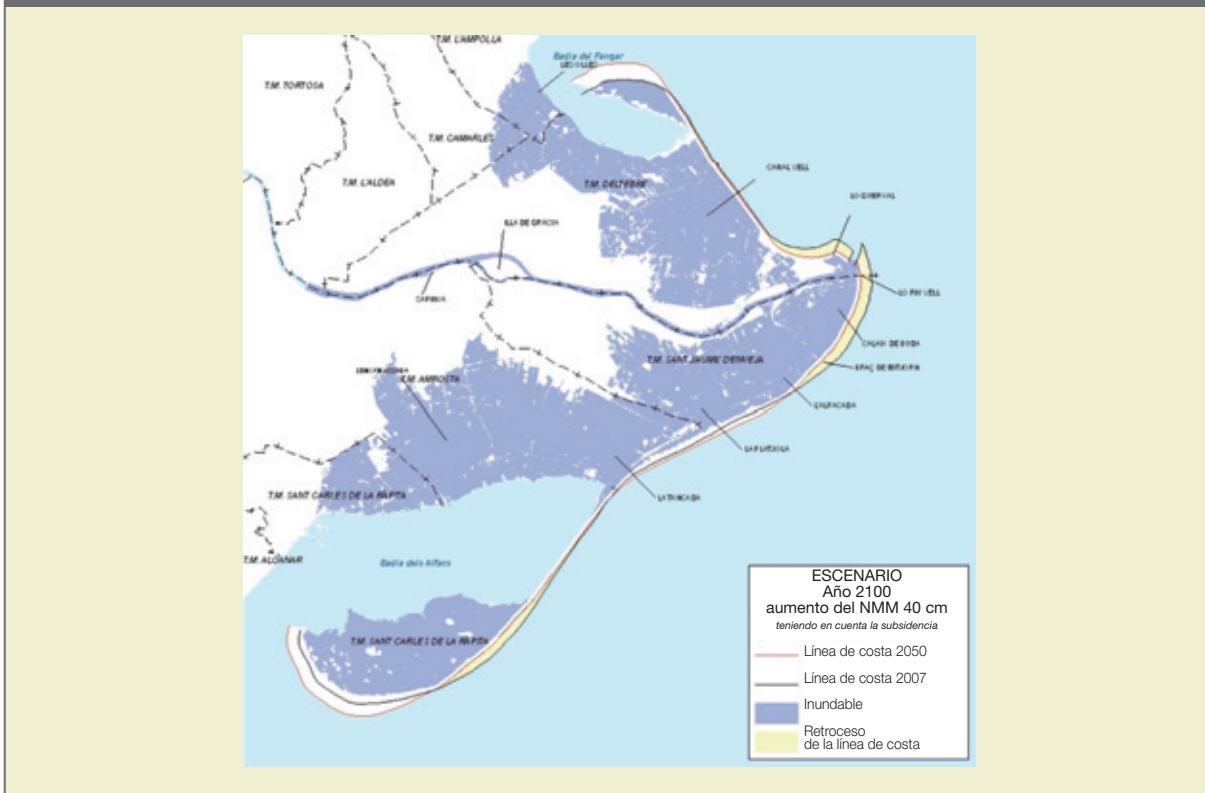


Fig. 6.2.4. Prognosis de las zonas inundables en el año 2100 considerando un aumento del nivel medio del mar de 100 cm. (y la subsidencia).



6.3. Prognosis de la presencia y permanencia de la falca salina

En el presente apartado se realiza una prognosis de la presencia y permanencia de la falca salina en el Ebro.

Para este estudio se considera:

- La situación actual de la falca
- La influencia de la reducción de caudales en el río Ebro
- La influencia del aumento del nivel del mar

Conclusiones:

- A partir de las modelizaciones realizadas, el límite superior de caudal del río para la existencia de falca salina es de 600 m³/s.
- En la situación actual y durante un 10% del tiempo en el año medio no existirá falca salina. La falca sobrepasa la isla de Gracia alrededor de un 20% del tiempo.
- Influencia de la reducción del régimen de caudales.

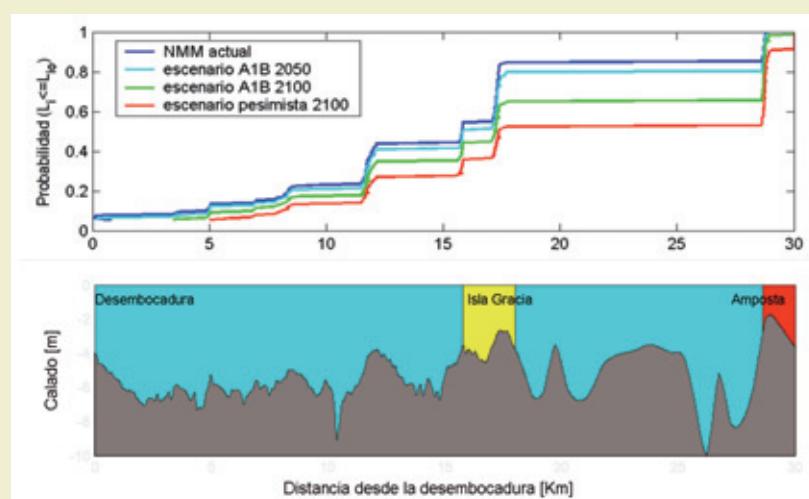
Se han propuesto dos escenarios a partir de los resultados de diversos proyectos europeos, y que consisten en una reducción del régimen de caudales en Tortosa del 10 y del 20% a lo largo del siglo XXI.

Al modificar el régimen de caudales que recibe la zona de estudio, se alterará el régimen de longitud de la falca salina y el resultado es un mayor tiempo de permanencia de la falca, más acusado como mayor sea la disminución de caudales.

- Influencia del aumento del nivel medio del mar

Para evaluar la influencia del aumento del nivel medio del mar, se utilizan tres escenarios propuestos en el IV Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), que son el escenario A1B para el año 2050, en el cual se predice un aumento del nivel medio del mar global de 15 cm, el A1B para el año 2100, que equivale a un aumento de 40 cm, y un escenario pesimista (cota superior de todos los escenarios propuestos en el IPCC) equivalente a un aumento de 100 cm en el año horizonte 2100.

Figura 6.3.1. Influencia del aumento del nivel medio del mar.



Por tanto:

- El aumento del nivel medio del mar potencia la existencia de la falca salina en un área mayor y durante más tiempo.
- La falca alcanza la isla de Gracia un 20% del tiempo en la actualidad; para el escenario A1B de 2100 lo hará un 40% del tiempo, y
- El escenario pesimista indica que la falca salina estará presente el 50% del tiempo en esta zona.

7. Análisis de riesgo sobre bienes económicos, naturales y sociales

7. Análisis de riesgo sobre bienes económicos, naturales y sociales

En el presente trabajo se considera que el riesgo es el producto de la vulnerabilidad de un componente por la probabilidad de que un determinado efecto potencial derivado del cambio climático se produzca.

De esta manera, para definir el riesgo sobre los bienes económicos, naturales y sociales se parte de:

- La definición de vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos
- La probabilidad que tienen diferentes efectos sobre los sistemas naturales y humanos de pasar, calificada en base a:
 - (a) Las prognosis que se han llevado a cabo en el apartado anterior,
 - (b) La búsqueda bibliográfica y
 - (c) La estimación de la probabilidad, cuando ninguna de las dos opciones anteriores es posible.

De acuerdo con la definición de riesgo dada al inicio de este punto, y considerando los resultados de las modelizaciones de la inundación de los terrenos como consecuencia de los efectos del cambio climático (punto 6.2 del presente documento), se observa que las zonas de riesgo son las siguientes:

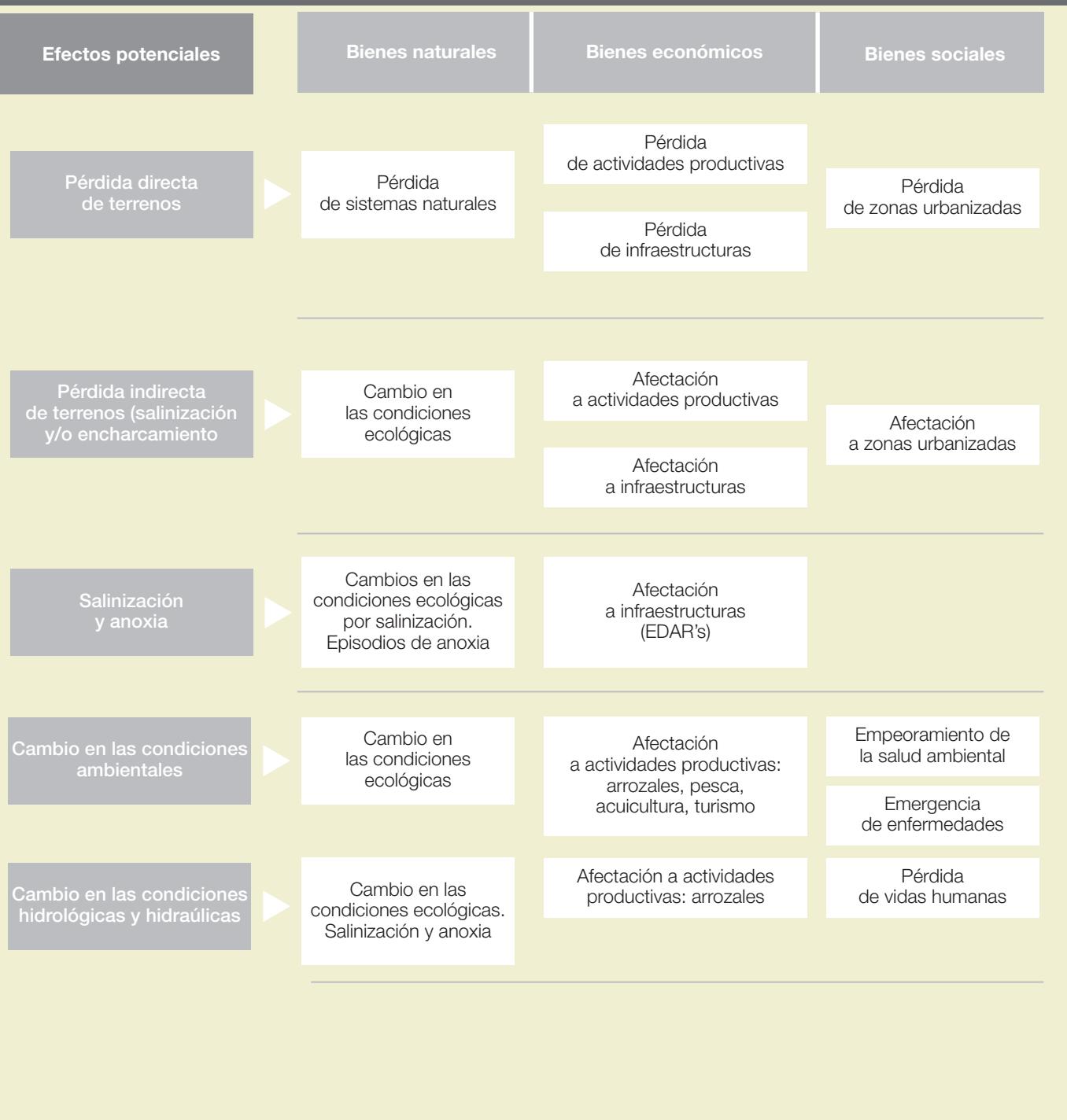
Ámbito	Riesgos previstos en un horizonte de 50 años	Riesgos previstos en un horizonte de 100 años
Zona de la Playa de la Marquesa-Nen Perdut	Reducción de la playa y traslado de ésta hacia atrás	Reducción de la playa. Afectación indirecta de la plana deltaica desde las bahías
Zona Riumar	Afección a la urbanización por subida de la cota del nivel del mar	Incremento de la afectación Afectación indirecta de la plana deltaica desde las bahías
Zona Garxal - Isla Sant Antoni - Isla de Buda- Alfacada	Reducción de espacios naturales	Incremento de la afectación Afectación indirecta de la plana deltaica desde las bahías
Platjola - Eucaliptus	No se prevé afectación	Afectación indirecta por inundación de la plana deltaica desde las bahías. (afectación a la urbanización)
Punta Fangar y Punta de la Banya y barra Trabucador	Evolución de los sistemas de acuerdo con la dinámica costera. Reducción del interior de la Punta de la Banya o de la Punta del Fangar, a la vez que crecen en longitud	Siguen los procesos evolutivos de la línea de costa. Las puntas se alargan más, y las partes internas quedan más inundadas sin desaparecer
Hemidelta Norte	Inundación en el Hemidelta a partir primero de las golas de Les Olles y de la estación de bombeo del Port de l'Illa. Después, a partir de otros puntos bajos	Inundación desde el resto del Hemidelta hacia la punta con probabilidades diferentes según el escenario
Hemidelta sur	Inundación en el Hemidelta sur a partir primero de las golas. Riesgo sobre la población de Poble nou del Delta	Inundación desde el resto del Hemidelta hacia la punta con probabilidades diferentes según el escenario

A continuación se lleva a cabo el análisis del riesgo sobre los bienes naturales, económicos y sociales, para el cual se ha seguido el esquema conceptual que aparece representado en la Figura 7.1, de manera que los riesgos se tratan de forma particular.

Figura 7.1. Identificación de los efectos potenciales de los cambios ambientales identificados sobre los bienes naturales,

Cambios ambientales identificados	Probabilidad de ocurrencia	Consideraciones
Subsidiencia	Alta	La tasa de subsistencia varía en el espacio y en el tiempo
Aumento del nivel del mar	Alta	Se consideran las prognosis para diferentes escenarios (capítulo 5)
Variación del régimen de tempestades marinas	Alta	Seguirán afectando el lóbulo deltaico, Marquesa-Riumar, y l'Alfacada-Trabucador. A HN disminuirá la duración; en el HS aumentará
Aumento de la presencia y permanencia de la falca salina	Alta	Se consideran las prognosis para diferentes escenarios (capítulo 5)
Variación de variables climáticas	Alta	Fundamentalmente de la temperatura del aire y el agua, y en la pluviometría
Disminución de caudales del río Ebro	Media	Se estima que disminuirá en 10-20% a lo largo del s.XXI. La regulación puede permitir mantener un caudal mínimo
Variación del régimen de inundaciones fluviales	Media	Dada la alta regulación de la cuenca, no se esperan grandes variaciones

económicos y sociales del Delta del Ebro.



7.1. Riesgo sobre bienes naturales

7.1.1. Riesgo de pérdida de sistemas naturales por aumento del nivel del mar

El riesgo de pérdida de sistemas naturales y hábitats por aumento del nivel del mar considera en primer lugar la probabilidad de ocurrencia de este acontecimiento, de forma que se ha considerado que:

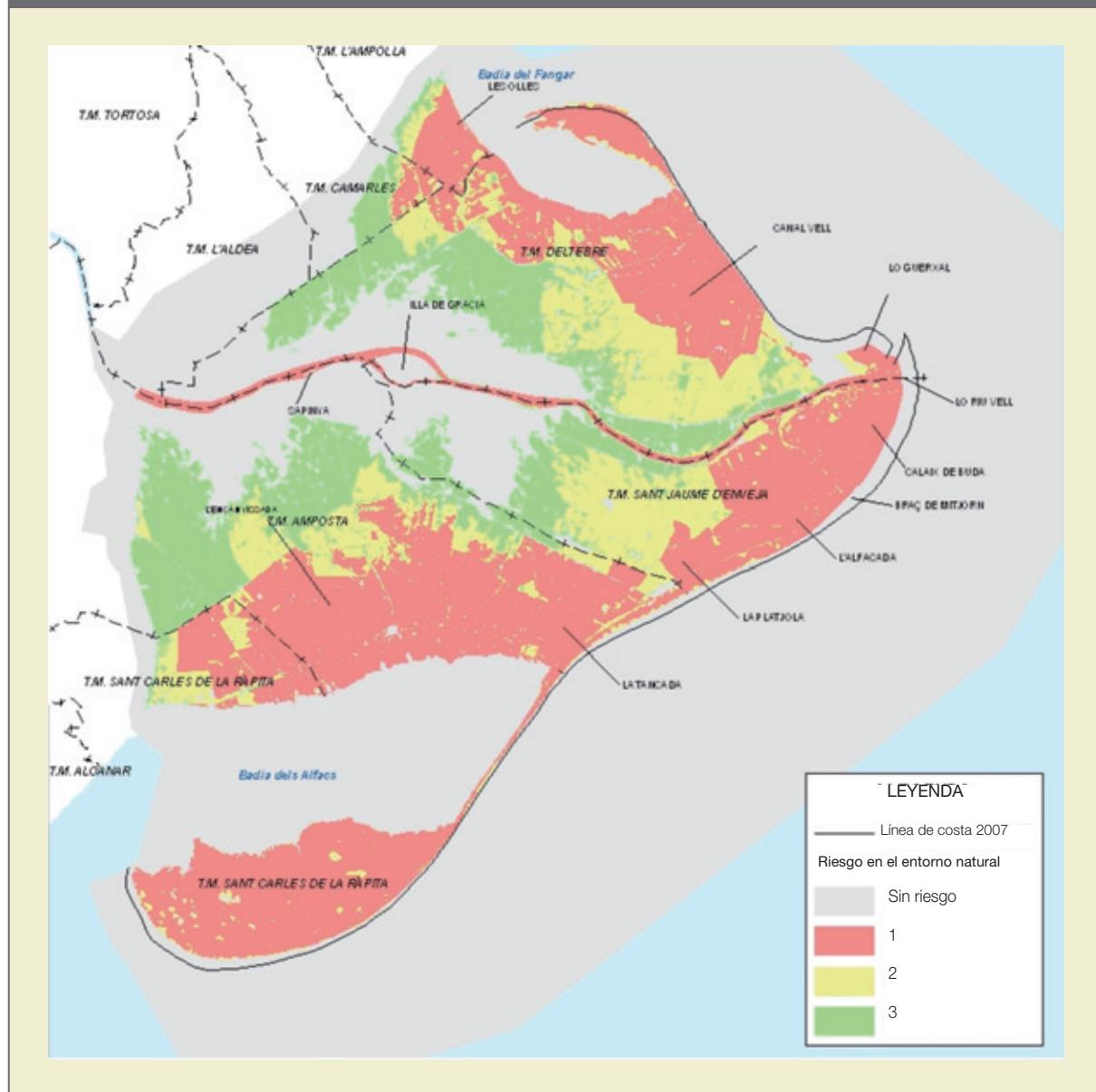
- Existe una **probabilidad alta de pérdida** de los sistemas naturales que están sobre los terrenos que resulten inundados o erosionados en el escenario A1B para **el horizonte temporal 2050**.
- Existe una **probabilidad alta de pérdida** de los sistemas naturales que están sobre los terrenos que resulten inundados o erosionados en el escenario A1B para **el horizonte temporal 2100**.
- Existe una **probabilidad baja de pérdida** de los sistemas naturales que están sobre los terrenos que resultan inundados o erosionados considerando una subida de nivel del mar de 100 cm a **horizonte temporal 2100**.

Estas probabilidades de ocurrencia se consideran conjuntamente con la vulnerabilidad definida para los sistemas naturales, según la siguiente categorización:

		Probabilidad de ocurrencia		
		1	2	3
Vulnerabilidad	Muy alta/ alta	Riesgo 1	Riesgo 1	Riesgo 2
	Media	Riesgo 1	Riesgo 2	Riesgo 3
	Baja	Riesgo 2	Riesgo 3	Riesgo 3

El mapa de riesgo resultante aparece en la Figura 7.1.1.

Figura 7.1.1. Riesgo en los sistemas naturales del Delta del Ebro por aumento del nivel del mar.



Según se observa en la figura, están en riesgo 1: las lagunas litorales (Les Olles, El Canal Vell, Lo Garxal, El Calaix de Buda, L'Alfacada, La Platjola, La Tancada, L'Encanyissada), otras zonas húmedas (isla de Sant Antoni, isla de Buda y río Migjorn), las playas, los sistemas dunares, los sistemas halobios (entre otros, yermos de la Tancada, yermos de Casablanca y Vilacoto y antiguas salinas de Sant Antoni), superficie de arroyos. Se debe destacar que todos los sistemas naturales situados sobre el lóbulo deltaico y las puntas del Fangar y la Banya están en riesgo 1.

Están en riesgo 2 y riesgo 3 los márgenes del río Ebro en el tramo más bajo, las fuentes y los marjales asociados y superficie de arrozales.

El riesgo de los sistemas naturales se hace extensivo en un conjunto de hábitats de interés comunitario (HIC) que se encuentran en ellos, así como a las especies animales y vegetales que los habitan.

En la siguiente tabla se especifican las superficies de los HIC que están fuera de riesgo, en riesgo 1 y en riesgo 2:

Tabla 7.1.2. Superficies de hábitat de interés comunitario por categorías de riesgo.

Código	HIC	Sin riesgo (ha)	Riesgo 1 (ha)	Riesgo 2 (ha)
1140	Planes costeros arenosos o limosos, a menudo recubiertos de manteles microbianos	118,54	1990,56	117,56
1150*	Lagunas litorales	0,22	1492,55	0,90
1320	Espartinares	30,25	14,13	1,43
1410	Prados y juncales halófilos mediterráneos (<i>Juncetalia maritimii</i>)	19,02	185,88	28,28
1420	Matorrales halófilos mediterráneos y termoatlánticos (<i>Sarcocornetea fruticosae</i>)	88,58	701,16	104,53
2110	Dunas móviles embrionarias	0,23	24,64	6,97
2120	Dunas móviles del cordón litoral, con <i>Ammophila arenaria</i>	2,14	85,35	1,11
2210	Dunas litorales fijadas, con comunidades del <i>Crucianellion maritimae</i>	7,45	74,67	14,84
3140	Aguas estancadas oligomesotróficas, duras, con vegetación bentónica de carofíceas	0,00	7,91	0,00
7210*	Marjales calcáreos con <i>Cladium mariscus</i>	3,45	294,81	29,10
92A0	Alamedas, saucedas y otros bosques de ribera	1,65	0,31	0,39

En las siguientes tablas se especifican las especies vegetales y animales de especial interés que están en riesgo, identificados en base a los sistemas naturales que habitan:

Tabla 7.1.3. Especies de interés particular en riesgo en los sistemas terrestres del Delta del Ebro.

Sistemas naturales	Especies de interés particular en riesgo
Terrestres	
Sistemas dunares	<p>Vegetación psamófila, especializada en este tipo de hábitats. Destacan especies como <i>Limoniastrum monopetalum</i> (vulnerable en Cat.; protegida por el Decreto 328/1992)</p> <p>Avifauna nidificante: <i>Charadrius alexandrinus</i> (principal población ibérica, vulnerable en Cat.), <i>Sterna nilotica</i> (en peligro en Eur.), <i>Haematopus ostralegus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Sterna hirundo</i> (vulnerable en Cat.), <i>Sterna albifrons</i> (en peligro en Cat.)</p>
Sistemas halobios	<p>Flora: <i>Zygophyllum album</i> (vulnerable en Cat. y Esp.), <i>Spergularia rubra</i> subsp. <i>heildreichii</i>, <i>Limonium densissimum</i> (vulnerable en Cat. y en Esp.), <i>L. girardianum</i>, <i>L. ferulaceum</i></p> <p>Avifauna nidificante <i>Glareola pratincola</i> (en peligro en Cat. y en Eur.; sólo nidifica en el Delta), <i>Sterna albifrons</i> (en peligro en Cat.), <i>Haematopus ostralegus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Charadrius alexandrinus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Calandrella brachydactyla</i> (en peligro en Cat., vulnerable en Eur.), <i>C. rufescens</i> (vulnerable en Cat. y Eur.), <i>Larus audouinii</i> (vulnerable en Cat.), <i>L. fuscus</i> (vulnerable en Cat.), <i>L. genei</i> (vulnerable en Cat.), <i>Sterna sandvicensis</i> (vulnerable en Cat.), <i>S. albifrons</i> (en peligro en Cat.), <i>Charadrius alexandrinus</i> (principal población ibérica, vulnerable en Cat.), <i>Tringa totanus</i> (en peligro en Cat.), <i>Haematopus ostralegus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Tadorna tadorna</i> (vulnerable en Cat.)</p>
Arrozales	<p>Avifauna: hábitat para anátidos hibernantes y limícolas</p> <p>Herpetofauna: <i>Mauremys leprosa</i> (vulnerable en Esp.) y <i>Emys orbicularis</i> (en peligro en Esp.)</p> <p>Especies de flora protegidas: <i>Lindernia dubia</i>, <i>Marsilea quadrifolia</i> y <i>Bergia capensis</i></p>

Tabla 7.1.4. Especies de interés particular en riesgo en las aguas continentales y sistemas limnéticos del Delta del Ebro.

Sistemas naturales	Especies de interés particular en riesgo
Aguas continentales y sistemas limnéticos	
Lagunas litorales	<p>Flora: macrófitos como <i>Ruppia cirrosa</i> y <i>Potamogeton pectinatus</i> dentro del agua; cinturones de helófitos en los alrededores</p> <p>Avifauna: <i>Chlidonias hybridus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Sterna nilotica</i> (en peligro en Eur.), <i>Circus aeruginosus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Ardeola ralloides</i> (vulnerable en Eur.), <i>Botaurus stellaris</i> (en peligro crítico en Cat.)</p>
Les Olles	<p>Avifauna: <i>Ardeola ralloides</i> (vulnerable en Eur.), <i>Locustella luscinioides</i> (en peligro en Cat.)</p> <p>Ictiofauna: <i>Anguilla anguilla</i> (vulnerable en Esp.)</p>
El Canal Vell	<p>Ictiofauna: <i>Aphanius iberus</i> (en peligro de extinción y protegida mediante Ley 12/2006; RD 439/90 y Directiva de Hábitats); <i>Anguilla anguilla</i> (vulnerable en Esp.)</p> <p>Herpetofauna: <i>Emys orbicularis</i> (vulnerable)</p> <p>Avifauna: <i>Botaurus stellaris</i> (en peligro crítico en Cat.), <i>Alcedo atthis</i> (vulnerable en Cat.), <i>Emberiza schoeniclus</i> (en peligro crítico en Cat.), <i>Ixobrychus minutus</i> (próxima a la amenaza), <i>Ardeola ralloides</i> (próxima a la amenaza), <i>Egretta garzetta</i> (próxima a la amenaza), <i>Chlidonias hybridus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Locustella luscinioides</i> (en peligro en Cat.)</p>
El Garxal	Avifauna nidificante: <i>Ardea purpurea</i> , <i>Ixobrychus minutus</i> o <i>Chlidonias hybrida</i>
El Calaix de Buda/ els Calaixos de Buda	Flora: <i>Zygophyllum album</i> (vulnerable en Cat. y en Esp.), <i>Limonium vigoi</i> (endemismo; en este núcleo se concentran más del 99% de individuos de la especie)
L'Alfacada	Avifauna nidificante: <i>Chlidonias hybrida</i> (vulnerable en Cat.), <i>Acrocephalus melanopogon</i> (vulnerable en Cat.), <i>Locustella luscinioides</i> (en peligro en Cat.)
La Platjola	<p>Avifauna nidificante: <i>Ixobrychus minutus</i> (vulnerable en Eur.) y esporádicamente <i>Botaurus stellaris</i> (en peligro crítico en Cat., vulnerable en Eur.), <i>Locustella luscinioides</i> (en peligro en Cat.), <i>Emberiza schoeniclus</i> (en peligro crítico en Cat.)</p> <p>Dormidor de <i>Circus aeruginosus</i> en invierno</p>
La Tancada	Avifauna nidificante: <i>Sterna nilotica</i> (en peligro en Eur.), <i>Tringa totanus</i> (en peligro en Cat.), <i>Sterna hirundo</i> (vulnerable en Cat.)
L'Encanyissada	<p>Flora: <i>Najas marina</i> (bastante rara)</p> <p>Avifauna nidificante: <i>Botaurus stellaris</i> (en peligro crítico en Cat.), <i>Netta rufina</i> (vulnerable en Cat.), <i>Circus aeruginosus</i> (vulnerable en Cat.), <i>Chlidonias hybrida</i> (vulnerable en Cat.)</p> <p>Herpetofauna: <i>Emys orbicularis</i></p>
Ojales y marjales	<p>Flora: <i>Iris xiphium</i> (muy raro en Cat.), los ojales de La Panxa</p> <p>Fauna: <i>Phagocata ulla</i> (planaria; único animal endémico del Delta), los ojales de L'Arispe y Baltasar</p> <p>Ictiofauna: <i>Gobio gobio</i> (autóctono en el Ebro), <i>Cobitis paludica</i> (endemismo ibérico, vulnerable en Esp.), <i>Gasterosteus aculeatus</i> (protegido en Cat., vulnerable en Esp.), <i>Valencia hispanica</i> (endemismo entre el Delta y el Norte de Alicante, en peligro en Esp.)</p> <p>Herpetofauna: <i>Emys orbicularis</i>, <i>Mauremys leprosa</i></p>

7.1.2. Riesgo de salinización y anoxia por aumento en la presencia y permanencia de la falca salina

- El tramo del río Ebro situado por debajo de la isla de Gràcia presenta una **probabilidad media** de presencia y permanencia de la falca salina, dado que en la actualidad está un 20% del tiempo, mientras que en los escenarios de 2100 estaría un 40% (A1B) – 50% (pesimista)
- El tramo del río Ebro situado por debajo de la isla de Gràcia presenta una **probabilidad baja** de presencia y permanencia de la falca salina

Estas probabilidades de ocurrencia se consideran conjuntamente con la vulnerabilidad definida para el río, según la categorización que se recoge en la Tabla 5.3.3. El riesgo resultante está representado en la Figura 7.1.1.

7.1.3. Riesgo de cambio en las condiciones ecológicas por cambios en las variables climáticas

Se ha valorado el riesgo que comporta el cambio en las variables climáticas sobre los diferentes sistemas naturales presentes en el Delta a un nivel global. Así pues, éstos comportan a la vez cambios en el comportamiento biótico de los sistemas. Los riesgos asociados a los mismos son difícilmente evaluables, y requieren de estudios específicos.

Aun así, dadas las características de los diferentes ecosistemas, se ha considerado que los principales hábitats que tienen un mayor riesgo delante del posible cambio de condiciones por este aspecto, son los siguientes:

- Bahías
- Lagunas
- Fuentes y marjales
- Sistema fluvial

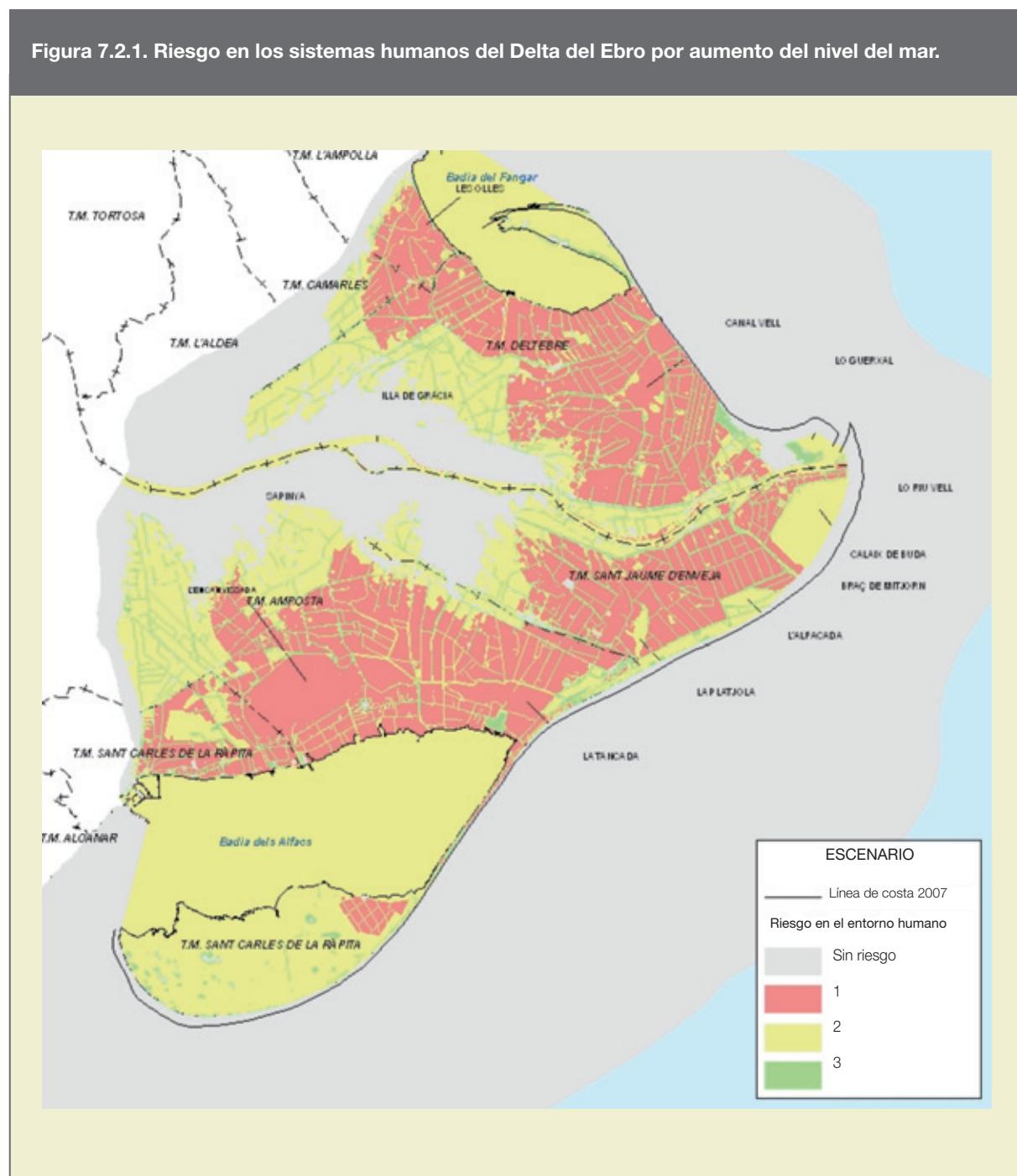
En menor medida, este riesgo se puede manifestar en otros hábitats.

Recientemente se ha propuesto el uso de *Living Planet Index methodology* (WWF, ZSL) como herramienta objetiva para medir los patrones de biodiversidad en las zonas húmedas Mediterráneas en un contexto de cambio global. La primera versión de este índice ya se ha aplicado, tanto a un nivel global en el Mediterráneo, como a un nivel local, por ejemplo en La Camarga. Según se ha visto, la mayoría de datos de monitorización de que se dispone corresponden a pájaros, en detrimento de otras clases de vertebrados. Así pues, y según se ha observado, los pájaros parecen adaptarse bien a la transformación de sus biotopos, y por tanto no siempre son buenos indicadores de la evolución cualitativa de sus hábitats, hecho por el cual se debería promover el seguimiento de organismos que están en contacto más directo con los hábitats acuáticos, como los anfibios o los peces.

7.2. Riesgo sobre bienes económicos

7.2.1. Riesgo de pérdida de actividades productivas e infraestructuras por aumento del nivel del mar

Con la finalidad de evaluar el riesgo de pérdida de actividades productivas e infraestructuras por aumento del nivel del mar, se ha considerado la misma metodología que se ha utilizado en el punto 7.1.1. De forma que se ha hecho la misma caracterización de probabilidades de ocurrencia. Y de la misma manera se ha relacionado con la vulnerabilidad para evaluar el riesgo, como se indica en la tabla 7.1.1. El mapa de riesgo resultante aparece representado en la figura siguiente:



En cuanto a actividades económicas, en la tabla siguiente se recogen las superficies de las principales actividades productivas en riesgo:

Tabla 7.2.1. Superficies de actividades productivas afectadas.

Actividades productivas	Sin riesgo (m ²)	Riesgo 1 (m ²)	Riesgo 2 (m ²)	Riesgo 3 (m ²)
Arrozales	6688,17	11187,09	6473,54	0,00
Otros cultivos	417,12	1,35	6,84	0,00
Salinos	3,03	179,89	1,07	0,00

Por lo que respecta a infraestructuras, en la figura siguiente se representan las infraestructuras en riesgo:

Figura 7.2.2. Infraestructuras en riesgo.



Según se observa, existe riesgo de afección sobre diferentes tipos de infraestructuras: viarias, de saneamiento (EDAR, colectores y emisarios) e hidráulicas.

7.2.2. Riesgo de afectación a actividades productivas por salinización y/o encharcamiento

Se ha identificado otro riesgo asociado al aumento del nivel del mar, que derivaría de la intrusión de agua salada en los acuíferos de la plana deltaica.

En literatura científica se describe el Delta del Ebro como un sistema conformado por diferentes acuíferos, entre los cuales el más superficial tiene una profundidad de 10 m, conformado por arenas finas poco permeables, y presenta zonas salinas y zonas hipersalinas (Bayó *et al.*, 1992; Bayó *et al.*, 1997). El contenido de sales de esta capa estaría fundamentalmente controlado por el input de agua dulce que comporta el riego de los arrozales. Por este motivo, y según algunos autores, no se espera pérdida indirecta de terrenos por salinización como consecuencia del aumento del nivel del mar: el agua ya es salina, y las aportaciones de agua dulce proceden del riego (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008).

En el presente trabajo se hace la propuesta de una medida de seguimiento del grado de incidencia del cambio climático sobre las expectativas de los diferentes sectores productivos en el Delta del Ebro (*capítulo 7 del presente trabajo, medida DE 9*), que incluye el seguimiento de la productividad de los arrozales y permitiría, por tanto, detectar si se dan efectos negativos sobre los arrozales relacionados con la salinización de los acuíferos.

7.2.3. Riesgo de afectación en actividades productivas por cambios en las condiciones climáticas

A continuación se valora el riesgo de afectación a las actividades productivas que están en el Delta del Ebro por cambios en las condiciones climáticas, en base a la búsqueda bibliográfica en estudios que dan orientación al respecto de la probabilidad de ocurrencia de los efectos considerados.

Arrozales

La vulnerabilidad de los arrozales deriva del aumento de sus requerimientos hídricos, que será proporcional al aumento de la evapotranspiración. Desde la Junta de Andalucía se han llevado a cabo previsiones al respecto: los resultados señalan valores medios de aumento de la ET₀ (evapotranspiración del cultivo de referencia) de entre 8,4 y 8,9% para el 2050 en el escenario más favorable (B2) y más desfavorable (A2), respectivamente. Estos porcentajes son valores medios para todos los píxeles en que se divide el estado español.

El aumento de los requerimientos hídricos de los arrozales del Delta se daría a la vez que una disminución de los recursos hídricos en la cuenca del Ebro; según resultados de diversos proyectos europeos, se esperan reducciones del régimen de caudales en Tortosa de entre el 10% y el 20% a lo largo del s.XXI. Dada la elevada regulación de la cuenca del río Ebro, las políticas de gestión del agua serán de gran relevancia.

Los arrozales del Delta del Ebro estarían en riesgo 2 cuando su valor intrínseco es alto (los que están en áreas protegidas alrededor de los sistemas naturales) y en riesgo 3 cuando el valor intrínseco es medio (en el resto de la plana deltaica).

Pesca marina y continental

En base a la estimación de riesgo que se ha hecho para el caso de *riesgo de cambio en las condiciones ecológicas por cambio en las variables climáticas*, de las cuales depende la pesca, se atribuye a la pesca continental riesgo 1, y a la pesca marina riesgo 2.

Acuicultura

En base a la estimación de riesgo que se ha hecho para el caso de *riesgo de cambio en las condiciones ecológicas por cambio en las variables climáticas*, se atribuye a la acuicultura en bahías riesgo 1, en la pesca continental riesgo 1, y en la acuicultura en la franja litoral riesgo 2.

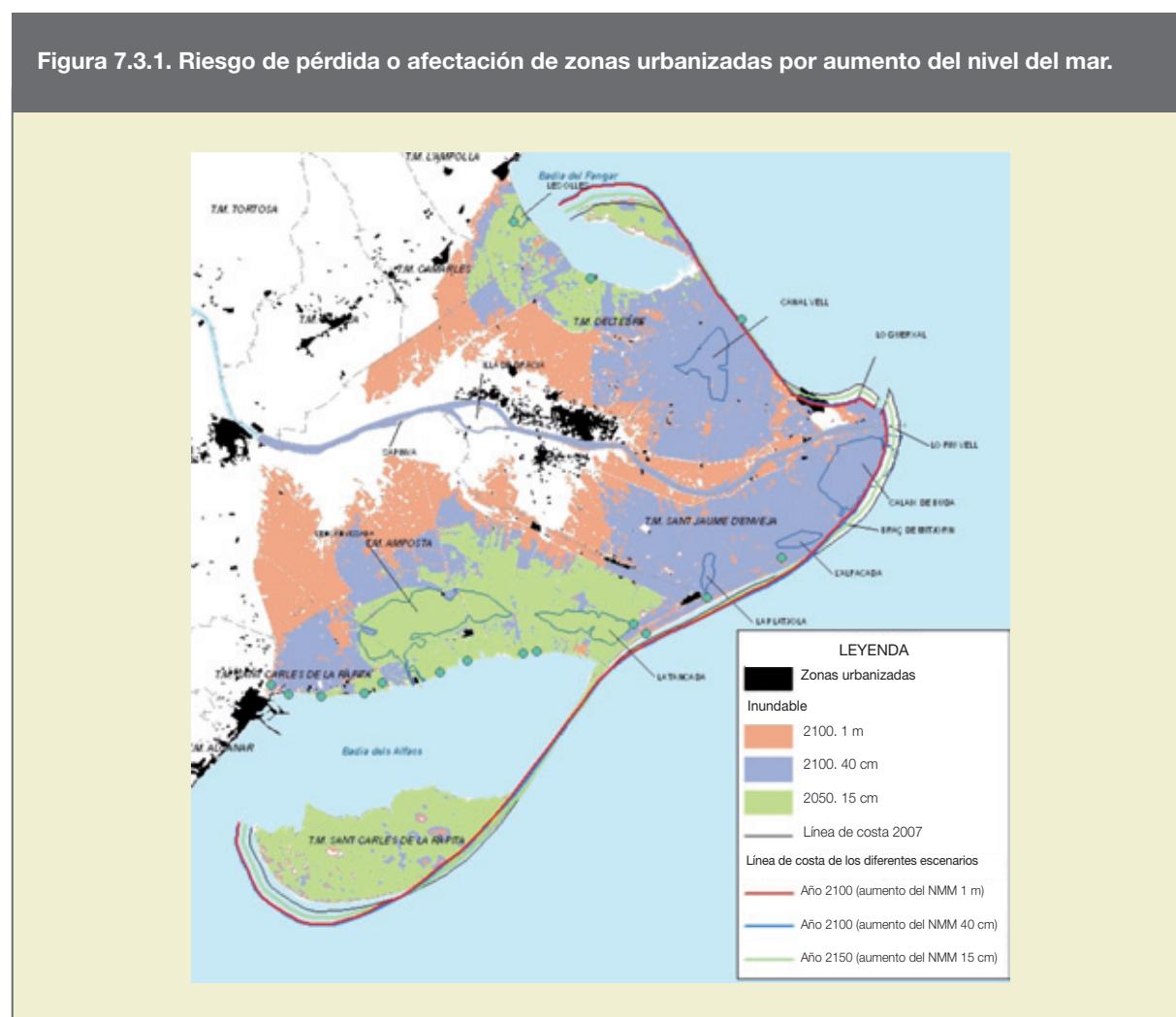
Recursos turísticos

Según un estudio de valoración de las condiciones climáticas futuras en relación con el turismo, elaborado por la Comisión Europea en Junio de 2007, el Delta del Ebro estaría en un nivel *Aceptable* (TCI 40-60) para el periodo 2071-2100. Se considera que el riesgo de afectación al turismo por cambio en las variables climáticas es riesgo 3. Se debe comentar el hecho que la actividad turística se podría ver indirectamente afectada por cambios negativos en las condiciones de salud ambiental.

7.3. Riesgo sobre bienes sociales

7.3.1. Riesgo de pérdida o afectación de zonas urbanizadas por aumento del nivel del mar

Para evaluar el riesgo de pérdida de bienes sociales y entornos humanos por aumento del nivel del mar, se ha considerado la localización de todos los núcleos habitados, y los diferentes escenarios de subida del nivel del mar. El mapa de riesgo resultante aparece representado en la figura 7.3.1.



Según se observa, en el Delta del Ebro están en situación de riesgo los siguientes núcleos:

- Riumar. Tiene riesgo derivado de la evolución de la línea de costa, ya presente en el escenario proyectado para el 2050 y que se incrementará a finales de siglo.
- El Poblenou del Delta. El riesgo de este núcleo es alto para el escenario proyectado para el 2050, debido a la subida del mar desde la bahía de Els Alfacs.
- Els Muntells. Presenta situación de riesgo para el escenario más desfavorable: considerando el año y horizonte 2100 y una subida del nivel medio del mar de 1 m.
- Els Eucaliptus. En la zona costera de Els Eucaliptus no existe riesgo, dado que la previsión es de crecimiento de la línea de costa. Así pues, la inundación desde la bahía de Els Alfacs los puede afectar entre el año 2050 y 2100.

En la siguiente página se incluyen figuras específicas para el caso de Riumar y Eucaliptus.

7.3.2. Riesgo de empeoramiento de la salud ambiental por cambios en las variables climáticas

Se ha considerado conjuntamente la calidad del aire, la calidad del agua, la seguridad de los alimentos y las enfermedades alergénicas. El riesgo de empeoramiento de la salud ambiental por cambios en las variables climáticas se considera riesgo 3.

7.3.3. Riesgo de emergencia de enfermedades por cambios en las variables climáticas

Se han considerado la malaria, el dengue, la fiebre del virus del Nilo Occidental, la leishmaniosis y las enfermedades transmitidas por garrapatas. El riesgo de emergencia de enfermedades por cambios en las variables climáticas se considera riesgo 3.

7.3.4. Riesgo de pérdida de vidas humanas por cambios en las variables climáticas

Las previsiones para el Delta del Ebro en el escenario más pesimista por lo que respecta a la emisión de gases y el calentamiento global (*Adapting to climate change in Europe – options for EU action* (Commission of the European Community, 2007), son que, para el periodo 2071-2100 con relación al periodo 1961-1990:

- Las muertes por enfermedades relacionadas con un exceso de calor aumenten en una media de 25-30 personas muertas por cada 100.000 personas.
- Las muertes por enfermedades relacionadas con un exceso de frío disminuyan en una media de 5-10 personas muertas por cada 100.000 personas.

Figura 7.3.2. Imagen ampliada de las líneas de costa para Riumar: escenario AB1 – 2050 (rojo); escenario AB1 – 2100 (naranja); escenario pesimista – 2100 (verde).



Figura 7.3.3. Imagen ampliada de la situación para Eucaliptus en horizontes temporales 2050 y 2100.



8. Diseño de medidas de adaptación y prevención

8. Diseño de medidas de adaptación y prevención

8.1. Presentación de las medidas

Cualquier previsión relacionada con el calentamiento global lleva inherentemente asociado cierto nivel de incertidumbre, derivado entre otras de la propia complejidad de los fenómenos climáticos, del rango de variabilidad de los escenarios futuros por lo que respecta a emisiones, de las complejas interacciones entre variables que se dan en los sistemas naturales o de la falta de conocimiento científico. Al objeto de proponer medidas de adaptación y prevención a los efectos del cambio climático para el Delta del Ebro se ha decidido seguir el principio de precaución, según el cual, cuando exista un incertidumbre con relación a los potenciales daños ambientales o sociales que puedan ocurrir o surgir de una forma de proceder determinada, evitar el riesgo ha de ser una norma de decisión establecida.

Las medidas de adaptación al cambio climático en el Delta del Ebro tienen los siguientes objetivos:

- O1. Mejora de los sistemas de medida, de obtención de datos y de almacenamiento y tratamiento de la información obtenida.
- O2. Reducción de la vulnerabilidad y el riesgo para las personas.
- O3. Adaptación de las actividades económicas y protección de los bienes económicos potencialmente afectados.
- O4. Proteger y restaurar la integridad de los sistemas ambientales amenazados.

Para alcanzar estos objetivos, se han diferenciado cuatro grandes líneas de medidas:

- Medidas de gestión, planificación y normativa (Tabla 8.1)
- Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios (Tabla 8.2)
- Medidas para la información y sensibilización ciudadana (Tabla 8.3)
- Medidas de intervención directa (Tabla 8.4)

Entre las medidas que impliquen una intervención directa en el territorio, se pueden diferenciar:

- Un grupo de medidas para actuar sobre las problemáticas ambientales e impactos que existan actualmente en el Delta, y que aumentarán o podrían aumentar por sinergia los efectos del cambio climático.
- Un grupo de medidas que son propiamente una adaptación a los efectos potenciales del cambio climático, derivadas del estudio de riesgo.
- La priorización de las medidas blandas y de gestión sobre las medidas duras.

Tabla 8.1. Medidas de gestión, planificación y normativa.

Código	Título de la actuación	Actuaciones relacionadas	Prioridad
GPN 1	Creación de una figura de observación y de seguimiento de los efectos del cambio climático en el Delta del Ebro	GPN 4, GPN 5, GPN 7, DE 1, DE 2, DE 3, DE 4, DE 5, IS 1, IS 2	Alta
GPN 2	Elaboración de un plan director de las medidas de Adaptación y Prevención al Cambio Climático en el Delta del Ebro	GPN 1, GPN 4, GPN 5, GPN 6, GPN 7	Alta
GPN 3	Adecuación del Dominio Público Marítimo-Terrestre (DPMT) en las previsiones de riesgo de aumento del nivel del mar		Alta
GPN 4	Adaptación de los planes territorial y sectorial a los potenciales efectos derivados del cambio climático en el Delta del Ebro	GPN 2, GPN 3	Alta
GPN 5	Adaptación del planeamiento urbanístico en las zonas de riesgo por el cambio climático definidas en el Delta del Ebro	GPN 1, GPN 2, GPN 3, GPN 4, GPN 10	Alta
GPN 6	Adaptar y redefinir los límites de las figuras protegidas en el Delta del Ebro	GPN 3, GPN 4, GPN 5	Alta
GPN 7	Incorporación de criterios constructivos y de evaluación técnica que consideren los potenciales efectos derivados del cambio climático	GPN 2, GPN 4	Alta
GPN 8.1	Control sanitario: establecimiento de sistemas de control y prevención sanitario frente la posible aparición de cuadros clínicos y enfermedades vinculadas al Cambio climático	IS 1, IS 2	Alta
GPN 8.2	Control sanitario: establecimiento de sistemas de control y prevención para prever posibles plagas y enfermedades que afecten a la productividad agrícola, piscícola y marisquera	IS 1, IS 2	Alta
GPN 9	Establecimiento de sistemas de control de la calidad ambiental	GPN 8	Complementaria

Tabla 8.2. Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios.

Código	Título de la actuación	Actuaciones relacionadas	Prioridad
DE 1	Creación y mantenimiento de una base de datos integrada y centralizada para la gestión de la costa del Delta del Ebro	GPN 1, DE 2, DE 3, DE 5	Alta
DE 2	Elaboración de una batimetría y cartografía detallada de la costa del Delta del Ebro	DE 1, DE 5	Alta
DE 3	Seguimiento de detalle de la subsidencia de la plana deltaica	DE 1, DE 5	Media
DE 4	Seguimiento del estado y posición de la falca salina	DE 1, DE 5	Media
DE 5	Desarrollo de programas científico-técnicos aplicados a la prognosis	GPN 1, DE 1, DE 2, DE 3, DE 4	Alta
DE 6	Seguimiento de las poblaciones de especies protegidas, endémicas, raras o vulnerables presentes en el Delta del Ebro	DE 7, ID 4	Media
DE 7	Conservación del patrimonio genético en el Delta del Ebro	DE 6, ID GC 4	Complementaria
DE 8	Control y monitorización de las lagunas, bahías y zonas húmedas		Complementaria
DE 9	Seguimiento del grado de incidencia del cambio climático sobre las expectativas de los diferentes sectores productivos	ID 1	Alta
DE 10	Estudios sobre la utilización de variedades de arroz con menores requerimientos hídricos	ID 1, DE 9	Alta
DE 11	Aplicación de sistemas de optimización de recursos hidrológicos	DE 10, GPN 4, GPN 6	Alta
DE 12	Control poblaciones de parásitos y otros vectores potenciales de enfermedades y plagas que puedan aparecer como consecuencia del cambio en las variables climáticas	GPN 8.1, GPN 8.2	Alta
DE 13	Control y seguimiento de las prognosis realizadas	GPN 1, GPN 2, DE 1, DE 5	Alta
DE 14	Reevaluación de la funcionalidad de las infraestructuras costeras	GPN 2, GPN 4	Alta
DE 15	Valoración de los reservorios de arena		Alta

Tabla 8.3. Medidas para la información y sensibilización ciudadana.

Código	Título de la actuación	Actuaciones relacionadas	Prioridad
IS 1	Desarrollo de programas de información y sensibilización ciudadana	GPN 1	Alta
IS 2	Desarrollo de sistemas de alerta centrados en la población	GPN 1	Alta

Tabla 8.4. Medidas de intervención directa (I).

Código	Título de la actuación	Actuaciones relacionadas	Prioridad
(1) Actuación sobre problemáticas ambientales e impactos actualmente existentes			
IDE 1	Líneas de medidas para solucionar la problemática de falta de acreción vertical de la plana deltaica: aprovechamiento de los sedimentos de los embalses	DE 3	Complementaria
IDE 2	Líneas de medidas para solucionar la problemática de falta de acreción vertical de la plana deltaica: potenciar zonas húmedas	DE 3	Complementaria
IDE 3	Líneas de medidas para solucionar la problemática de falta de acreción vertical de la plana deltaica: aprovechar los limos presentes en las bahías para llenar las zonas más bajas de la plana deltaica	DE 3	Complementaria
IDE 4	Líneas de medidas para solucionar la problemática de la falca salina	DE 4	Complementaria
IDE 5	Medidas para minimizar la rigidización en la costa		Alta
IDE 6	Instalación de filtros verdes y regulación de los efluentes que se viertan en lagunas y bahías	DE 8	Complementaria
(2) Medidas generales - Criterios			
MG 1	No intervenir, es decir, aceptar a nivel territorial el ascenso del nivel del mar y la pérdida de los terrenos costeros	GPN 2, GPN 4, GPN 10	
MG 2	Redefinición gestionada de la línea de costa	GPN 2, GPN 4, GPN 10	Alta
MG 3	Mantener la línea de costa mediante la aplicación de medidas duras		
MG 4	Mantener la línea de costa mediante la aplicación de medidas blandas		
MG 5	Ganarle terreno al mar		
MG 6	Medidas de mitigación con intervención limitada		

Tabla 8.5. Medidas de intervención directa (II).

Código	Título de la actuación	Actuaciones relacionadas	Prioridad
(3) Medidas específicas			
ID GC 1	Medidas de lucha contra los efectos de la subida del nivel del mar mediante la formación de sistemas dunares	MG 4, MG 6	Alta
ID GC 2	Medidas de compensación de hábitats naturales	GPN 4, GPN 5, GPN 10, ID 2, MG 2	Media
ID GC 3	Medidas dirigidas al abandono progresivo de las áreas urbanas y actividades en zonas de riesgo	GPN 5, IS 1, IS 2, MG 2	Media
ID GC 4	Actuaciones y medidas complementarias: construcción de motas	MG 1, MG 2, MG 4	Media
ID GC 5	Regeneración de playas a partir de la aportación de arenas acumuladas en otras zonas	MG 4	Media
ID GC 6	Medidas dirigidas al mantenimiento de un caudal mínimo en el río Ebro	DE 10, DE 11, IDE 1, IDE 4	Media
ID GC 7	Garantizar el libre movimiento de la arena		Alta

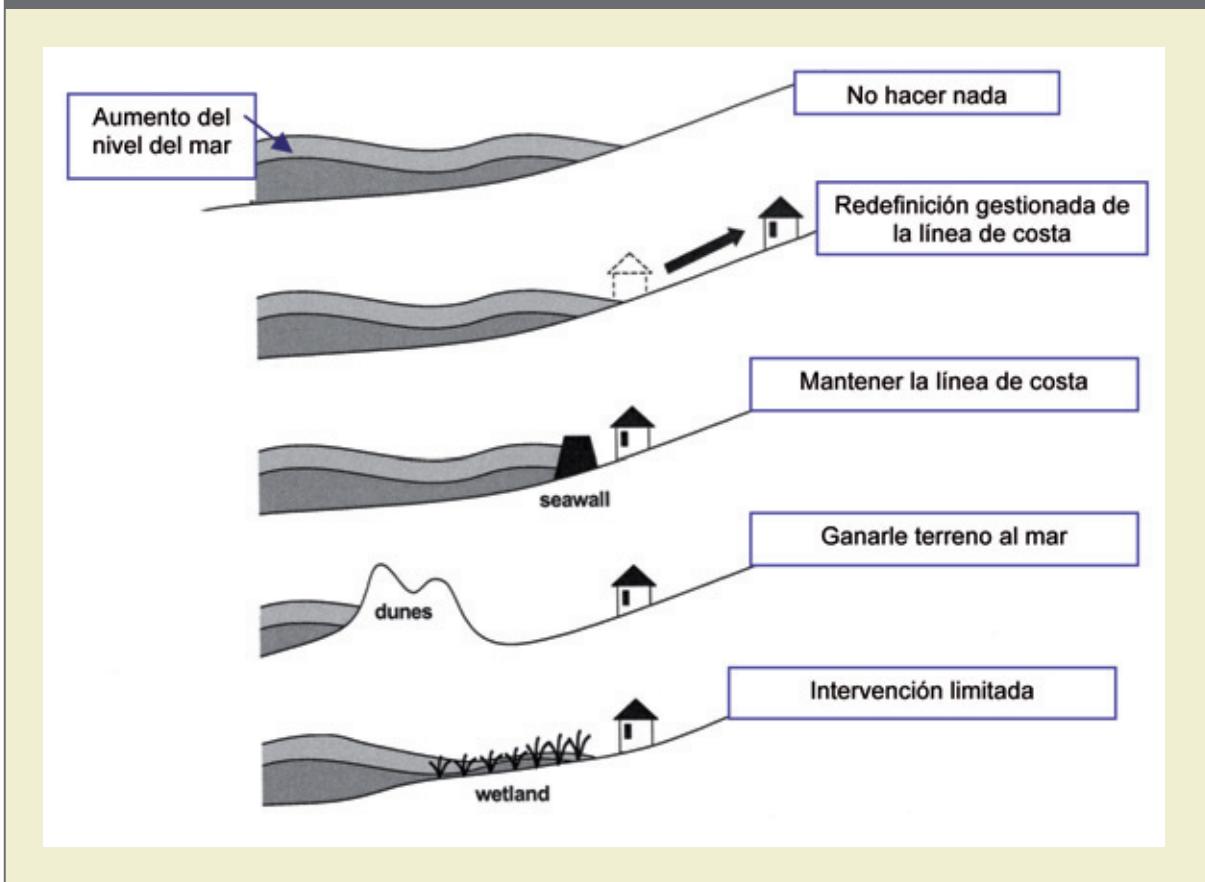
Dentro de la propuesta de medidas de intervención directa dirigidas a la adaptación a los efectos potenciales del cambio climático en el Delta del Ebro, tienen particular significación y peso las dirigidas a la gestión de la línea de costa, que constituye un asunto de primer orden de importancia dentro de las estrategias de adaptación, dado que se espera la inundación permanente de la franja de terrenos costera adyacente a las bahías como consecuencia del aumento del nivel del mar, según se desprende de la prognosis para el 2050 y 2100 recogida anteriormente. La gestión que se haga de la línea de costa tiene, pues, consecuencias sobre los sistemas naturales y humanos situados sobre los terrenos en riesgo.

Se ha considerado que las medidas de intervención directa dirigidas a la gestión de la línea de costa que se propongan no pueden implicar contradicciones de criterio, hecho que fomentaría la no aceptación social de las mismas. Se ha considerado necesario adoptar una o algunas líneas estratégicas, así como ciertos criterios fundamentales, para guiar la toma de decisiones.

En primer lugar, es preferible adoptar una estrategia *proactiva* –de anticipación a los cambios ambientales, tanto sucesos como procesos- siempre que sea posible, y adoptar una estrategia *reactiva* –de actuar delante de los cambios ambientales cuando sus efectos ya son patentes- sólo cuando ésta es la única opción posible.

Por lo que respecta a las grandes líneas estratégicas de la línea de costa, se han considerado las que aparecen recogidas en el proyecto EUROSION (*Guide to coastal erosion management practices in Europe*, 2004), donde se especifica en qué circunstancias es consideran más convenientes, y en qué lugares de Europa se están utilizando. A continuación se adjunta un gráfico donde aparecen representadas estas estrategias, que en el trabajo original aparecen también descritas en detalle.

Figura 8.1. Políticas genéricas de gestión de la costa, según definición del Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) del Reino Unido.



8.2. Zonificación de las actuaciones

En último lugar, se ha llevado a cabo una zonificación de la costa del Delta del Ebro, con el objetivo de diferenciar tramos de características lo más homogéneas posibles por lo que respecta a medio físico, natural y socioeconómico, así como por lo que respecta a tendencia sedimentaria (erosión/deposición). Para cada uno de estos tramos se ha valorado el conjunto de medidas propuestas y, en base a sus características, se han propuesto las que se consideran más apropiadas en aquel caso particular. En este proceso se han seguido los siguientes criterios generales:

En la línea de costa exterior del Delta se propone el seguimiento de las prognosis que se han llevado a cabo en el presente trabajo, y se consideran más apropiadas las líneas de gestión “no actuación” y “redefinición gestionada de la línea de costa”, y por tanto se limitan mucho las actuaciones físicas, excepto en los siguientes puntos:

- Zona de Riumar: actuaciones para la reducción del riesgo sobre las personas.
- Zona Eucaliptus: A largo plazo (a partir del año 2050), será necesario proponer actuaciones para la reducción del riesgo sobre las personas.

Los terrenos adyacentes a las bahías presentan riesgo 1, hecho por el cual se trata zonas prioritarias en la definición de las medidas para la adaptación al cambio climático. Se considera fundamental un estudio hidráulico que analice el grado de operatividad de las diferentes infraestructuras hidráulicas para hacer frente

a la entrada de agua. De acuerdo con la modelización realizada habrá entrada de agua a partir de las golas, estaciones de bombeo y puntos bajos; el estudio hidráulico que se propone debe garantizar la funcionalidad de estas infraestructuras y el diseño de nuevas en caso que se requieran.

El resto de medidas están dirigidas a tratar de minimizar la subida del nivel del mar en base a dos estrategias: la redefinición gestionada de la línea de costa y el mantenimiento de la línea de costa mediante diferentes técnicas. En este sentido, se debe mencionar que algunas de las actuaciones propuestas por la *D.G. de Sostenibilidad de la Costa y del Mar del Ministerio de Medio Ambiente* pueden tener repercusiones positivas por lo que respecta a los efectos del cambio climático por subida del nivel del mar, dado que consisten en caminos de ronda que actúan como motas de protección (ver actuación ID GC 4).

En las páginas siguientes se presentan, por zonas, las posibles medidas de actuación.

Zona	Líneas de actuación	Alternativas	Medidas	Código
	Medidas específicas			
Playa Marquesa	Medidas de intervención directa: actuación sobre problemática existente		Medidas para minimizar la rigidización en la costa	ID 5
	Medidas de intervención directa: varios	Alt 1	Redefinición gestionada de la línea de costa	MG 2
		Alt 2.1	Mantener la línea de costa mediante la aplicación de medidas duras	MG 3
		Alt 2.2	Mantener la línea de costa mediante la aplicación de medidas blandas	MG 4
Zona de Riumar	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios		Control y seguimiento de las prognosis realizadas (3)	DE 13
	Medidas de información y sensibilización ciudadana		Desarrollo de programas de información y sensibilización ciudadana	IS 1
			Desarrollo de sistemas de alerta concentrados en la población	IS 2
		Alt 1	Medidas dirigidas al abandono progresivo de las áreas urbanas y actividades en zonas de riesgo y realojamiento	ID GC 3
	Medidas de intervención directa: varios	Alt 2.1	Mantener la línea de costa mediante la aplicación de medidas duras	MG 3
		Alt 2.2	Mantener la línea de costa mediante la aplicación de medidas blandas	MG 4
Lo Garxal- Illa St. Antoni- Lo Riu Vell	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios		Control y seguimiento de las prognosis realizadas (3)	DE 13
	Medidas de intervención directa: varios	Alt 1	No intervenir, es decir, aceptar a nivel territorial el ascenso del nivel del mar y la pérdida de los terrenos costeros	MG 1
			Redefinición gestionada de la línea de costa	MG 2
		Alt 2	Medidas de lucha contra los efectos de la subida del nivel del mar mediante la formación de sistemas dunares	ID GC 1
			Medidas de compensación de hábitats naturales	ID GC 2
		Alt 3	Mantener la línea de costa mediante la aplicación de medidas blandas	MG 4
Zona isla de Budas- L'Alfacada	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios		Control y seguimiento de las prognosis realizadas (3)	DE 13
	Medidas de intervención directa: varios	Alt 1	No intervenir, es decir, aceptar a nivel territorial el ascenso del nivel del mar y la pérdida de los terrenos costeros	MG 1
			Redefinición gestionada de la línea de costa	MG 2
		Alt 2	Medidas de lucha contra los efectos de la subida del nivel del mar mediante la formación de sistemas dunares	ID GC 1
			Medidas de compensación de hábitats naturales	ID GC 2
		Alt 3	Mantener la línea de costa mediante la aplicación de medidas blandas	MG 4
Zona Eucaliptus y Platjola	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios		Control y seguimiento de las prognosis realizadas (3)	DE 13
	Medidas de información y sensibilización ciudadana		Desarrollo de programas de información y sensibilización ciudadana	IS 1
			Desarrollo de sistemas de alerta centrados en la población	IS 2
	Medidas de intervención directa: varios	Alt 1	No intervenir, es decir, aceptar a nivel territorial el ascenso del nivel del mar y la pérdida de los terrenos costeros (6)	MG 1
		Alt 2	Medidas dirigidas al abandono progresivo de las áreas urbanas y actividades en zonas de riesgo y realojamiento	ID GC 3

Prioridad		Valoración			
2050	2100	Eficiencia de la medida	Dificultad	Coste económico	Impactos ambient. adicionales
Media		Alta	Baja	Bajo	Nulos
Media	Media	Alta	Baja	Medio (2)	Nulos-Bajos
Baja (1)	Baja (1)	Baja-Media	Baja-Media	Medio	Altos
Media (1)	Media (1)	Baja-Media	Baja	Bajo-Medio	Bajos
Alta	Alta	Alta	Media-Baja	Medio-Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Media	Medio-Indet. (2)	Indet.
Media-Alta (1)	Alta	Baja-Indeterminada	Alta	Alto	Altos
Media-Alta (1)	Alta	Baja-Indeterminada	Alta	Medio-Alto	Bajos
Alta	Alta	Alta	Media-Baja	Medio-Bajo	Nulos
Medio	Medio	Alta	Baja	Bajo-Medio	Indet.
Medio	Medio	Alta	Baja	Bajo-Medio	Indet.
Medio-Bajo	Medio-Bajo	Alta (4)	Media	Alto-Medio	Bajos-Nulos
Bajo (5)	Indet. (5)	Alta	Media	Medio	Positivos
Bajo	Bajo	Baja-Nula	Alta	Alto	Indet.
Alta	Alta	Alta	Media-Baja	Medio-Bajo	Nulos
Medio	Medio	Alta	Baja	Bajo-Medio	Indet.
Medio	Medio	Alta	Baja	Bajo-Medio	Indet.
Medio-Bajo	Medio-Bajo	Alta (4)	Media	Alto-Medio	Bajos-Nulos
Bajo (5)	Indet. (5)	Alta	Media	Medio	Positivos
Bajo	Bajo	Baja-Nula	Alta	Alto	Indet.
Alta	Alta	Alta	Media-Baja	Medio-Bajo	Nulos
Media	Alta	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Media	Alta	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Bajo (6)	Medio (6)	Alta	Baja	Bajo-Medio	Indet.
Baja	Alta (6)	Alta	Media	Medio-Indet. (2)	Indet.

Zona	Líneas de actuación	Alternativas	Medidas	Código
	Medidas específicas			
Erms de La Tancada-La Tancada	Medidas de intervención directa: varios		Control y seguimiento de las prognosis realizadas (3)	DE 13
			No intervenir, es decir, aceptar a nivel territorial el ascenso del nivel del mar	MG 3
Barra del Trabucador	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios		Control y seguimiento de las prognosis realizadas (3)	DE 13
	Medidas de intervención directa		Medidas para minimizar la rigidización en la costa No intervenir, es decir, aceptar a nivel territorial el ascenso del nivel del mar y la pérdida de los terrenos costeros	IDE 5 MG 1
Punta de la Banya	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios Medidas de intervención directa: varios		Control y seguimiento de las prognosis realizadas (3)	DE 13
			No intervenir, es decir, aceptar a nivel territorial el ascenso del nivel del mar y la pérdida de los terrenos costeros	MG 1
		Alt 1	Mantener la línea de costa mediante la aplicación de medidas blandas	MG 4
			Redefinición gestionada de la línea de costa	MG 2
		Alt 2	Medidas encaminadas al abandono progresivo de las actividades en zonas de riesgo y realojamiento	ID GC 3
			Medidas de compensación de hábitats naturales	ID GC 2
Fangar	Medidas de intervención directa: varios		Control y seguimiento de las prognosis realizadas (3)	DE 13
			No intervenir, es decir, aceptar a nivel territorial el ascenso del nivel del mar y la pérdida de los terrenos costeros	MG 1
		Alt 1	Redefinición gestionada de la línea de costa	MG 2
			Medidas de compensación de hábitats naturales	ID GC 2
Port Ampolla-Nucli Ampolla. Port Sant Carles	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios Medidas de gestión, planificación y normativa		Medidas de lucha contra los efectos de la subida del nivel del mar mediante la formación de sistemas dunares	ID GC 1
			Reevaluación de la funcionalidad de las infraestructuras costeras	DE 14
		Alt 1	Incorporación de criterios constructivos y de evaluación técnica que consideren los potenciales efectos del cambio climático	GPN 7
			Adaptar el planteamiento urbanístico en las zonas de riesgo por el cambio climático definidas en el Delta del Ebro	GPN 5
Interior del Delta a la Badia del Fangar	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios		Reevaluación de la funcionalidad de las infraestructuras costeras. En caso necesario, cálculos hidráulicos de la capacidad de canales y rediseño de las estaciones de bombeo y compuertas basculantes. Concretamente, como más urgentes, las de la balsa de Les Olles y la de El Port de L'Illa	DE 14
			Control y seguimiento de las prognosis realizadas (3)	DE 13
		Alt 1.1	Actuaciones para mantener la línea de costa con actuaciones duras	MG 3
			Actuaciones para mantener la línea de costa con actuaciones blandas	MG 4
	Medidas de intervención directa: varios	Alt 2	Redefinición gestionada de la línea de costa	MG 1
			Medidas de lucha contra los efectos de la subida del nivel del mar mediante la formación de sistemas dunares	ID GC 1
		Alt 3	Medidas de compensación de hábitats naturales	ID GC 2
			Medidas complementarias: construcción de motas de protección	ID GC 4

Prioridad		Valoración			
2050	2100	Eficiencia de la medida	Dificultad	Coste económico	Impactos ambient. adicionales
Alta	Alta	Alta	Media-Baja	Medio-Bajo	Nulos
Baja	Media	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Media-Baja	Medio-Bajo	Nulos
Alta		Alta	Baja	Bajo	Nulos
Media	Media	Alta	Baja	Nulo	Indet.
Alta		Alta	Baja	Medio	Nulos
Alta	Alta	Alta	Media-Baja	Medio-Bajo	Nulos
Media	Media	Alta	Baja	Nulo	Indet.
Baja	Indet.	Indet.	Alta	Alto	Indet.
Media	Media	Alta	Baja	Bajo-Medio	Indet.
Alta	Alta	Alta	Media	Medio-Indet.(2)	Indet.
Baja (5)	Indet. (5)	Alta	Media	Medio	Positivos
Alta	Alta	Alta	Media-Baja	Medio-Bajo	Nulos
Media	Media	Alta	Baja	Nulo	Indet.
Media	Media	Alta	Baja	Bajo-Medio	Indet.
Baja (5)	Indet. (5)	Alta	Media	Medio	Positivos
Baja	Baja	Alta	Indet.	Bajo-Medio	Nulos-Positivos
Alta	Alta	Alta	Media-Alta	Medio-Alto	Nulos
Alta	Alta	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Alta	Alto	Indet.
Alta	Alta	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Media		Alta	Alta	Alto	Altos
Alta		Alta	Alta	Alto	Medios-Altos
Alta	Alta	Alta	Media-Alta	Alto	Indet.
Baja	Media	Alta	Media	Medio	Positivos
Baja (5)	Indet. (5)	Alta	Media	Medio	Positivos
Alta (7)	Alta (7)	Alta	Alta	Medio	Bajos-Medios

Zona	Líneas de actuación	Alternativas	Medidas	Código
	Medidas específicas			
Interior del Delta en la Badia dels Alfacs	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios		Reevaluación de la funcionalidad de las infraestructuras costeras. En caso necesario, cálculos hidráulicos de la capacidad del canal y rediseño de las estaciones de bombeo y compuertas basculantes	DE 14
	Medidas de información y sensibilización ciudadana		Control y seguimiento de las prognosis realizadas	DE 13
	Medidas de intervención directa (a): abandono de áreas urbanas		Desarrollo de programas de información y sensibilización ciudadana	IS 1
	Medidas de intervención directa (b)	Alt 1.1	Desarrollo de sistemas de alerta centrados en la población	IS 2
	Medidas de intervención directa (b)	Alt 1.2	Medidas dirigidas al abandono progresivo de las áreas urbanas y actividades en zonas de riesgo y realojamiento	ID GC 3
	Medidas de intervención directa (c)	Alt 2	Actuaciones para mantener la línea de costa con actuaciones duras	MG 3
	Medidas de intervención directa (c)	Alt 2	Actuaciones para mantener la línea de costa con actuaciones blandas	MG 4
	Medidas de intervención directa (d)	Alt 3	Redefinición gestionada de la línea de costa	MG 1
	Medidas de intervención directa (d)	Alt 3	Medidas de compensación de hábitats naturales	ID GC 3.1
	Medidas de intervención directa (d)	Alt 3	Medidas de lucha contra los efectos de la subida del nivel del mar mediante la formación de sistemas dunares	ID GC 1
	Medidas de intervención directa (d)	Alt 3	Medidas complementarias: construcción de motas de protección	ID GC 4
Bahías, Lagunas y zonas húmedas	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios		Control y monitorización de las lagunas, bahías y zonas húmedas	DE 8
	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios		Instalación de filtros verdes y regulación de los afluentes que se vierten en lagunas y bahías	IDE 6
	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios		Medidas de compensación de hábitats naturales	ID GC 2
general Delta del Ebro	Medidas de gestión, planificación y normativa		Creación de una figura de observación y de seguimiento de los efectos del cambio climático en el Delta del Ebro	GPN 1
			Elaboración de un Plan Director de las Medidas de Adaptación y Prevención al Cambio Climático en el Delta del Ebro	GPN 2
			Adecuación del Dominio Público Marítimo-Terrestre (DPMT) a las previsiones de riesgo de aumento del nivel del mar	GPN 3
			Adaptación de los planes territorial y sectorial a los potenciales efectos derivados del cambio climático en el Delta del Ebro	GPN 4
			Adaptación del planteamiento urbanístico a las zonas de riesgo por el cambio climático definidas en el Delta del Ebro	GPN 5
			Adaptar y redefinir los límites de las figuras protegidas en el Delta del Ebro	GPN 6
			Incorporación de criterios constructivos y de evaluación técnica que consideren los potenciales efectos derivados del cambio climático	GPN 7
			Control sanitario: establecimiento de sistemas de control y prevención sanitario frente a la posible aparición de cuadros clínicos y enfermedades vinculadas al Cambio Climático	GPN 8.1
			Control sanitario: establecimiento de sistemas de control y prevención para prever posibles plagas y enfermedades que afecten a la productividad agrícola, piscícola y marisquera	GPN 8.2
			Establecimiento de sistemas de control de la calidad ambiental	GPN 9

Prioridad		Valoración			
2050	2100	Eficiencia de la medida	Dificultad	Coste económico	Impactos ambient. adicionales
Alta	Alta	Alta	Alta	Alto	Indet.
Alta	Alta				
Alta	Alta	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Media	Medio-Indet. (2)	Indet.
Media		Alta	Alta	Alto	Altos
Alta		Alta	Alta	Alto	Medios-Altos
Alta	Alta	Alta	Media-Alta	Alto	Indet.
Alta	Alta	Alta	Alta	Alto	Indet.
Baja	Media	Alta	Media	Medio	Positivos
Alta (2)		Alta	Alta	Medio	Bajos-Medios
Media	Media	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Complementaria	Complementaria	Indet.	Baja-media	Medio	Positivos
Media	Media	Alta	Media	Medio	Positivos
Alta		Alta	Baja-Media	Bajo-Medio	Nulos
Alta		Alta	Baja	Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Baja	Bajo	Nulos-Positivos
Alta	Alta	Alta	Baja-Media	Bajo	Nulos-Positivos
Alta	Alta	Alta	Baja-Media	Bajo	Nulos-Positivos
Alta	Alta	Alta	Baja-Media	Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Media	Medio	Nulos
Alta	Alta	Alta	Media	Medio	Nulos
Complementaria	Complementaria	Media	Baja	Medio	Nulos

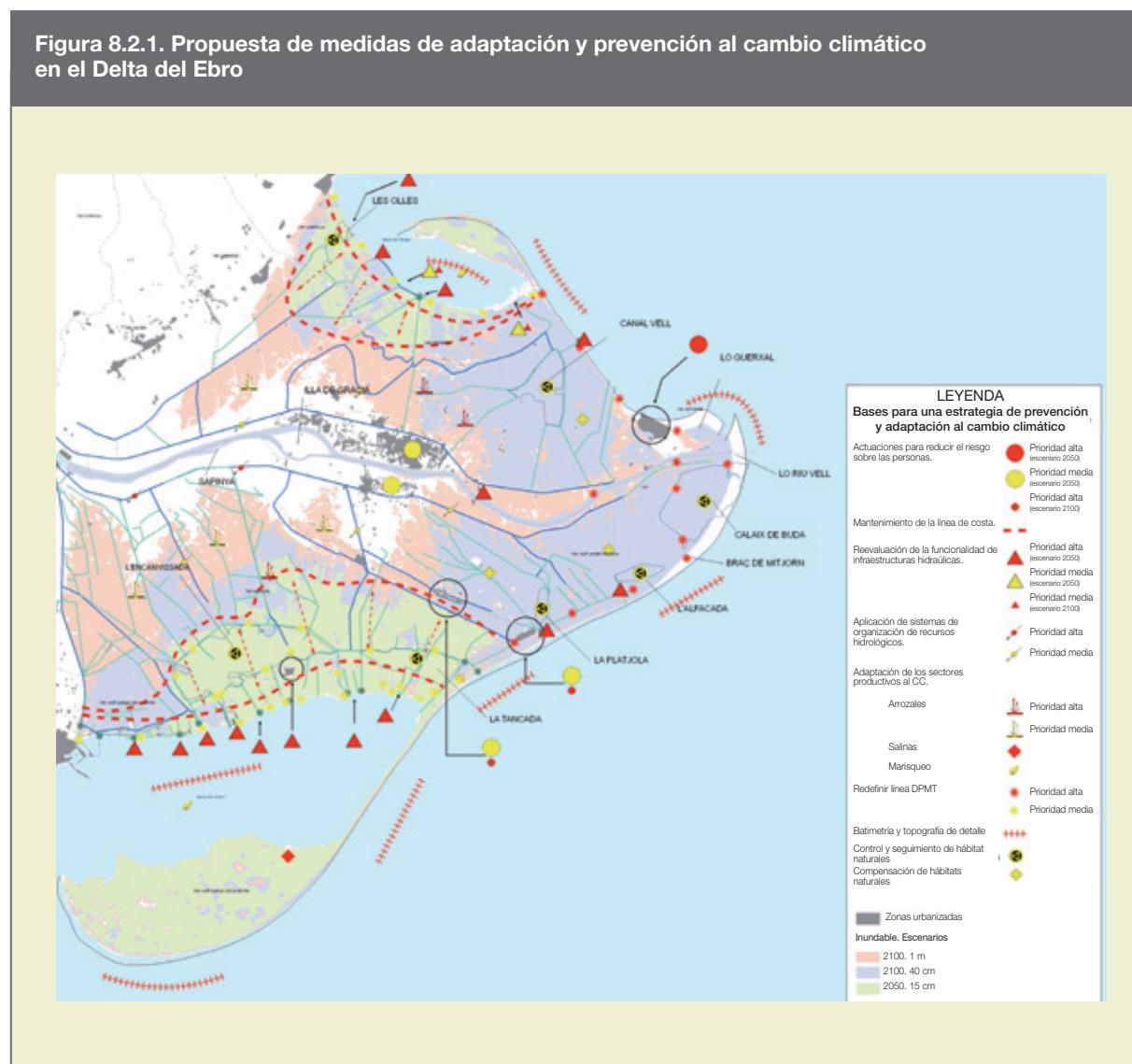
Zona	Líneas de actuación	Alternativas	Medidas	Código
	Medidas específicas			
General Delta del Ebro	Medidas para la obtención y gestión de datos, y elaboración de estudios		Creación y mantenimiento de una base de datos integrada y centralizada para la gestión de la costa del Delta del Ebro	DE 1
			Elaboración de una batimetría y cartografía detallada de la costa del Delta del Ebro	DE 2
			Seguimiento de detalle de la subsidencia de la plana deltaica	DE 3
			Seguimiento del estado y posición de la falca salina	DE 4
			Desarrollo de programas científico-técnicos aplicados a la prognosis	DE 5
			Seguimiento de las poblaciones de especies protegidas, endémicas, raras o vulnerables presentes en el Delta del Ebro	DE 6
			Conservación del patrimonio genético en el Delta del Ebro	DE 7
			Seguimiento del grado de incidencia del cambio climático sobre las expectativas de los diferentes sectores productivos	DE 9
			Estudios sobre la utilización de variedades de arroz con menores requerimientos hídricos	DE 10
			Aplicación de sistemas de optimización de recursos hidrológicos	DE 11
			Control de poblaciones de parásitos y otros vectores potenciales de enfermedades y plagas que puedan aparecer como consecuencia del cambio en las variables climáticas	DE 12
			Control y seguimiento de las prognosis realizadas	DE 13
			Reevaluación de la funcionalidad de las infraestructuras costeras	DE 14
			Valoración de los reservorios de arena	DE 15
	Medidas para la información y sensibilización ciudadana		Desarrollo de programas de información y sensibilización ciudadana	IS 1
			Desarrollo de sistemas de alerta centrados en la población	IS 2
Medidas de intervención directa: actuación sobre problemáticas ambientales e impactos actualmente existentes	Medidas para la información y sensibilización ciudadana		Líneas de medidas para solucionar la problemática de falta de acreción vertical de la plana deltaica: aprovechamiento de los sedimentos en los embalses	IDE 1
			Líneas de medidas para solucionar la problemática de falta de acreción vertical de la plana deltaica: aumentar la cantidad de zonas húmedas, porque generan sedimentos orgánicos y favorecen la producción de turba	IDE 2
			Líneas de medidas para solucionar la problemática de falta de acreción vertical de la plana deltaica: aprovechamiento de los limos presentes en el fondo de las bahías para llenar las zonas más bajas de la plana deltaica	IDE 3
			Líneas de medidas para solucionar la problemática de la falca salina	IDE 4
	Medidas de intervención directa: actuación sobre problemáticas ambientales e impactos actualmente existentes		Medidas para minimizar la rigidización en la costa	IDE 5
			Medidas dirigidas al mantenimiento de un caudal mínimo en el río Ebro	ID GC 6
			Garantizar el libre movimiento de la arena	

Prioridad		Valoración			
2050	2100	Eficiencia de la medida	Dificultad	Coste económico	Impactos ambient. adicionales
Alta	Alta	Alta	Baja-Media	Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Baja-Media	Bajo	Nulos
Media	Media	Alta	Media	Medio	Nulos
Media	Media	Alta	Media	Medio	Nulos
Alta	Alta	Alta	Media	Medio	Nulos
Media	Media	Alta	Media	Medio	Nulos
Complementaria	Complementaria	Media	Media	Medio	Positivos
Alta	Alta	Alta	Media	Medio	Nulos
Alta		Alta	Media	Medio	Nulos
Alta	Alta	Alta	Media	Medio	Nulos
Alta	Alta	Alta	Media	Medio	Nulos
Alta	Alta	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Alta	Alto	Indet.
Alta	Alta	Alta	Baja	Bajo	Nulos
Alta	Alta	Alta	Media	Medio	Nulos
Alta		Alta	Baja	Bajo	Nulos
Complementaria	Complementaria	Media	Alta	Alto	Medios-Altos
Complementaria	Complementaria	Media	Media	Medio-Alto	Positivos
Complementaria	Complementaria	Media	Alta	Alto	Medios-Altos
Complementaria	Complementaria	Media	Media	Medio	Indet.
Alta		Depende de la medida			
Media	Media	Media-Alta	Alta	Alto	Positivos
Alta	Alta	Alta	Baja	Bajo	Positivos

Notas:

- (1) Esta topología de actuación general hace referencia al mantenimiento físico de la línea de costa
- (2) En el coste económico, sería necesario contemplar también la posibilidad de adquisición de terrenos
- (3) Aunque se trata de una medida general, se considera relevante que se cite el seguimiento específico en este punto.
- (4) La eficacia de esta medida depende del lugar donde se puede ubicar el sistema dunar. Esto está relacionado con la reubicación del DPMT
- (5) Existen hábitats y sistemas potencialmente de interés que pueden desaparecer como consecuencia de los efectos del cambio climático. En cualquier caso, la medida de compensación no es prioritaria dado que se debe estudiar la evolución del Delta en su totalidad como sistema
- (6) En la zona de la Platjola y Eucaliptus el problema no les viene del frente litoral. Consecuentemente, estas zonas se pueden ver beneficiadas indirectamente por las medidas que se apliquen a las zonas de las bahías.

De entre el conjunto de medidas que se han presentado anteriormente, en la figura siguiente se muestran las más significativas:



***Framework studies for preventing and adapting
to climate change in Catalonia
Study N1: Ebro Delta***

*Summary document
December 2008*

Framework studies for preventing and adapting to climate change in Catalonia.

Study N1: Ebro Delta

Summary document

© Generalitat de Catalunya

Departament de Medi Ambient i Habitatge

<http://www.mediambient.gencat.cat>

Direction: Josep Garriga Sala, director of The Catalan Office for Climate Change, Department of the Environment and Housing

Coordination: Gisela Loran Benavent, Taller d'Enginyeria Ambiental, SL

Editing: Francisco Cabrera Tosas, Esther Ferrer Pont, Ramiro Aurín Lopera, MÀrcia Eugenio Gosalbo, Blanca Botey Sánchez de Rojas, Taller d'Enginyeria Ambiental SL

Collaboration: Raúl Medina Santamaría, Iñigo J. Losada Rodríguez, Fernando Méndez Incera, Environmental Hydraulic Institute, University of Cantabria

First edition: May 2010

Print run: 100 units

Desing by: Imatge i Color

Typeset and Printed by: Barcino Soluciones Gràfiques, SL

Legal Deposit: B-24424-2010

This book has been printed in 135 g matte coated 100% ecological paper
and covers in 300 g matte coated 100% ecological paper

Index

1. Presentation	107
1.1. Introduction	109
1.2. Objectives.....	109
1.3. Work methodology	109
2. Characterisation of the Ebro Delta	111
2.1. The Delta as a wetland of international importance	113
2.2. Socioeconomic environment in the Ebro Delta	117
3. Analysis of variables	121
3.1. Introduction	123
3.2. Analysis of climate variables.....	123
3.3. Flows of the Ebro River	125
3.4. Marine Variables	126
4. Catalogue of episodes	129
5. Study of the vulnerability of the Ebro Delta to the effects of Climate Change	133
5.1. Definition of vulnerability.....	135
5.2. Vulnerability of the physical system	136
5.3. Vulnerability of the natural system	142
5.4. Vulnerability of the human system	151
6. Prognosis	153
6.1. Prognosis for the exterior coastline of the Delta.....	155
6.2. Prognosis for the coastline of the bays.....	162
6.3. Prognosis for the presence and persistence of the salt wedge	165
7. Risk analysis for economic, natural and social assets	167
7.1. Risk to natural assets.....	172
7.2. Risk to economic assets	178
7.3. Risk to social assets	181
8. Design of adaptation and prevention measures	185
8.1. Presentation of the measures.....	187
8.2. Zoning actions	192

1. Presentation

1. Presentation

1.1. Introduction

This document is a summary of the work *A Series of Framework Studies for Later Use in Defining a Strategy for Preventing and Adapting to Climate Change in Catalonia. Framework Study N1: Ebro Delta* (December 2008), which presents its main conclusions. The study was prepared by Taller d'Enginyeria Ambiental, SL upon commission by the Catalan Office for Climate Change of the Department of the Environment and Housing.

The study summarised herein is thus the first of a series of framework studies for the subsequent definition of an action plan for climate change adaptation and prevention for Catalonia. The physical area covered by the study is the Ebro Delta, considered one of the most vulnerable parts of Catalonia in terms of the effects of global warming, given its coastal location, its geomorphological features and its environmental, social and economic value. It therefore constitutes a priority area in regard to the design and implementation of climate change adaptation and prevention policies.

1.2. Objectives

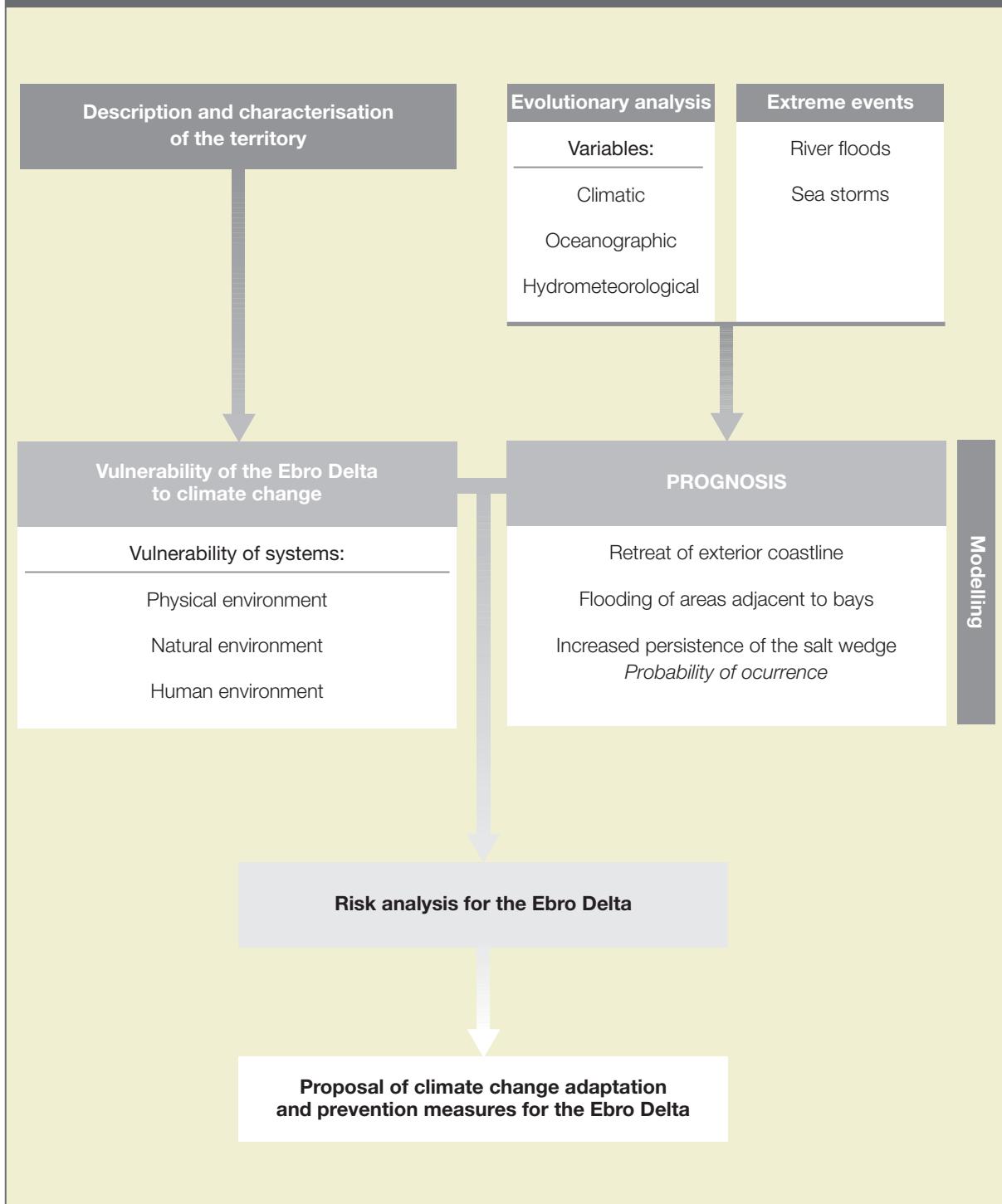
The general objectives of the work are, on the one hand, the establishment of the methodological and analytical bases that can be used subsequently in other vulnerable areas and, on the other, the proposal of possible climate change adaptation and prevention measures for the particular case of the Ebro Delta.

This summary of the results of the study should serve as a consultancy tool to enable the dissemination of the effects of climate change on the region and the participation of all the social actors in contributing information of interest that may help improve technical, scientific and social knowledge and the necessary debate to identify priority actions amongst the measures that will enable us to draw up the Ebro Delta Adaptation Plan.

1.3. Work methodology

The diagram below shows the work methodology proposed to meet the objectives described, which is developed in subsequent chapters.

Figure 1.1. General work methodology.



2. Characterisation of the Ebro Delta

2. Characterisation of the Ebro Delta

2.1. The Delta as a wetland of international importance

In its final stretch, the Ebro River constitutes one of the largest deltas in the Mediterranean, with an area of some 320 km². The Ebro Delta is triangular in shape with branching lobes, the result of interaction between the processes of sedimentation of the river, sea currents, the climate and human action. All this makes it a unique place, due both to its singular geomorphology and the diversity of dynamic processes and natural systems found there.

The Ebro Delta is on the List of Wetlands of International Importance, designated under the Ramsar Convention, an intergovernmental treaty for the conservation and wise use of wetlands in force since 1975. Spain is a contracting party to the Convention with a total of 63 wetland sites covering 281,768; of which Els Aiguamolls de l'Empordà (4,784 ha), the Ebro Delta (7,736 ha), Banyoles Lake (1,033 ha) and the Aigüestortes and Estany de Sant Maurici National Park (39,979 ha) are in Catalonia. If we consider only coastal wetlands, the Ebro Delta constitutes 62% of the Catalan area.

Other Ramsar sites are found along the Spanish Mediterranean coast (in the Community of Valencia, Murcia and Almeria): Albufera de València (a coastal lagoon in Valencia) (21,000 ha), Lagunas de la Mata y Torrevieja (La Mata-Torrevieja Lagoons) (3,693 ha), Marjal de Pego-Oliva (Pego-Oliva Marsh) (1,290 ha), Pantano de El Hondo (El Hondo Swamp) (2,387 ha), Paraje Natural Punta Entinas-Sabinar (Punta Entinas-Sabinar Natural Area) (1,948 ha), Prat de Cabanes-Torreblanca (Cabanes-Torreblanca Meadows) (812 ha), Salinas de Santa Pola (Santa Pola Salt Pan) (2,496 ha) and Salinas del Cabo de Gata (Cabo de Gata Salt Pan) (300 ha). The area mentioned for Albufera de València includes some 18,000 ha of rice fields, while those of the Ebro Delta were not included. If we take this into account, the Delta constitutes over a quarter of the wetland area of the Spanish Mediterranean coast. In fact, it is considered the most important wetland in the western Mediterranean, after the Camargue (French Regional Nature Park), and the second in Spain after Doñana.

Wetlands are the ecosystems with the greatest biodiversity, and are considered the most endangered on a global level. Throughout the twentieth century over half of the wetlands in Europe disappeared, and those that remain are subject to intensive pressure, mostly due to the overexploitation of water resources, pollution and the construction of large infrastructures, as well as from invasive species and the potential effects of global warming. In addition to natural values, wetlands offer considerable economic, cultural, scientific and recreational value, which more than justifies the efforts made for their conservation.

In the case of the Ebro Delta, the strip of coastal land on the delta plain has various designations of protection: it is a Natural Park (7,736 ha, all on land), a PEIN (Plan for Areas of Natural Interest) site (10,400 ha, of which 616 ha are marine), a Natura 2000 site (40,431 ha, of which 33,720 ha are marine), and it includes several nature reserves (covering a total area of 11,496 ha, all on land) and several wetlands included on the Wetland Inventory of Catalonia.

Figure 2.1.1. Protected areas. Source: Department of the Environment and Housing.



The Ebro Delta offers singular geomorphological elements of great value; these are included in the table below:

Table 2.1.1. Geomorphological elements present in the Ebro Delta.

Geomorphological element	Name	Length/ Length of coastline/ Perimeter (km)	Area (Ha)
Delta	Ebro Delta l'Ebre	58.42	29753.24
Spit bar	La Punta del Fangar	13.8	489.9
	La Punta de la Banya	41.74	2664.69
Bay	El Fangar	31.73	2430.31
	Els Alfacs	59.89	6994.93
Estuary	Estuary	16.27	400.67
Beach	L'Arenal	1.98	4.18
	El Fangar	7.39	480.06
	El Goleró	1.13	0.62
	La Marquesa	1.77	12.67
	La Bassa de l'Arena	3.1	14.5
	Riumar	3.45	59.75
	Sant Antoni	1.93	14.97
	Buda	4.66	107.16
	L'Alfacada	2.77	55.8
	El Serrallo	1.81	72.65
	La Platjola	1.31	56.65
	Els Eucaliptus	2.68	77.42
	L'Aluet	1.95	29.94
	El Trabucador	20.39	561.01
Dune system	El Fangar Beach		77.71
	La Marquesa Beach		8.34
	La Bassa de l'Arena Beach		7.82
	El Trabucador Beach		336
	Other		204.47
Lagoon	Les Olles	2.4	27.8
	El Canal Vell	8.68	245.46
	El Garxal	6.04	205.72
	Els Calaixos de Buda	12.13	507.09
	L'Alfacada	3.94	65.86
	La Platjola	5	50.14
	La Tancada	9.11	238.8
	L'Encanyissada	22.68	782.4

Figure 2.1.2. Aerial view of the delta lobe. Shows the current Ebro estuary, El Garxal (right side of the estuary) and the island of Sant Antoni, Buda and Buda Island lakes (left side of the estuary).



Figure 2.1.3. Punta del Fangar and El Fangar Bay (left); and La Punta de la Banya and Els Alfacs Bay.



Figure 2.1.4. El Fangar and La Marquesa beaches (La Punta del Fangar), left; and El Canal Vell Lagoon, right.



The Ebro Delta shows great heterogeneity in the physicochemical conditions of soil and water, in both space and time. The result is a great diversity of both natural systems and habitats, plant mass and animal communities.

Many of the Delta's most characteristic natural systems are closely linked to the availability of water and its quality, as well as to dynamic processes of erosion, transport and deposition of sediments.

A special case is the rice fields, which are classified within terrestrial natural systems. Land settlement in the Delta has been intensive since the nineteenth century, and only the peripheral areas have been left untouched, where it is difficult to control salinity, or there are substrates that are not conducive to crop growing.

2.2. Socioeconomic environment in the Ebro Delta

Population

In 2007 the municipalities that make up the delta had a population of 59,172 inhabitants (Idescat). Table 2.2.1 shows data on the resident population (according to the census) and the seasonal population, and data on the total number of dwellings and type, in the main population nuclei in the Ebro Delta.

Table 2.2.1. Ebro Delta population data. Source: Statistical Institute of Catalonia (IDESCAT).

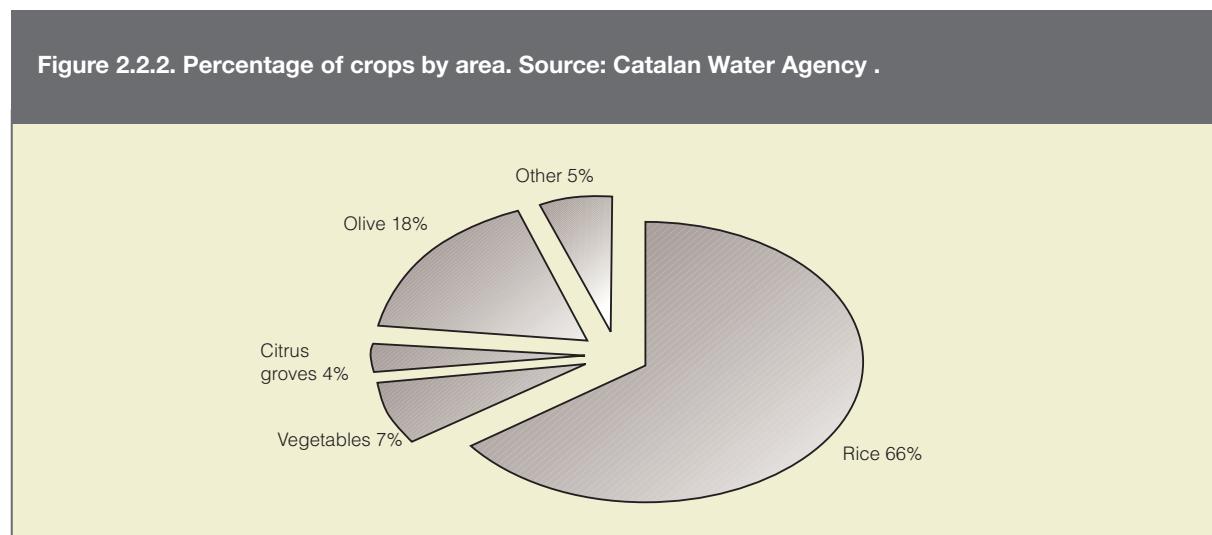
M.A.	Resident population (2007)	Seasonal population AFTE ¹ (2003)	Total population ² AFTE (2003)	No. of dwellings ³ (2001)	Primary residence (2001)	Second home (2001) ⁴	Popul. density 2007
L'Ampolla	2,662	N/D	N/D	2,863	807	2,056	74.7
L'Aldea	3,927	–	–	1,581	1,251	324	111.5
Camarles	3,479	–	–	1,200	997	203	1,328.3
Deltebre	11,603	-232	10,465	4,428	3,314	1,114	103
Amposta	19,805	-220	17,539	8,234	5,911	2,323	143.2
St. Jaume d'Enveja	3,434	–	–	1,460	1,091	369	56.5
St. Carles de la Ràpita	14,262	993	13,088	7,505	4,184	3,321	53.7

1. AFTE: annual full-time equivalent.
 2. Residents plus seasonal population.
 3. Includes unoccupied second homes.
 4. Includes hotel beds, campsites and rural tourism 2006.

Economic activities

Agriculture

Agriculture is a pillar of the economy of the Delta, based mostly on rice fields. The percentage of crops by area is shown in the figure below, taken from *L'estudi agronòmic de la zona del Delta de l'Ebre [Agronomic Study of the Ebro Delta]* (Catalan Water Agency):



Rice fields occupied a total area of 21,554 ha in 2000, that is, 66.5% of the total area of the delta plain. Rice production in the Delta accounts for 98% of total production in Catalonia.

Fish and seafood

Also of economic importance are:

- Sea fishing, centred around the ports of L'Ampolla, Deltebre and Sant Carles de la Ràpita; around 10% of the total catch for Catalonia is caught in the Ebro Delta—this is 13% of the market value.
- Inland fishing, this is carried out in the lagoons of L'Encanyissada, La Tancada, El Canal Vell and Les Olles, still following the traditional draw system.
- Aquaculture: marine aquaculture is carried out on the coast, in the bays and in the open sea, and also inland aquaculture on land, in the lagoons and other places.
- Shellfish harvesting.

Industrial activity

There is little industry in the area, and what is there is largely agriculture-based; most industrial activities are concentrated along the N-340 road, off the delta plain. At La Punta de la Banya is a salt works, Les Salines de la Trinitat, which is currently in operation.

Tourism

In regard to tourism, we should highlight summer tourism (second homes are an important element, also in regard to the construction model), and green tourism or agritourism, which it is anticipated will become one of the main drivers of socioeconomic promotion in the delta area.

Infrastructures

In regard to infrastructures, a characteristic feature of the Ebro Delta is the system of canals for irrigation and drainage of the rice fields. It uses capillary systems: the irrigation system starts at the Xerta weir, about 50 km upstream of the river mouth, from where the two main canals begin: the Canal de la Dreta de l'Ebre and the Canal de l'Esquerra de l'Ebre. From here, the water flows through a series of other channels, and then to the irrigation canals to the secondary channels, which bring the water to the rice fields, generally by gravity. The return flows run into increasingly larger drainage canals, that eventually converge in two large canals: on the right bank of the river, the Canal de Circumval·lació, and on the left bank, the Canal Sanitari. These canals supply freshwater to the lagoons and bays of the Delta.

3. Analysis of variables

3. Analysis of variables

3.1. Introduction

In this section, an analysis has been made of the following variables:

- Climate variables.
- River flows.
- Marine variables.

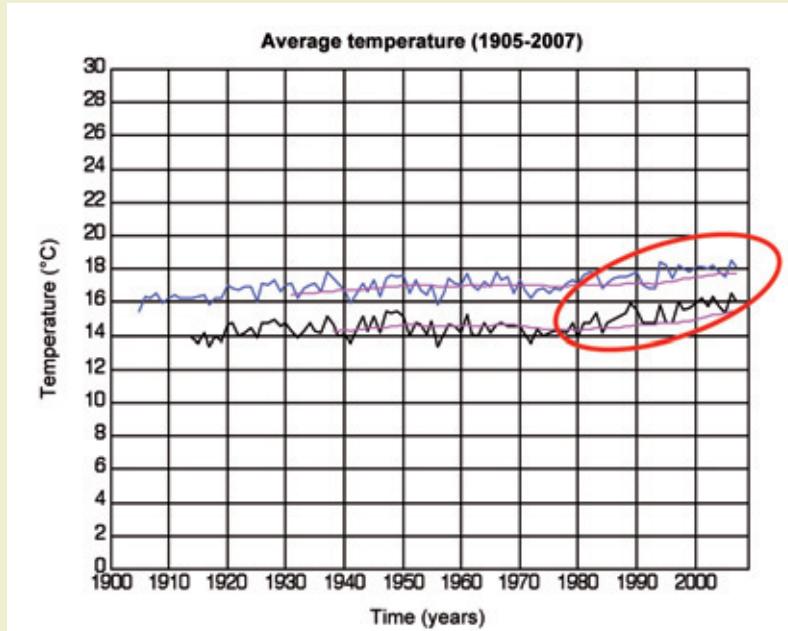
3.2. Analysis of climate variables

The evolutionary analyses and the future projections issued by official bodies of recognised authority on the subject in regard to these same variables have been collated and these have been contrasted with the results obtained in this study. A summary of the results is provided below.

In regard to the analysis of air temperature:

- Evolution of the average temperature (1905-2007).

Evolutionary graph of the average air temperature at the Ebro Observatory (blue) and the Fabra Observatory (black) throughout the last century. The pink lines correspond to the moving averages for the last 25 years. The visible trend is for averages to increase.



- The results are in line with those obtained by the Meteorological Service of Catalonia (SMC) for the same series of dates, specifically: (1) the annual average has increased at a rate of 0.15°C per decade, (2) the average maximum temperature has increased at a faster rate than the average minimum temperature.

- In line with the climate change predictions made by the IPCC in 2007 for Mediterranean Europe:
 - (1) warming is taking place in all seasons, (2) this warming is greater in summer than in winter,
 - (3) in summer, warming will be more associated with higher temperatures on hot days, (4) in winter, warming will be associated with higher temperatures on cold days.

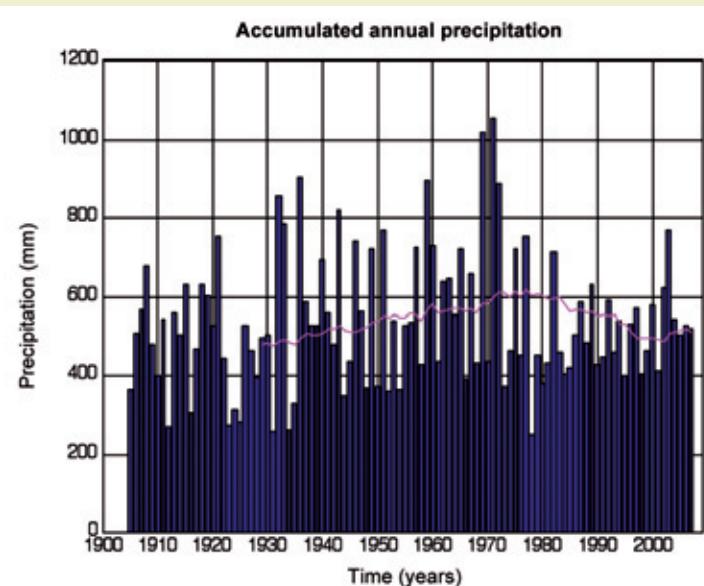
In regard to the analysis of seawater temperatures:

- The series of water temperatures at L'Estartit that was used in this study has also been used in other studies, such as *Climate Change in the Spanish Mediterranean* (Spanish Institute of Oceanography, 2008), *Reflexions sobre el canvi climàtic [Reflections on Climate Change]* (Josep Pascual, 2006) and the *Annual Bulletin of Climate Indicators. 2007* (Meteorological Service of Catalonia, 2008), as this is one of the longest series available.
- There are no contradictions between the results obtained by the different studies. Each study shows significant increases in the seawater temperature up to a depth of 80 m. These increases vary throughout the year and are particularly pronounced in summer.
- The SMC quantifies the increase in temperature for the period 1974-2007 as 0.34°C, 0.37°C, 0.35°C and 0.22°C per decade at different depths: surface level, 20 m, 50 m and 80 m, respectively.

In regard to the analysis of precipitation:

- Evolutionary analysis of precipitation.

Accumulated annual precipitation at the Ebro Observatory throughout the last century. An increase in the moving average (pink) can be observed between 1929 and 1972 (corresponding to the period 1904 and 1947) and following this, a relatively stable period can be observed. Following this, from 1983 to 2002, the trend is of a decrease in precipitation (corresponding to the period 1958-1977). In recent years (2002-2007) the trend has been of increased precipitation.



- The data for the Ebro Observatory, which is the longest series available, have been analysed, and a pattern has been observed for 8 of the 12 months of the year. This consists of a period in which the trend is of decreased precipitation affecting the second half of the 20th century.

- By season, precipitation has increased in autumn and winter, and has decreased in spring and summer. In regard to accumulated precipitation, the trend (which is not significant) would be of an increase.
- These results coincide with those obtained by the Meteorological Service of Catalonia based on the time series of the Ebro Observatory and with the projection made by the Ebro Observatory (Ramon Llull University-CSIC, 2009) in the *Estudi del balanç hídric de la conca de l'Ebre i de les conques internes de Catalunya durant la segona meitat del sXX i la primera del sXXI mitjançant models de clima regionals* [Study of the Water Balance of the Ebro River Basin and the Inland Basins of Catalonia in the Second Half of the 20th Century and the First Half of the 21st Century Using Regional Climate Models].
- The IPCC (2007) also indicates an increase in the intensity of rainfall, which has been contrasted in the *Annual Bulletin of Climate Indicators. 2007* (Meteorological Service of Catalonia, 2008) and the data from L'Estartit (data by Josep Pascual).

In regard to the analysis of relative humidity:

- It is difficult to obtain clear trends or patterns, as the longest data series available covers only 16 years.
- It can be observed that this variable: (1) decreases in winter between 2002 and 2007 at El Fangar, (2) increases in spring between 1992 and 2003 and decreases from then on, (3) exhibits a growth pattern in summer until 2003 and decreases from then on, and (4) decreases in autumn between 2005 and 2007.

In regard to the analysis of evapotranspiration:

- It is difficult to obtain clear trends or patterns, as the longest data series available covers only 16 years.
- It can be observed that this variable shows a trend towards growth: (1) by month, in March from 2004 and in August from 1998, (2) from the year 2000 based on the series of average annual values, and (3) from 1998 for the data for maximum values obtained for each year in the series (based on the monthly averages).

In regard to the analysis of terrestrial wind:

- The average monthly wind speed measured at a height of 2 m in three stations located in the Ebro Delta zone (El Fangar, Amposta and Els Alfacs) has decreased in the last 13 years. The annual rate of decrease has been 0.102 (m/s)/year at Els Alfacs; 0.093 (m/s)/year at El Fangar; and 0.0485 (m/s)/year at Amposta (in decreasing order).
- The maximum speed recorded each month at the Amposta station has increased over the last 13 years, with an annual rate of 0.098 (m/s)/year.
- The results obtained for this analysis are clear and do not contradict the predictions of other studies.

3.3. Flows of the Ebro River

In regard to the flows of the Ebro River, a reduction in the average annual flow is observed of 11% from 1913-1935 and 1951-1979, of 23% from 1951-1970 and of 19% from 1971-1990 and 1991-2004. This reduction is essentially attributed to causes linked to the construction of dams (Mequinença, Flix and Ribarroja from the 1960s onwards).

There is significant movement in the reduction in flow around the year 1980.

3.4. Marine variables

In the same way as has been carried out for the flows of the Ebro River, the changes that have taken place in the last 50 years to oceanographic environmental variables have also been analysed and the long-term trends affecting these have been studied. For the majority of cases, data has been analysed on a monthly, seasonal and annual scale. The variables are:

- Swell.
- Sea wind.
- Meteorological tides.
- Sea level.

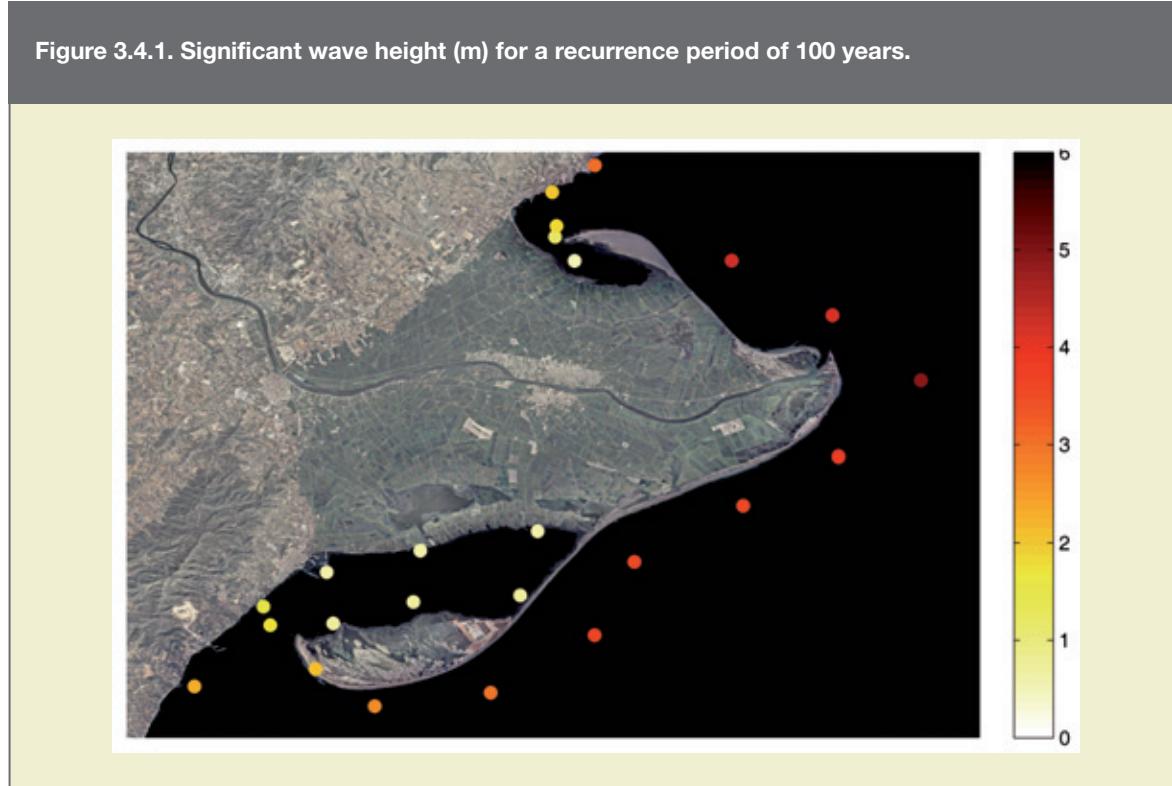
In the cases of the swell, the wind and the meteorological tides, both the average system and the extremes have been taken into account.

1. Swell. The study of the influence of climate patterns makes clear that the NAO (North Atlantic Oscillation) and the EA (Eastern Atlantic) are the factors with the greatest general influence, as they play an important role in the generation of swell in the Delta. The NAO index has a general influence throughout the area, while the EA dominates the northern area and explains part of the swells in the northeast. The EA/WR (Eastern Atlantic-Western Russia) index affects the extreme swells of the southeast, while the SCA (Scandinavian) explains the medium-sized swells of the southern zone.

The analysis of long-term trends affecting the size of wave height indicates very small changes. A slight positive trend has been detected to the south of the river mouth together with a slight decrease to the north which is only visible during the winter season and only affects the average regime.

The study of persistency for wave heights of 1 m shows a long-term positive trend in swells in the northeast and a negative trend in swells in the southeast.

Figure 3.4.1. Significant wave height (m) for a recurrence period of 100 years.

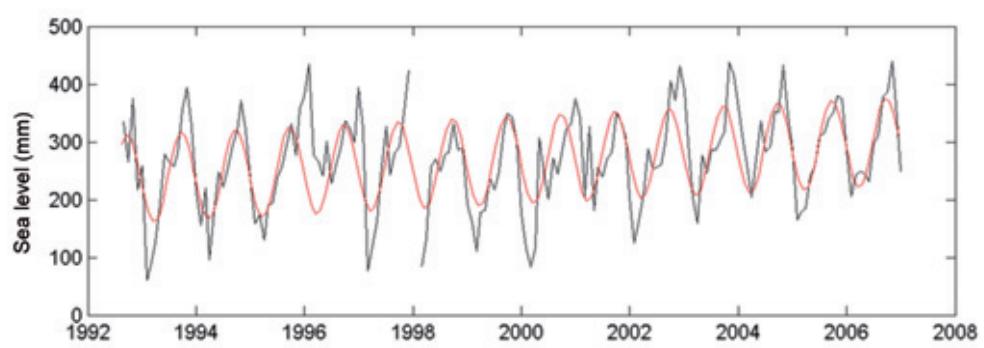


The study of extreme swell values (storm values) indicates significant wave height values for a recurrence period of 100 years of up to 5.5 m at the delta lobe (the most exposed part) and of 0.5 m in the bays (the most sheltered part).

2 and 3. Sea wind and meteorological tides. The study of the meteorological tides and the wind at a point of deep water has shown the relationship between the climate patterns studied and these variables. The EA/WR and NAO indices have a particularly significant effect on both variables, although the question of winds is mainly dominated by fluctuations in the NAO index. The SCA index explains part of the variability in the average values of these variables, although it does not particularly affect the extreme values.

4. Sea level. The analyses made of the sea level variable indicate an increase of 4.5 mm/year for the period 1992-2007 and a significant correlation with the Scandinavian pattern (SCA index).

Figure 3.4.2. Sea level series for the Barcelona tide gauge.



4. Catalogue of episodes

4. Catalogue of episodes

The extreme episodes that have historically occurred in the Ebro Delta have been collated, particularly river flooding and sea storms. For the first half of the 20th century, episodes have been identified based on bibliographical research, while for the second half of the 20th century they have been identified using modelling and checked with documentary sources, such as newspaper reports. In order to identify episodes of river flooding, the criterion used was that flow must be greater than 2000 m³/s.

The chronology of floods and sea storms identified is given in the following tables:

Table 4.1. Historical episodes of floods (left) and storms (right) in the Ebro Delta

Floods	Comments	Floods	Comments	Storms	Comments
14th century		20th century		18th century	
1380		1907	The second largest in history	1779	Breach, El Trabucador
15th century		1914		20th century	
1488		1937		1920's	Breach, El Trabucador
16th century		1959		1940's	Breach, El Trabucador
1532		1960	Three in total	1948	
1582		1961	Two in total	1958	Two in total
17th century		1962		1960	Two in total
1605		1967		1962	
1617		1969	Two in total	1963	
1625		1970		1965	
1700		1971		1967	Two in total
18th century		1972		1971	
1717		1974		1972	
1743		1977		1973	
1772		1978		1975	
1773		1979	Two in total	1978	
1783		1982		1980	
1787	The largest in history	1997	Two in total	1982	
19th century		2001		1985	
1826				1990	
1845				1992	
1853				1995	
1865				1997	Three in total
1866				2000	
1871				2001	Two in total
1884					

5. Study of the vulnerability of the Ebro Delta to the effects of Climate Change

5. Study of the vulnerability of the Ebro Delta to the effects of Climate Change

5.1. Definition of vulnerability

The previous sections are taken into account for the development of this section. It is based on an analysis of the intrinsic capacity of a system to fight a phenomenon of specific severity (intensity or magnitude).

In this study, in order to evaluate the vulnerability of a system, both the intrinsic value and the capacity to fight potential environmental changes that are anticipated as a result of global warming will be considered for the area.

In regard to the intrinsic value, the different components of a specific system in the territory studied will be evaluated. This evaluation is based on the characteristics outlined in the point describing and characterising the environment.

The capacity to fight is understood in its broad sense, and encompasses:

- The absence of effects on the component caused by the factor or event considered.
- The capacity of the component/system to block the effects of the change.
- The capacity of the component/system to recover previous conditions following the occurrence of certain environmental changes, particularly sudden and intense events of short duration that change these conditions significantly (resilience in the ecological sense of the term).
- The capacity of the component/system to modify its current conditions depending on certain environmental changes, particularly those that occur progressively over time, without disappearing or converting into other components/systems.

Environmental changes have variable characteristics:

In terms of time scales, either of the following is possible:

- Extreme events that are short in duration and that cause obvious changes to the characteristics of physical and natural systems, such as storms.
- Prolonged processes that take place over time and that can occur at an approximately constant rhythm or at variable rhythms, e.g. the rise in sea level, which is anticipated to occur at an increasing rate over time (IPCC, 2007).

In terms of spatial scales, either of the following is possible:

- Changes that affect wide areas, such as the rise in sea level.
- Local changes, such as changes in the orientation of certain beaches due to the variation in the average energy flow of the swell.

There are other characteristics of these environmental changes that are also very important: their magnitude or intensity, their frequency in a specific area, their recurrence in the same location, etc. In addition, it should be taken into account that many of the potential environmental changes do not exhibit linear behaviour, e.g. the changes in the relative temperatures of the sea and the air generate other atmospheric changes that interact among themselves, due to which the patterns observed for these variables may change over time.

Vulnerability will be studied for the following systems:

- Vulnerability of the physical system.
- Vulnerability of the natural system.
- Vulnerability of the human environment.

5.2. Vulnerability of the physical system

5.2.1. Intrinsic value

All of the components of the physical system of the Ebro Delta (see *Chapter 2*) are extremely valuable as unique geological and geomorphological elements. It should be remembered that they form the basis for the development of the different biotopes and ecosystems that make up the Ebro Delta.

5.2.2. Potential environmental changes and effects on the components of the physical system

A lack of transportation of sediments by the Ebro River

The construction of reservoirs in the river basin in the mid-20th century led both to the regulation of the liquid flow and the practical interruption of the transportation of the solid flow by the Ebro River. It is estimated that reservoirs lead to the retention of 93.7% of the sediment that the river would otherwise transport to the delta (Varela et al. 1986). The coarse sediment, of an average diameter of greater than 125 µm, is the sediment considered relevant from the point of view of coastal stability and of which 100% is retained, which means that the only sediment of this type that reaches the coast comes from downstream of the Flix Reservoir. Fine sediment, of a diameter of less than 125 µm, is transported in suspension and a high percentage of this sediment (more than 90%) is retained (Catalán 1969; Palenques 1987; Palenques et al. 1990; Guillem and Palenques 1992; Ibáñez et al. 1996).

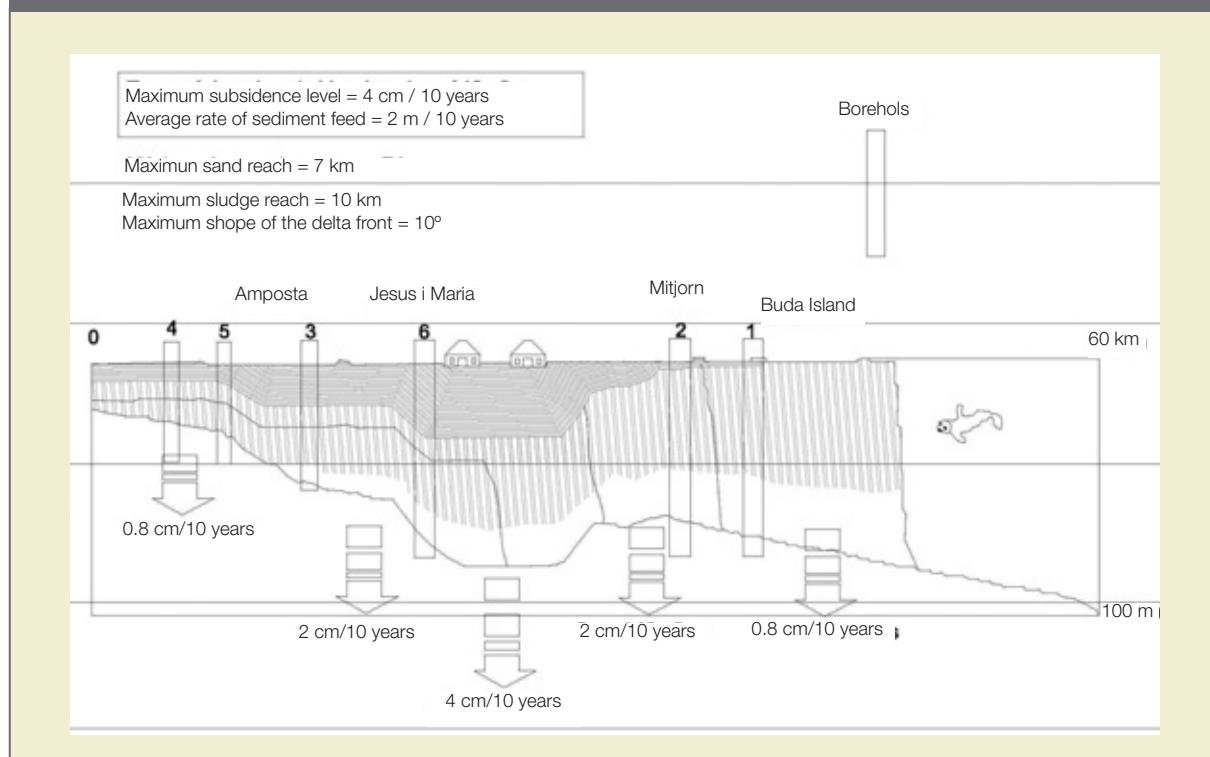
For these reasons, the Ebro Delta is no longer considered to be modelled by the combination of dynamic factors of the river and swell, and is now seen to be modelled exclusively by swell, which transports existing sediment along the coastline, thus determining the existence of zones of erosion and accumulation.

This process is not in fact directly linked to climate change, but it can add its effects to the problem.

Subsidence of the delta plain

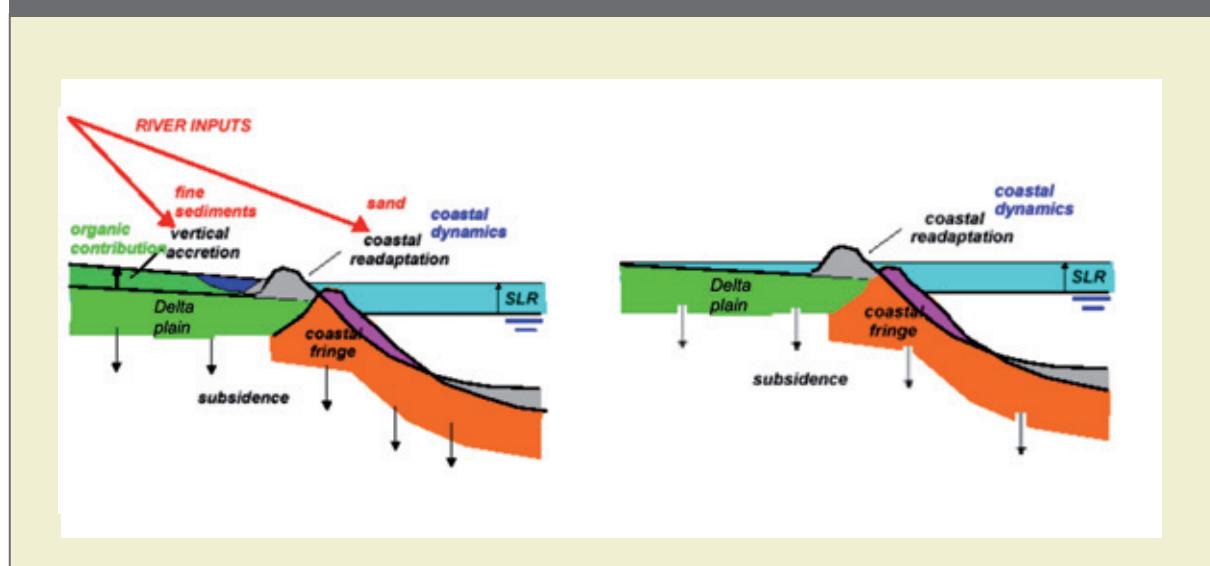
The lack of vertical accretion of the delta plain helps intensify the effects of the subsidence processes that take place due to the compacting of the sediments that make up the Delta (the average rate of subsidence is estimated at 2 mm/year) and that lead to a relative increase in the sea level in the delta plain. This is one of the environmental problems that have a global effect on the physical environment of the Delta.

Figure 5.2.1. Subsidence rates for the delta plain of the Ebro. Source: ITGE, 1996.



A coast where the vertical accretion of sediments does take place has the capacity to react to an increase in the sea level that a coast where this accretion does not take place does not have, as is the case of the Ebro Delta (see lower figure below).

Figure 5.2.2. Diagram of the effect of the increase in sea level on a delta coast. On the left: with the capacity to respond; on the right: with no response. Source: Sánchez-Arcilla et al. (1998).



Subsidence processes are not directly linked to climate change, but they can aggravate its effects.

Evolution of the coastline

The increase in the sea level will affect the evolution of the exterior coastline of the delta plain of the Ebro, a system modelled solely by swell, which transports existing sediment along the coastline, thus determining the existence of zones of erosion and accumulation.

On the coastline corresponding to the bays of El Fangar and Els Alfacs, there is practically no longitudinal transportation of sediments, since this coastline is sheltered due to the presence of the El Fangar spit and the La Banya spit. In this case, the increase in the sea level will be the main factor determining the evolution of the coastline.

As its geomorphological origins mean that the relief of the Ebro Delta is almost flat with certain points that are below sea level, the loss of land due to the rise in the sea level is one of the most significant consequences of the effects of global warming in the Ebro Delta. A future prognosis has therefore been made and is summarised in the next section of this document (*see point 6 of the prognosis*).

Occurrence of storms

The following conclusions have been drawn from the analysis of the extreme values of the variables swell, meteorological tides and wind carried out specifically for the case of the Ebro Delta (see the corresponding section, ‘Analysis of Variables’):

- The zones that up to now have been most affected by the effects of storms are the same zones that will continue to be most affected in the future: the delta lobe, the zone between La Marquesa and Riumar and the zone between L’Alfacada and El Trabucador.
- The swell height is tending towards a slight increase off La Punta de la Banya, specifically in the lighthouse zone.
- The length of storms may decrease in the northern hemi-delta and increase in the south, particularly off L’Aluet and also along the El Trabucador bar and off the La Trinitat salt works.

Presence and persistence of the salt wedge

In its final stretch, the Ebro River behaves like a highly stratified or salt-wedge estuary. This is because the height is the same as or less than that of the sea, which means that when the river flow rate falls below certain levels, it does not have the force to push back the seawater, which penetrates the river and forms a plume of salt water that circulates below the layer of freshwater and is known as the salt wedge. The length and thickness of the wedge depends on the flow of the river, the sea level and the relief of the riverbed.

Both an increase in the sea level and a decrease in the flows of the Ebro River are expected as a consequence of climate change (*see detailed explanation in point 6*). These two effects will work in synergy in regard to the salt wedge, in that they will both foster an increase in the presence and persistence of the wedge. A future prognosis has therefore been made and is summarised in the next section of this document.

Variation in the climate variables

Some components of the physical environment, particularly bodies of water, can be subject to changes in their physicochemical characteristics as a result of changes in the climate variables, such as an increase in the temperature or variations in precipitation.

Reduction in the flow rates of the Ebro River

As a consequence of climate change and based on the expected reduction in annual accumulated precipitation and the modification of seasonal precipitation patterns, as well as the increase in temperatures and therefore in evaporation, a general reduction is expected in river flows, which will lead to an increase in the number of temporary water courses and stretches of river with seasonal flows (*Impactos del Cambio Climático en España, 2007 [The Impacts of Climate Change in Spain 2007]*). In the case of the Ebro River

and according to the results of a variety of European projects, reductions in the flow regime at Tortosa of between 10% and 20% over the course of the 21st century are expected.

River flooding

Temporary floods may occur in the territory adjacent to the Ebro River due to the flooding of the river itself linked to an increase in the torrential nature of rainfall.

The European Commission 2007 Green Paper *Adapting to Climate Change in Europe - Options for EU Action* includes the results of a model of the change in levels of river flooding for a recurrence period of 100 years by 2080 on a European scale. According to these results, there would be an increase of between 20% and 40% in the lower stretch of the Ebro River. In addition, it should be remembered that the flow of water in the Ebro River Basin is highly regulated; this fact, which is fundamental on the spatial scale considered in this study, was not taken into account in making the forecast.

The table below shows an assessment of the different components of the physical system and the extent to which they will be affected by the environmental changes identified above.

Figure 5.2.3. Extent to which the components of the physical system are affected by the environmental changes identified.

	Components of the physical system						
	Delta	Spit bars	Bays	Lagoons	River and estuary	Beaches and dunes	Coastal waters
Subsidence	**	*				*	
Evolution of the coastline	**	**	**	**		**	
Occurrence of sea storms		*	*	*		*	
Presence and persistence of the salt wedge					**		
Variation of climate variables			*	*	*		*
Variation of flows in the Ebro River	*		*	*	**		
Occurrence of river flooding					*		

* / ** Affected by the effects resulting from climate change.
* / *** Potentially affected by the effects resulting from climate change, or with effects that could be aggravated.

5.2.3. Capacity of the components of the physical system to fight the changes

Lastly, the characteristics of the physical system of the Ebro Delta or the components of the delta that provide it with a certain capacity to overcome, to recover from or to adapt to the potential changes identified above are outlined.

Size of the delta plain

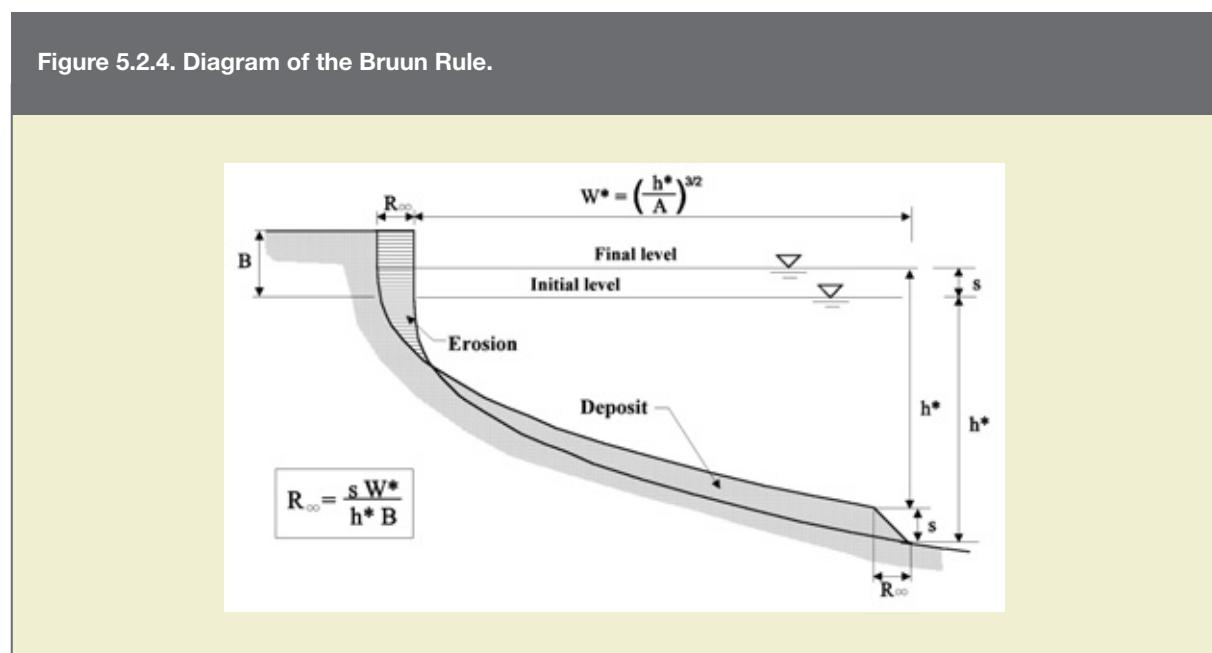
The availability of surface land in the Ebro Delta (which is used mainly for agricultural or natural purposes) enables the reproduction of or the compensation for the loss of certain components of the physical system either naturally or through direct intervention measures.

Low level of hardening of the coast and the delta plain

- On the exterior coast of the Ebro Delta there is only one breakwater, at La Marquesa Beach. On the coast with bays, there are rigid structures in Els Alfacs Bay.
- Only 2.75% of the delta plain is urbanised, in addition to which the density of occupation by infrastructure is low, which constitutes an advantage in terms of adapting to the rise in sea level.
- Almost ? of the total surface of the Delta is occupied by rice fields, which is compatible with the environmental values of the Delta and which also offers a high potential for renaturing.

Maintenance of the active profile of the beaches

If the sea level rises as a result of climate change, the beach profile will be displaced in response to this variation. In order to quantify the response of the beaches, the Bruun Rule is used, according to which in the case of the new sea level, an equilibrium profile will be established with an identical shape to the profile that existed before the increase in sea level, assuming that the volume of sand on the beach remains the same.



This means that the retreat of the exterior coastline of the Ebro Delta as a result of the rise in sea level will not lead to the disappearance of beaches and dune systems due to flooding, but instead to their retreat inland, provided that there is space available and there are no anthropic structures in the way that would interrupt this process of retreat.

Accumulation of organic sediments in wetland areas

Organic sediments are generated in wetland areas that undergo processes of rotting and partial carbonisation during a slow process that leads to the formation of peat. As the years go by there is an accumulation of peat that can reach metres thick—the growth rate has been estimated at between 0.5 and 10 cm/

100 years. The accumulation of organic material and the subsequent accumulation of peat mean that extra height is gained. There are numerous wetland areas in the Delta that fulfil these functions and there is also the option of renaturing land in order to foster the process.

Evolution of littoral bars and bays

The presence and the processes of accretion of the top of the El Fangar and La Banya spits provide a certain capacity for protection of the strips of coastal land situated around the bays from the dynamic coastal processes of erosion, transportation and sedimentation, as well as from the impact of storms.

Relief of the delta plain

Lastly, a characteristic of the Ebro Delta should be mentioned that makes it particularly vulnerable to some of the potential environmental changes resulting from global warming, particularly the rise in sea level: the relief of the area. Due to its geomorphological origins, the relief of the Ebro Delta is practically flat, with certain points that are below sea level.

5.3. Vulnerability of the natural systems

5.3.1. Intrinsic value

The environmental value of the natural systems of the Ebro Delta is qualified according to the presence of habitats of community interest, species of special interest¹, and instruments of legal protection. The results are provided in the following tables:

Table 5.3.1. Instruments of legal protection, species of special interest and habitats of community interest in the marine systems of the Ebro Delta.

Natural systems	Protection of the area	Habitats and species of particular interest	Intrinsic value
Marine			
Coastal fringe	N2000N: Ebro Delta	Presence of prairies of phanerogams <i>Posidonia oceanica</i> , <i>Cymodocea nodosa</i> , <i>Zostera noltii</i> (species that are automatically protected by the Order of 31 July 1991. Source: Biocat, Biodiversity Data Bank of Catalonia)	Very high
		Presence of <i>Caretta caretta</i> (automatically protected by Law 12/2006; at State level by RD 439/1990; included in the Spanish National Catalogue of Endangered Species; included in Annexes II and IV of the Habitats Directive. Source: Biocat, Biodiversity Data Bank of Catalonia)	
		Presence of priority HCl <i>Posidonia oceanica</i> (1120*), (relevant cartography not yet drawn up)	
Estuary	PEIN and N2000N	Native and protected species of ichthyofauna such as <i>Acipenser sturio</i> , <i>Alosa alosa</i> , <i>Alosa fallax</i> , <i>Barbus graellsii</i> , <i>Gasterosteus aculeatus</i> , <i>Petromyzon marinus</i> , <i>Salaria fluviatilis</i> (endemic), and <i>Syngnathus abaster</i>	Very high
Bays	El Fangar Bay: N2000N, PEIN (partial), ENPE (partial). Els Alfacs Bay: N2000N (partial)	Presence of prairies of phanerogams <i>Cymodocea nodosa</i> , <i>Zostera noltii</i> (species that are automatically protected by the Order of 31 July 1991. Source: Biocat, Biodiversity Data Bank and <i>Mapa de la vegetació submergida de la badia dels Alfacs</i> . Pérez et al., 2006)	El Fangar: Very high
		Presence of <i>Caretta caretta</i> (automatically protected by Law 12/2006; at State level by RD 439/1990; included in the National Catalogue of Endangered Species; included in annexes II and IV of the Habitats Directive. Source: Biocat, Biodiversity Data Bank)	Els Alfacs: Very high and High (outside of protective measures)
		Presence of the common tern (<i>Sterna hirundo</i>) and gull-billed tern (<i>Sterna nilotica</i>) (species that is automatically protected by Law 22/2003)	

¹ Identified by consulting: (1) The website of the El Delta de l'Ebre Natural Park, (2) Spanish National Catalogue of Endangered Species, (3) *Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España [Atlas and Red Data Book of the Inland Fish of Spain]* (2001), (4) *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de Espanya [Atlas and Red Data Book of the Amphibians and Reptiles of Spain]* (2002), (5) *Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España [Atlas and Red Data Book of the Land Mammals of Spain]* (2002), (6) Biodiversity Data Bank of Catalonia (Biocat), (7) *Catalan Breeding Bird Atlas 1999-2002* (Estrada et al. 2004), (8) *Atlas dels amfibis i rèptils de Catalunya i Andorra [Atlas of the Amphibians and Reptiles of Catalonia and Andorra]* (Llorente et al. 1995) and (9) *Els grans mamífers de Catalunya i Andorra [The Large Mammals of Catalonia and Andorra]* (Ruiz-Olmo et al. 1995).

Note: The intrinsic value with which the majority of rice fields in the Ebro Delta have been classified is medium. However, the rice fields located around natural systems of high or very high intrinsic value and that are located on land protected by a legal instrument are classified as being of high intrinsic value.

Table 5.3.2. Instruments of legal protection, species of special interest and habitats of community interest in the terrestrial systems of the Ebro Delta.

Natural systems	Protection of the area	Habitats and species of particular interest	Intrinsic value
Terrestrial			
Dunes	N2000N, PEIN, ENPE	Embryonic shifting dunes (HCl non-priority 2110) Shifting dunes along the shoreline with <i>Ammophila arenaria</i> (HCl non-priority 2120) <i>Crucianellion maritimae</i> fixed beach dunes (HCl non-priority 2210) <i>Malcomietalia</i> dune grasslands (HCl non-priority 2230) Psammophyte vegetation particular to this type of habitat. Species such as <i>Limoniastrum monopetalum</i> stand out (classed as vulnerable in Catalonia; protected by Decree 328/1992) Nesting bird fauna: <i>Charadrius alexandrinus</i> (main population on the Iberian Peninsula, classed as vulnerable in Cat.), <i>Sterna nilotica</i> (endangered in Eur.), <i>Haematopus ostralegus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Sterna hirundo</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Sterna albifrons</i> (endangered in Catalonia)	Very high
Halophyte systems: tidal marshes, coastal marshes and salt pans	(locations specified below)	Communities of <i>Salicornia</i> and other annuals colonizing mud and sand (HCl non-priority 1310) Spartina swards (HCl non-priority 1320) Mediterranean salt meadows (<i>Juncetalia maritimi</i>) (HCl non-priority 1410) Mediterranean and thermo-Atlantic halophilous scrubs (<i>Sarcocometea fruticosae</i>) (HCl non-priority 1420) Halo-nitrophilous scrubs (<i>Pegano-Salsoletea</i>) (HCl non-priority 1430) Halophytic communities of highly fluctuating humidity (HCl priority 1510)	Very high
L'Alfacada, La Platjola and Els Eucaliptus beaches, and the uninhabited areas of La Tancada	N2000N, PEIN, ENPE	Flora: <i>Zygophyllum album</i> (classed as vulnerable in Catalonia and Spain), <i>Spergularia rubra</i> subsp. <i>heildreichii</i> , <i>Limonium densissimum</i> (classed as vulnerable in Catalonia and Spain), <i>L. girardianum</i> , <i>L. ferulaceum</i> Nesting bird fauna: <i>Glareola pratincola</i> (endangered in Catalonia and Europe; only nests in the delta), <i>Sterna albifrons</i> (endangered in Catalonia), <i>Haematopus ostralegus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Charadrius alexandrinus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Calandrella brachydactyla</i> (endangered in Catalonia, classed as vulnerable in Europe), <i>C.rufescens</i> (classed as vulnerable in Catalonia and Europe)	Very high
La Punta de la Banya	N2000N, PEIN, ENPE	Flora: <i>Zygophyllum album</i> (classed as vulnerable in Catalonia and Spain) Nesting bird fauna: <i>Larus audouinii</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>L. fuscus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>L. genei</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Sterna sandvicensis</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>S. albifrons</i> (endangered in Catalonia), <i>Charadrius alexandrinus</i> (main population on the Iberian Peninsula, classed as vulnerable in Catalonia), <i>Tringa totanus</i> (endangered in Catalonia), <i>Haematopus ostralegus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Tadorna tadorna</i> (classed as vulnerable in Catalonia)	Very high
Rice fields	Only part of the rice field area located on coastal fringe terrain in the deltaic plain is protected (N2000N, PEIN) ENPE	Bird fauna: habitat for wintering anatidae and limicolae Herpetofauna: <i>Mauremys leprosa</i> (classed as vulnerable in Spain) and <i>Emys orbicularis</i> (endangered in Spain) Protected species of flora: <i>Lindernia dubia</i> , <i>Marsilea quadrifolia</i> and <i>Bergia capensis</i>	Medium/high

Table 5.3.3. Instruments of legal protection, species of special interest and habitats of community interest in the inland waters and limnetic systems of the Ebro Delta (I).

Natural systems	Protection of the area	Habitats and species of particular interest	Intrinsic value
Inland water and limnetic systems			
River system		<p>Poplar groves, willow groves and other riverbank woodland (HCl non-priority 92AO)</p> <p>Flora: protected species such as <i>Fraxinus angustifolia</i> subsp. <i>oxycarpa</i> and <i>Lonicera biflora</i>.</p> <p>Ichthyofauna: native and protected species such as <i>Acipenser sturio</i>, <i>Alosa alosa</i>, <i>Alosa fallax</i>, <i>Barbus graellsii</i>, <i>Gasterosteus aculeatus</i>, <i>Petromyzon marinus</i>, <i>Salaria fluviatilis</i> (endemic), and <i>Syngnathus abaster</i>, <i>Chondrostoma miegii</i>, <i>Cobitis paludica</i> (endemic)</p>	High
Coastal lagoons	(locations specified below)	<p>Coastal lagoons (HCl priority 1150*)</p> <p>Flora: macrophytes such as <i>Ruppia cirrosa</i> and <i>Potamogeton pectinatus</i> within the water; belts of helophytes around the edges</p> <p>Bird fauna: <i>Chlidonias hybridus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Sterna nilotica</i> (endangered in Europe), <i>Circus aeruginosus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Ardeola ralloides</i> (classed as vulnerable in Europe), <i>Botaurus stellaris</i> (critically endangered in Catalonia)</p>	
Les Olles	N2000N, PEIN, ENPE	<p>Bird fauna: <i>Ardeola ralloides</i> (classed as vulnerable in Europe), <i>Locustella luscinioides</i> (endangered in Catalonia)</p> <p>Ichthyofauna: <i>Anguilla anguilla</i> (classed as vulnerable in Spain)</p>	
Ei Canal Vell	N2000N, PEIN, ENPE Natural Park and Natural Wild Fauna Reserve, the extreme north-west)	<p>Natural eutrophic lakes with floating vegetation (<i>Hydrocharition</i>) or submerged populations of <i>Potamion</i> (HCl non-priority 3150)</p> <p>Ichthyofauna: <i>Aphanius iberus</i> (in danger of extinction and protected by Law 12/2006; RD 439/90 and the Habitats Directive); <i>Anguilla anguilla</i> (classed as vulnerable in Spain)</p> <p>Herpetofauna: <i>Emys orbicularis</i> (classed as vulnerable)</p> <p>Bird fauna: <i>Botaurus stellaris</i> (critically endangered in Catalonia), <i>Alcedo atthis</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Emberiza schoeniclus</i> (critically endangered in Catalonia), <i>Ixobrychus minutus</i> (near to being under threat), <i>Ardeola ralloides</i> (near to being under threat), <i>Egretta garzetta</i> (near to being under threat), <i>Chlidonias hybridus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Locustella luscinioides</i> (endangered in Catalonia)</p>	Very high
Ei Garxal	N2000N, PEIN, ENPE Natural Park and Natural Wild Fauna Reserve (belt around the private hunting area)	<p>Embryonic shifting dunes (HCl non-priority 2110)</p> <p>Natural eutrophic lakes with floating vegetation (<i>Hydrocharition</i>) or submerged populations of <i>Potamion</i> (HCl non-priority 3150)</p> <p>Nesting bird fauna: purple heron (<i>Ardea purpurea</i>), little bittern (<i>Ixobrychus minutus</i>) or whiskered tern (<i>Chlidonias hybrida</i>)</p>	

Table 5.3.4. Instruments of legal protection, species of special interest and habitats of community interest in the inland waters and limnetic systems of the Ebro Delta (II).

Natural systems	Protection of the area	Habitats and species of particular interest	Intrinsic value
Inland water and limnetic systems			
El Calaix de Buda / Els Calaixos de Buda	N2000N, PEIN, ENPE Natural Park and Natural Wild Fauna Reserve (partial)	<p>Natural eutrophic lakes with floating vegetation (<i>Hydrocharition</i>) or submerged populations of <i>Potamion</i> (HCl non-priority 3150)</p> <p>Mediterranean and thermo-Atlantic halophilous scrubs (<i>Sarcocometea fruticosae</i>) (HCl non-priority 1420)</p> <p>Flora: <i>Zygophyllum album</i> (classed as vulnerable in Catalonia and Spain), <i>Limonium vigoi</i> (endemism; over 99% of individuals of the species are concentrated in this area)</p>	
L'Alfacada	N2000N, PEIN, ENPE	<p>Natural eutrophic lakes with floating vegetation (<i>Hydrocharition</i>) or submerged populations of <i>Potamion</i> (HCl non-priority 3150)</p> <p>Nesting bird fauna: <i>Chlidonias hybrida</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Acrocephalus melanopogon</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Locustella lusciniooides</i> (endangered in Catalonia)</p>	
La Platjola	N2000N, PEIN, ENPE	<p>Nesting bird fauna: <i>Ixobrychus minutus</i> (classed as vulnerable in Europe) and sporadically <i>Botaurus stellaris</i> (critically endangered in Catalonia, vulnerable in Europe), <i>Locustella lusciniooides</i> (endangered in Catalonia), <i>Emberiza schoeniclus</i> (critically endangered in Catalonia)</p> <p>Nesting spot for <i>Circus aeruginosus</i> in winter</p>	
La Tancada	N2000N, PEIN, ENPE (Natural Park and Natural Wild Fauna Reserve)	<p>Mediterranean and thermo-Atlantic halophilous scrubs (<i>Sarcocometea fruticosae</i>) (HCl non-priority 1420)</p> <p>Nesting bird fauna: <i>Sterna nilotica</i> (endangered in Europe), <i>Tringa totanus</i> (endangered in Catalonia), <i>Sterna hirundo</i> (classed as vulnerable in Catalonia)</p>	Very high
L'Encanyissada	N2000N, PEIN, ENPE	<p>Mediterranean salt meadows (<i>Juncetalia maritimii</i>) (HCl non-priority 1410)</p> <p>Mediterranean and thermo-Atlantic halophilous scrubs (<i>Sarcocometea fruticosae</i>) (HCl non-priority 1420)</p> <p>Natural eutrophic lakes with floating vegetation (<i>Hydrocharition</i>) or submerged populations of <i>Potamion</i> (HCl non-priority 3150)</p> <p>Flora: <i>Najas marina</i> (quite rare)</p> <p>Nesting bird fauna: <i>Botaurus stellaris</i> (critically endangered in Catalonia), <i>Netta rufina</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Circus aeruginosus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Chlidonias hybrida</i> (classed as vulnerable in Catalonia)</p> <p>Herpetofauna: <i>Emys orbicularis</i></p> <p>Hard oligo-mesotrophic waters with benthic carophyte vegetation (HCl non-priority 3140), in the El Tronc springs</p>	
Springs and marshes	N2000N; PEIN (partial), ENPE (partial)	<p>Natural eutrophic lakes with floating vegetation (<i>Hydrocharition</i>) or submerged populations of <i>Potamion</i> (HCl non-priority 3150)</p> <p>Calcareous fens with <i>Cladium mariscus</i> (HCl priority 7210*), in the El Tronc springs</p> <p>Flora: <i>Iris xiphium</i> (very rare in Catalonia), in the La Panxa springs</p> <p>Fauna: <i>Phagocata ulla</i> (planarian; the only animal endemic to the delta), in the L'Arispe and Baltasar springs</p> <p>Ichthyofauna: <i>Gobio gobio</i> (native to the Ebro), <i>Cobitis paludica</i> (Iberian endemism, classed as vulnerable in Spain), <i>Gasterosteus aculeatus</i> (protected in Catalonia+C24, vulnerable in Spain), <i>Valencia hispanica</i> (endemism between the delta and the north of Alicante, endangered in Spain)</p> <p>Herpetofauna: <i>Emys orbicularis</i>, <i>Mauremys leprosa</i></p>	Very high

5.3.2. Potential environmental changes and their effects on the components of the natural system

Losses of natural heritage due to the rise in sea level

Just as the physical system is vulnerable to the rise in sea level, resulting in the retreat of the coastline and the flooding of coastal territory, so too are the natural systems present in this terrain.

The natural systems of the Ebro Delta are mainly located on the coastal fringe of terrain, which means that the rise in sea level could lead to the loss or reduction in area of these. The case of the coastal lagoons is well known, given that, as was outlined in the section on the vulnerability of the physical environment, the beaches, dune systems and mud flats have a certain capacity to retreat.

Changes in the natural systems due to changes in climate variables

Variations in climate variables have effects on different characteristics of natural systems, such as:

- Increased evaporation of bodies of water.
- Increased transpiration of plants.
- Variation in the solubility of gases in water and their saturation concentrations. In the case of oxygen, as the temperature increases, the saturation concentration decreases.
- Increased biogeochemical and metabolic rates, for example the decomposition of organic material.
- Reduction in the filling of aquifers and aquatic ecosystems.

This in turn leads to changes in the characteristics of the abiotic component of ecosystems:

- Changes in the size (reduced extension/depth/volume) and the permanence of lagoons and other aquatic ecosystems.
- Increased salinity of these.
- Increased concentration of nutrients in aquatic ecosystems (eutrophication).
- Changes in the stratification of aquatic ecosystems in terms of both temperature and salinity, and also potentially in the temporal duration of stratification and in the depth at which the thermocline is located.
- Modifications in biogeochemical cycles.
- Changes in productivity.

They also lead to direct and indirect changes to the biotic component of ecosystems:

- Changes in the biological cycles, which depend on temperatures and other abiotic factors.
- Changes in the presence of species: changes are expected in the geographical distribution of species, which implies the local extinction of some species and the establishment of new species.
- Changes in the abundance of species.
- Changes in the relationship between species (predation, symbiosis, parasitism, competition, commensalism, etc).
- Temporary proliferation (during certain climatic episodes) of pathogens, harmful algae, etc.

The following tables detail the level to which different natural systems in the Ebro Delta are affected.

Table 5.3.5. Effects on the terrestrial systems of the Ebro Delta resulting from changes in climate variables.

	Changes in structural characteristics	Changes in functional characteristics	Changes in the biota
Dunes	Increase in sand temperature		Possible local extinction of species
	Changes in the direction of the wind? Changes in the shape of dune systems		
Halophyte: tidal marshes, salt marshes, salt pans	Increase in the soil temperature		Possible local extinction of species
	Greater evapotranspiration: more frequent and prolonged dry phases		
Rice fields	Increased rates of evapotranspiration	Higher water requirements	
	Increase in the water temperature		

Table 5.3.6. Effects on the marine systems of the Ebro Delta resulting from changes in climate variables.

	Changes in structural characteristics	Changes in functional characteristics	Changes in the biota
Coastal fringe	Rise in water temperature	Changes in trophic relations resulting from changes in the annual cycle (longer resting time) of phytoplankton	Longer length of the summer rest period of phytoplankton (less dense populations, low biomass, etc.)
	Thermocline located at a greater depth and lasting longer	Changes in productivity	Changes in the patterns of presence, abundance and distribution of species due to changes in temperature: mortality of species (particularly during episodes of abnormally high temperatures), establishment/increase in abundance of thermophilic species, proliferation of algae
	Acidification of the seawater (absorption of higher quantities of CO ₂)		Possible outbreaks of pathogens, since the majority of these are sensitive to the temperature
			Negative impact of the acidification of the water on organisms with calcareous exoskeletons
			Possible outbreaks of pathogens, since the majority of these are sensitive to the temperature
Estuary	Rise in water temperature	Changes in productivity	Possible outbreaks of pathogens, since the majority of these are sensitive to the temperature
	Acidification of the seawater (absorption of higher quantities of CO ₂)		
Bays	Rise in water temperature	The rise in temperature favours biogeochemical and metabolic rates (e.g. decomposition of organic material)	Changes in the patterns of presence, abundance and distribution of species due to the changes in temperature: mortality of species (particularly during episodes of abnormally high temperatures), establishment/increase in abundance of thermophilic species, proliferation of algae
	Acidification of the seawater (absorption of higher quantities of CO ₂)	Greater risk of anoxia	
	If the entry of freshwater reduces (?): increase in salinity, changes in the stratification and in the renewal time of the water	Changes in water renewal rates	Negative impact of the acidification of the water on organisms with calcareous exoskeletons, such as molluscs (aquaculture)
		Change in productivity	Possible outbreaks of pathogens, since the majority of these are sensitive to the temperature

Table 5.3.7. Effects on the inland waters and limnetic systems of the Ebro Delta resulting from changes in climate variables.

	Changes in structural characteristics	Changes in functional characteristics	Changes in the biota
River system	Variations in flow	Changes in productivity	Changes in the patterns of presence, abundance and distribution of species due to the changes in temperature: mortality of species (particularly during episodes of abnormally high temperatures), establishment/increase in abundance of thermophilic species
	Increase in water temperature		Possible outbreaks of pathogens, since the majority of these are sensitive to the temperature
Marshes	Reduction in the refilling of the aquifer	Reduction/loss of upwelling of the water	Possible local extinction of species
	Higher water temperature	Increase in the primary productivity and the rates of decomposition of organic material (with the subsequent increase in emissions of gas into the atmosphere, etc.)	Changes in the patterns of presence, abundance and distribution of species due to changes in the temperature: mortality of species (particularly during episodes of abnormally high temperatures), establishment/increase in abundance of thermophilic species
Coastal lagoons	Greater risk of anoxia, as higher temperatures reduce the saturation concentration of dissolved oxygen	More frequent and/or more prolonged episodes of eutrophication and anoxia (due to episodes of intense precipitation that result in the input of nutrients from the rice fields; greater concentrations of nutrients due to increased evaporation, if the inputs	Changes in the patterns of presence, abundance and distribution of species resulting from changes in salinity: <i>Phragmites</i> and <i>Scirpus</i> will gain dominance over <i>Typha</i> or <i>Cladium</i> (this will also imply a change in regard to amphibian subspecies in terms of aq
	Increased salinity due to the increase in evaporation (and due to saline intrusion and less input of freshwater from the rice fields if the amount of water used for these is not increased)	Modifications in the relations between species (e.g. trophic and competitive)	Destabilisation of the populations of macroinvertebrates
Springs	Reduction in the size (extension, depth) and/or acceleration of the disappearance of the lagoon due to changes in the water balance (increased evaporation, proportionally less provision of freshwater if the amount of water used for irrigation of the rice		Increased dominance and therefore reduction in global diversity
	Reduction in the refilling of the aquifer	Reduction/loss of upwelling of the water	Possible local extinction of species

5.3.3. Capacity of natural systems to fight these changes

The characteristics of the natural systems of the Ebro Delta that give them a certain capacity to overcome, to recover from or to adapt to the potential environmental changes identified previously are outlined below.

Retreat of beaches, dune systems and tidal marshes

As mentioned above, beaches and dunes, as well as other natural systems associated with these (tidal marshes) will undergo a progressive retreat inland, provided that there is space available and there are no anthropic structures in the way that would interrupt this process. The speed of change will determine the capacity for survival of the biota associated with dunes and tidal marshes.

Size and surface area/volume ratio of lagoons

Coastal lagoons will undergo a series of changes in the characteristics of the physical environment that will influence their physicochemical characteristics, their operation and the ecological processes that take place there. Of these changes, the increased entry of sand and salt water as a result of the rise in sea level are of particular interest and can lead to processes of silting up and the increased conductivity of the water. Freshwater from aquifers can also enter lagoons due to the increased pressure from the water of the rising sea level.

The capacity to fight these changes will be greater in those lagoons that are greater in size and will also depend on the surface area to volume ratio. A larger surface area facilitates the evaporation of water, while the existence of a higher volume of freshwater will block the entry of salt water more effectively.

Anthropic regulation of lagoons and bays

The lagoons and bays of the Ebro Delta are natural systems that are strongly influenced by the anthropic systems of the Ebro Delta, particularly by the rice fields, as they receive amounts of freshwater from these that determine their water cycles.

This fact means that there is the potential to regulate undesired changes in these natural systems entropically.

Capacity for global change and adaptability

The transformation that the Ebro Delta may undergo as a consequence of the effects of climate change could imply a change in the habitats and ecosystems of the Delta:

- The physical disappearance of some habitats.
- The appearance of other, new habitats.
- Changes in the physicochemical conditions of habitats, resulting in the succession of species and adaptation to new conditions.

The size and characteristics of the Ebro Delta foster the possible appearance of new habitats.

5.4. Vulnerability of the human system

5.4.1. Intrinsic value

The human systems of the Ebro Delta are mainly classified as of high intrinsic value. The following components are exceptions to this:

- Urban centres and port infrastructures, which have been classified as of very high intrinsic value, in the former case due to the human presence and in the latter case due to their economic value.
- Tourism, which has been classified as of medium value due to the economic significance that it has in the area in comparison with other activities.

5.4.2. Potential environmental changes and their effects on the components of the human system

Loss of heritage due to the rise in sea level

Just as the physical system is vulnerable to the rise in the sea level and will be affected by the retreat of the coastline and the permanent flooding of terrain, so are the components of the human system that are located in the physical system.

The rise in sea level can lead to losses of heritage, in particular:

- **Urbanised centres:** the Ampollamar urbanised area, the campsite Ampolla-Platja, the buildings at La Marquesa Beach (a restaurant and other auxiliary structures), the Riumar urbanised area (this case is dealt with individually in the prognosis chapter), the L'Aube campsite, the Els Eucaliptus urbanised area and campsite and the urban centres of Els Muntells and El Poblenou del Delta.
- **Road infrastructures:** those situated along the shoreline or near to this, mainly local tracks and roads.
- **Hydraulic and wastewater treatment installations:** those located along the shoreline or near to this may be affected, either directly (by flooding of the terrain) or indirectly (by becoming unfit for use).
- **Port infrastructures:** the rise in sea level and alterations to the general coastal dynamic could have consequences of varying scope on the operation of the ports (L'Ampolla, Deltebre and Sant Carles de la Ràpita).
- **Other infrastructures:** coastline protection infrastructures and other networks of services such as electricity, telephone and communication lines located near the coastal fringe are also vulnerable.
- **Economic activities: agriculture:** a loss of some of the area used for the rice fields is anticipated.
- **Economic activities: aquaculture:** existing installations (cages, floating and non-floating platforms, mussel trays, ponds) may be directly affected as a result of the rise in sea level and the flooding of terrain used for aquaculture on land that is located along the shoreline.
- **Economic activities: the La Trinitat salt works:** the location of the La Trinitat salt works could affect the future development of the activity both in terms of the rise in the sea level in Els Alfacs Bay and in terms of the retreat of the coastline to the coastal fringe.
- **Economic activities: tourist resources:** possible effects on existing facilities (campsites, centres of second homes, those mentioned above) and on the natural heritage of the Ebro Delta should be taken into account as this would have repercussions for green tourism and agritourism.

Changes to the sanitary and environmental conditions resulting from changes in climate variables

In regard to changes to sanitary and environmental conditions, the following should be taken into account:

- A potential increase in excess summer mortality.
- The emergence or re-emergence of infectious diseases such as malaria, dengue fever, West Nile virus, leishmaniasis and illnesses transmitted by ticks.
- Changes in the air quality.

Changes in the competitiveness of economic activities due to changes in climate variables

In regard to changes in the competitiveness of economic activities, the following should be considered:

- **Rice fields:** it can be anticipated that significant increases in evapotranspiration and reductions in available water resources will take place, particularly in summer.
- **Sea and inland fishing:** species that are of interest for fishing may be affected by changes in the temperature and salinity of the water, particularly in shallow bodies of water such as lagoons. Certain species may also expand and there may be episodes of sudden and excessive growth of phytoplankton in eutrophic and hypertrophic environments such as lagoons, potentially resulting in anoxia.
- **Aquaculture:** changes may take place in the reproductive cycle of certain important fish species and the expansion of certain species of microscopic algae may be fostered, resulting in blooms.
- **Industrial activity:** the most vulnerable industry is considered to be the industry involved in the processing, preparation or sale of agricultural products (mainly rice and vegetable crops).
- **Tourist resources:** in regard to the vulnerability of tourist resources, both the nature of future climate conditions and the environmental health conditions should be taken into account.

6. Prognosis

6. Prognosis

6.1. Prognosis for the exterior coastline of the Delta

6.1.1. Scenarios considered

The methodology is based on the historical analysis of trends: long-term trends are evaluated for oceanographic and hydrometeorological geophysical variables and these are extrapolated for the horizon year 2050.

For the flood-level variable, a hybrid system is used consisting of the extrapolation of long-term trends for dynamic marine processes (swell and meteorological tides for the year 2050) and the projection of the global rise in sea level for IPCC scenario A1B (average scenario) by the year 2050: a rise of 15 cm. In addition, a prognosis is made for the year 2100 for the scenario A1B with a rise of 40 cm and for a scenario considered pessimistic, which consists of a rise in sea level of 100 cm.

6.1.2. Evolution of the coastline throughout the 20th century

Aspects of the historical evolution of the Ebro Delta throughout the 20th century that should be highlighted are the opening of the current river mouth and the closure of the Gola Est inlet in 1937 due to an extreme flood, and the drastic reduction in sediment brought by the river due to the construction of reservoirs in the Ebro Basin, which has led to the evolution towards a delta system dominated by swell and has inverted the sedimentary trend at Cap Tortosa, which is currently retreating. Figure 6.1.3 shows the coastlines of the delta lobe throughout the second half of the 20th century.

There is currently a sedimentary trend in the two coastal spit bars, while the zones located between the spit bars and the lobe act as sediment transfer zones. This means that, as can be observed in Figure 6.1.2:

- Cap Tortosa is undergoing a process of erosion.
- El Fangar and La Banya are zones that receive sediment.
- The zones of El Trabucador and Els Eucaliptus-Migjorn are transit zones for sediment from Cap Tortosa that is moving towards La Banya.
- The La Marquesa-Riumar zone is a transit zone for sediment from Cap Tortosa that is moving towards El Fangar.

Figure 6.1.1. Coastline at Cap Tortosa from 1957 to 2000.
Source: Jiménez et al, 2005.



Figure 6.1.2. Current gains and losses of sediment along the exterior coast of the Ebro Delta ($m^3/year$).



Evolution of the coastline

To estimate the evolution of the coastline, separate analyses have been made of the longitudinal transportation of sediments and the influence of the average sea level, and both effects have subsequently been superimposed.

The starting point taken was the current configuration of the system, and no alterations to this were considered except those caused by climate change, which means that the prediction made is based on the hypothesis of non-interference with the system by external agents, particularly of an anthropogenic nature.

Evolution of the coastline due to the longitudinal transportation of sediments

In order to estimate the change that the coastline will undergo due to the longitudinal transportation of sediments, it was assumed that:

The equilibrium profile maintains the same shape and that the depth of closure of the beach remains constant. For each stretch of beach, the volume of sand eroded or deposited is distributed uniformly along the length of the shore.

The average retreat obtained is shown in the following table:

Table 6.1.1. Average coastline retreat due to the longitudinal transportation of sediments.

Average coastline retreat due to longitudinal transportation (m)	15 cm horizon year 2050	40 and 100 cm horizon year 2100	m/year
El Fangar Peninsula	-348.30	-753.29	-8.10
La Marquesa Beach	10.24	22.14	0.24
Riumar Beach and Cap Tortosa	194.42	420.48	4.52
El Serrallo Beach and Migjorn Beach	-120.81	-261.28	-2.81
Els Eucaliptus Beach	-76.97	-166.48	-1.79
El Trabucador Beach	7.18	15.53	0.17
La Trinitat salt works	148.32	320.79	3.45
La Punta de la Banya	-252.83	-546.82	-5.88

It should be noted that the analysis of trends shows that the long-term variations in longitudinal transportation of sediments are not significant, which means that the phenomenon most linked to climate change is the retreat of the coastline associated with a rise in average sea level.

Evolution of the coastline due to the rise in sea level

In order to estimate the retreat of the coastline due to the rise in average sea level, the following hypotheses have been assumed:

- An equilibrium beach profile will be established as part of the new sea level that is identical to the profile that existed prior to the rise in sea level.
- The equilibrium profile is determined using Dean's formula (1977); the depth of beach closure corresponds to the figure obtained using Birkemeier's formula (1985).
- The volume of sand on the beach remains the same.

The average retreat obtained is shown in the table 6.1.2.

Table 6.1.2. Average coastline retreat due to the rise in sea level.

Average coastline retreat due to the rise in sea level (m)	15 cm by 2050	40 cm by 2100	100 cm by 2100
El Fangar Peninsula	8.90	23.72	59.31
La Marquesa Beach	10.25	27.33	68.33
Riumar Beach and Cap Tortosa	10.15	27.06	67.65
El Serrallo Beach and Migjorn Beach	9.70	25.85	64.64
Els Eucaliptus Beach	9.05	24.12	60.30
El Trabucador Beach	9.12	24.32	60.79
La Trinitat salt works	9.34	24.90	62.25
La Punta de la Banya	7.85	20.93	52.32

Total evolution of the coastline

Lastly, an estimate is made of the total evolution of the coastline, both due to the longitudinal transportation of sediment and the rise in the sea level. The average retreat obtained for the different stretches is shown in the table below:

Table 6.1.3. Average total coastline retreat, by stretch.

Total average coastline retreat (m)	Scenario A horizon year 2050 (0.15 m)	Scenario B horizon year 2100 (0.40 m)	Scenario C horizon year 2100 (1.00 m)
El Fangar Peninsula	-339.40	-729.57	-693.98
La Marquesa Beach	20.49	49.47	90.47
Riumar Beach and Cap Tortosa	204.56	447.54	488.13
El Serrallo Beach and Migjorn Beach	-111.11	-235.43	-196.64
Els Eucaliptus Beach	-67.93	-142.36	-106.18
El Trabucador Beach	16.30	39.84	76.32
La Trinitat salt works	157.66	345.70	383.05
La Punta de la Banya	-244.98	-525.90	-494.50

The prognoses made for the coastline according to the different scenarios specified are shown in the following graphics.

Figure 6.1.3. Current coastline and coastlines for the different climate change scenarios at El Fangar Peninsula and La Marquesa Beach.

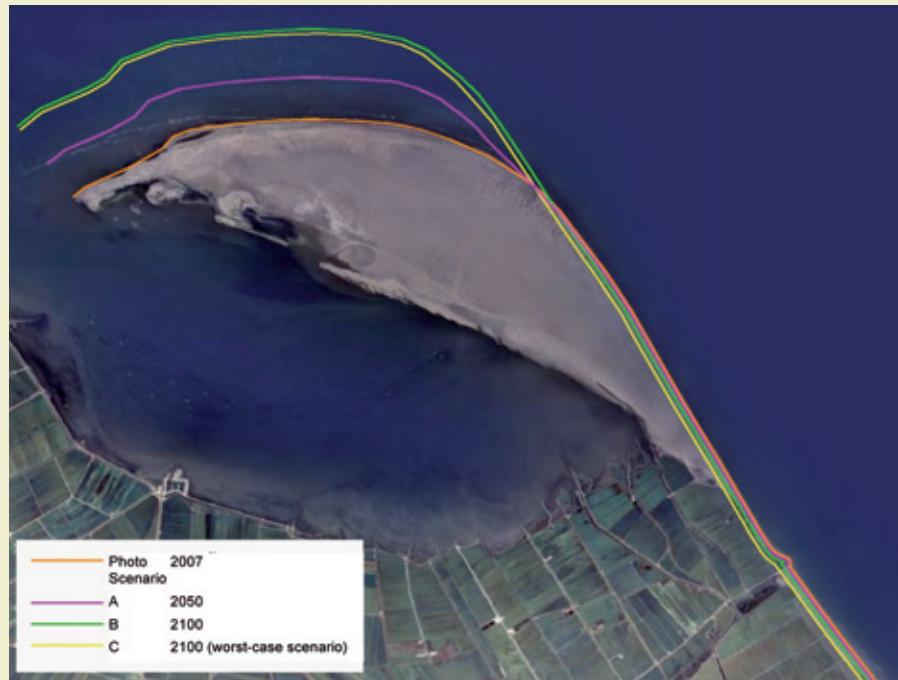


Figure 6.1.4. Current coastline and coastlines for the different climate change scenarios at Riumar Beach and Cap Tortosa.



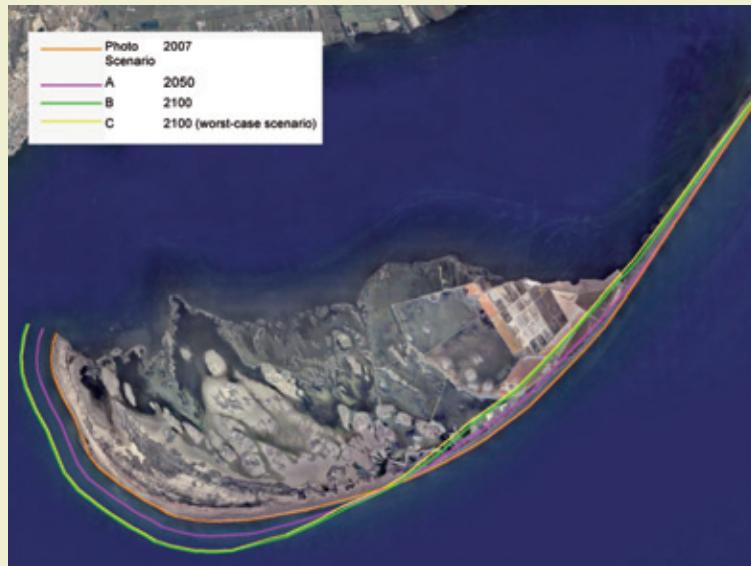
Figure 6.1.5. Current coastline and coastlines for the different climate change scenarios at Els Eucaliptus, Migjorn and Serrallo Beaches.



Figure 6.1.6. Current coastline and coastlines for the different climate change scenarios at El Trabucador Beach.



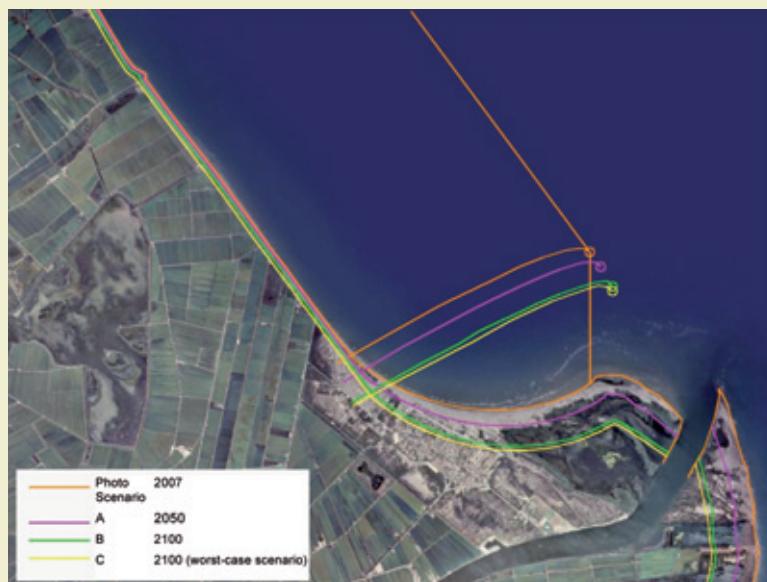
Figure 6.1.7. Current coastline and coastlines for the different climate change scenarios at the La Trinitat salt works and La Punta de la Banya.



6.1.3. The case of Riumar

Riumar Beach is located in the shelter of the exterior deposits of the river mouth, which act as an element of diffraction. The retreat of Cap Tortosa will cause the retreat of these deposits to the same extent as coastline is displaced, thus modifying the position of the beach equilibrium plan. This has been analysed using the methodology of González and Medina (2001); the prognosis for the coastline at Riumar is represented in the graphic below:

Figure 6.1.8. Shape on the equilibrium plan of Riumar Beach for the different scenarios considered.



6.2. Prognosis for the coastline of the bays

In order to calculate the effect of the increase in sea level within the bays, a digital terrain model (DTM) has been constructed to evaluate the flood-prone areas in the interior of the bays, taking the height of the sea level at the port of Sant Carles de la Ràpita. The scenarios that have been considered for producing the simulation are the same as those considered for the study of the evolution of the exterior coastline as explained above:

- By 2050 the sea level will be around 15 cm higher than current sea level (scenario A)
- By 2100 the sea level will be around 40 cm higher than current sea level (scenario B)
- By 2100 the sea level will be around 1 m higher than current sea level (scenario C, the worst-case scenario)

An average subsidence level of 0.2 cm/year has been considered for all of these scenarios.

This model has certain limitations, given:

- The lack of detailed and appropriate cartography for carrying out the studies.
- For the use of the model, it has been assumed that the relief does not change in the 50 and 100 years for which the hypothesis is made (there is no other way of doing this as the relief of the future is unknown). This supposition is of course incorrect, as the relief will change in accordance with the increase in sea level (structures will almost definitely be constructed that interrupt this rise in water levels, etc.).

Results

The analysis indicates how the advance of the water will evolve and which zones will be flooded first. It does not claim to constitute a prognosis as to which are the flood-prone zones for a defined time period and within a certain hypothesis, given that there is a certain degree of inaccuracy in the basic data (scale of the study, error for height details, etc.).

In the case of the bays, which do not respond to increases in sea level (not active from a morphological perspective) and given the very flat relief of the Delta, seawater can flood these zones almost uninterruptedly, with the exception of obstacles such as roads, which would be effective only in the short term.

The zones detected that offer the easiest point of entry for seawater are inlets and pumping stations:

Figure 6.2.1. Prognosis for the flood-prone areas before the year 2050, with points lower than the 15-cm increase in average sea level. The figure shows the point at which seawater flooding begins.



Figure 6.2.2. Prognosis for the flood-prone areas by 2050 with a rise in average sea level of 15 cm (and subsidence).

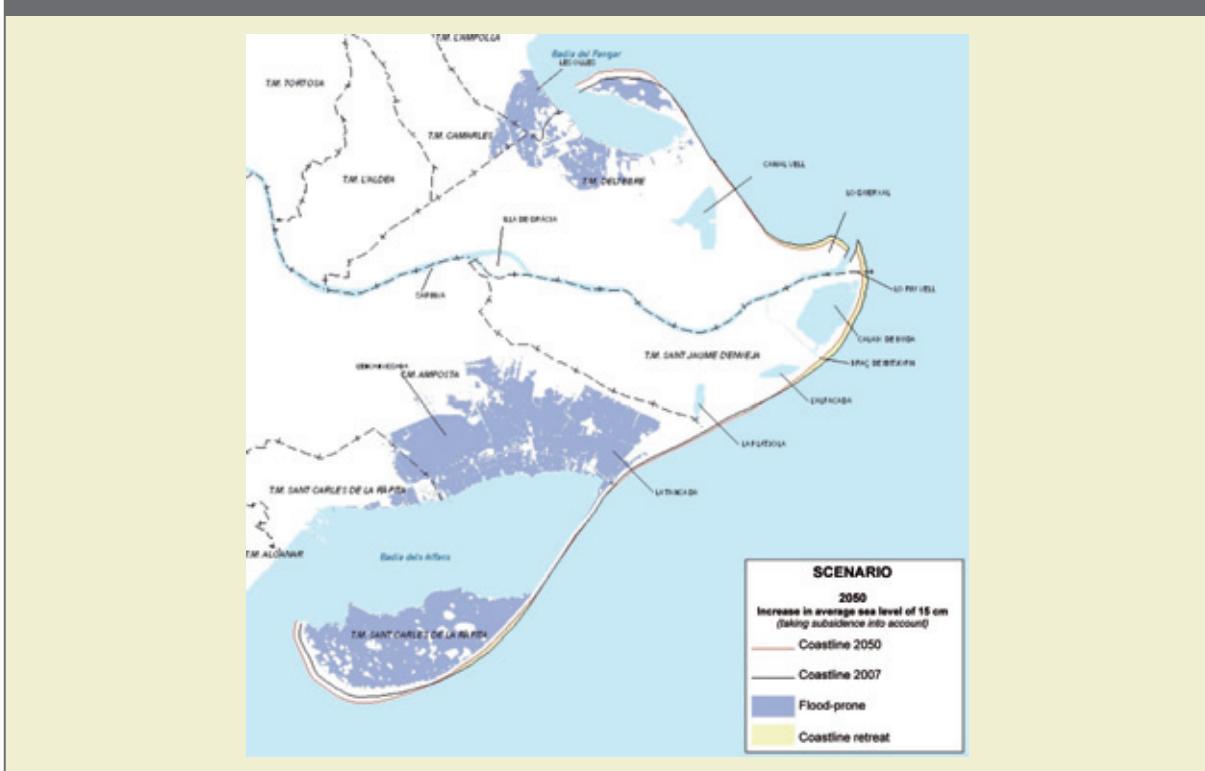


Figure 6.2.3. Prognosis for the flood-prone areas by 2100 with a rise in average sea level of 40 cm (and subsidence).

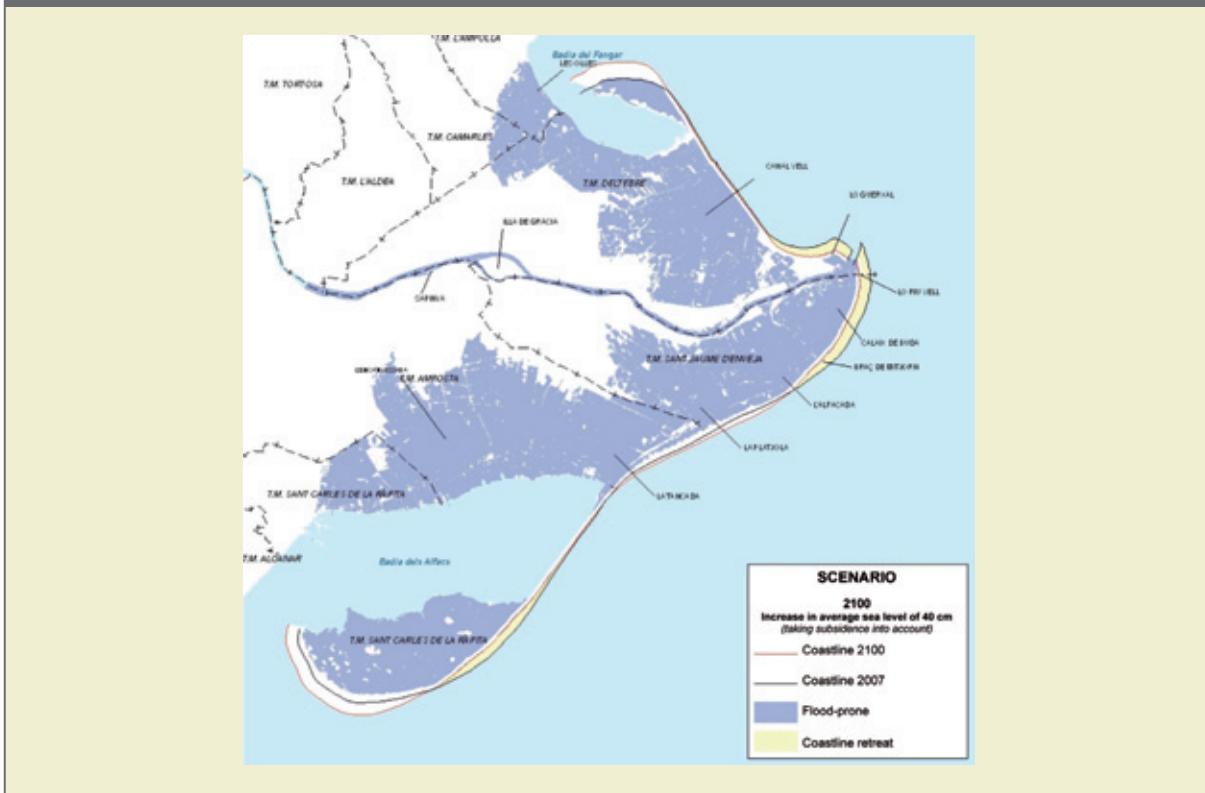


Figure 6.2.4. Prognosis for flood-prone areas by 2100 with a rise in average sea level of 100 cm (and subsidence).



6.3. Prognosis for the presence and persistence of the salt wedge

This section calculates the prognosis for the presence and persistence of the salt wedge in the Ebro River.

The following factors are considered for this study:

- The current situation of the salt wedge.
- The influence of the reduction of flows in the Ebro River.
- The influence of the increase of the sea level.

Conclusions:

- Based on the models used, the upper river flow rate limit for the existence of the salt wedge is 600 m³/s.
- In the current situation and for 10% of the time in an average year, there is no salt wedge. The wedge passes Gràcia Island around 20% of the time.
- Influence of the reduction in the flow system.

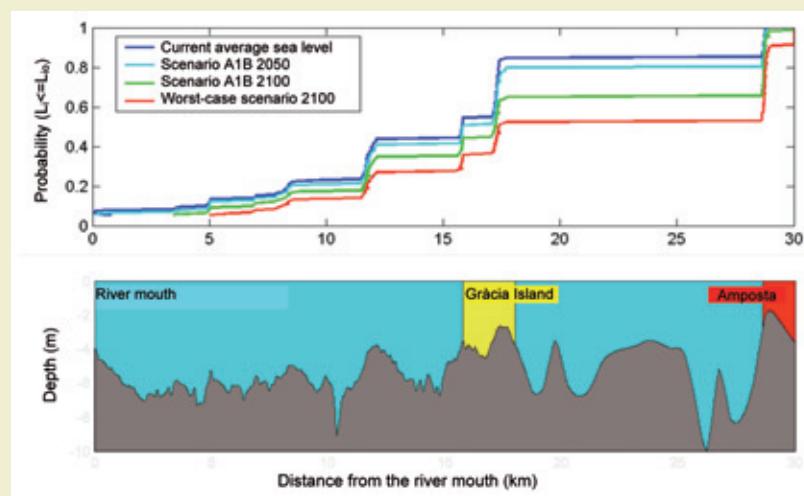
Two scenarios have been proposed based on the results of various European projects that consist of a reduction of the flow system at Tortosa of 10 and 20% throughout the 21st century.

By modifying the flow system entering the area studied, the length of the salt wedge will change and the result is the existence of the salt wedge over a longer period of time. This would be more extreme the greater the reduction in flows.

- Influence of the increase in the average sea level.

To assess the influence of the rise in average sea level, three scenarios are used that are proposed in the *Fourth Assessment Report* (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): scenario A1B for the year 2050, in which an increase in the average global sea level of 15 cm is predicted, A1B for the year 2100, which involves an increase of 40 cm, and a pessimistic scenario (the highest level of all of the scenarios proposed by the IPCC), which consists of an increase of 100 cm by 2100.

Figure 6.3.1. Influence of the rise in the average sea level.



Therefore:

- The rise in average sea level encourages the existence of the salt wedge over a greater area and for a longer period of time.
- The wedge currently reaches Gràcia Island 20% of the time; in scenario A1B for 2100 this would be the case 40% of the time.
- The worst-case scenario anticipates that the salt wedge would be present in this zone 50% of the time.

7. Risk analysis for economic, natural and social assets

7. Risk analysis for economic, natural and social assets

This study considers that risk is the product of the vulnerability of a component based on the probability that a specific potential effect resulting from climate change will take place.

Thus the bases used to define the risk to economic, natural and social assets are:

- The definition of vulnerability of the natural and human systems.
- The probability of occurrence of the different effects on the natural and human systems, qualified based on:
 - (a) The prognoses made in the previous section.
 - (b) Bibliographical research.
 - (c) The estimate of probability, when neither of the options above is possible.

In line with the definition of risk given at the start of this point, and considering the results of the models of flooding of the terrain as a consequence of the effects of climate change (point 6.2 of this document), the areas of risk can be seen to be as follows:

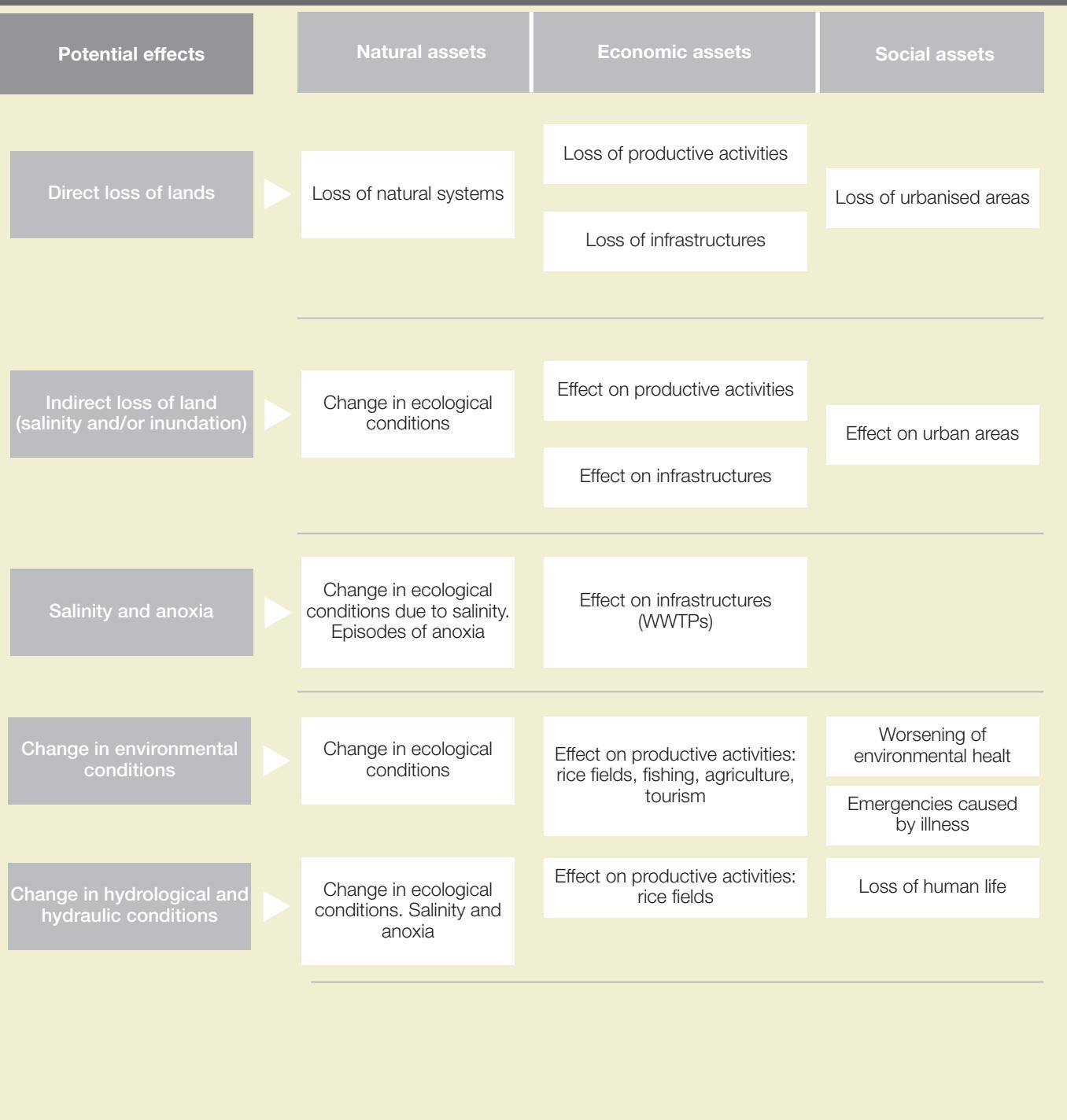
Area	Foreseen risks on a 50-year horizon	Foreseen risks on a 100-year horizon
La Marquesa Beach-Nen Perdut area	Reduction and retreat of the beach	Reduction of the beach. Indirect effects on the delta plain from the bays
Riumar area	Effect on urbanised area due to the rise in sea level	Increase of the effect. Indirect effects on the delta plain from the bays
El Garxal – Sant Antoni Island – Buda Island- L'Alfacada	Reduction of natural areas	Increase of the effect. Indirect effects on the delta plain from the bays
La Platjola – Els Eucaliptus	No effect is foreseen	Indirect effects on the delta plain from the bays (effect on the urbanised area)
Le Punta del Fangar and La Punta de la Banya and El Trabucador bar	Evolution of the systems according to the coastal dynamic. The interior of La Punta de la Banya and La Punta del Fangar is reduced, while at the same time these spits lengthen	Continuation of processes of change in the coastline. The spits may lengthen more and the internal parts will flood more but will not disappear
Northern hemi-delta	Flooding of the hemi-delta firstly from the Les Olles inlets and the El Port de l'Illa pumping station and later from other low points	Flooding from the rest of the hemi-delta towards the spit with different probabilities depending on the scenario
Southern hemi-delta	Flooding of the southern hemi-delta firstly from the inlets. Risk to the village of El Poblenou del Delta	Flooding from the rest of the hemi-delta towards the spit with different probabilities depending on the scenario

An analysis is made below of the risk to natural, economic and social assets. To carry out this analysis, the conceptual diagram represented in Figure 7.1 has been followed, so that the risks can be dealt with individually.

Figure 7.1. Identification of the potential effects of the environmental changes identified on natural, economic and social

Environmental changes identified	Probability of occurrence	Considerations
Subsidence	High	The rate of subsidence varies over the area and over time
Rise in sea level	High	Prognosis for different scenarios considered (Chapter 5)
Variation in the regime of sea storms	High	Will continue to affect the delta lobe, La Marquesa-Riumar, and the L'Alfaca-El Trabucador. In the N h-delta, reduced duration; in the S h-delta, increased
Increase in the presence and persistence of the salt wedge	High	Prognosis for different scenarios considered (Chapter 5)
Variation in climate variables	High	Mainly air and water temperature and precipitation
Reduction in flows of the Ebro River	Medium	Estimated reduction of 10-20% during 21st century. Regulation can enable minimum flow to be maintained
Variation in the regime of river floods	Medium	Due to high regulation of the basin, great variations are not expected

assets in the Ebro Delta



7.1. Risk to natural assets

7.1.1. Risk of loss of natural systems due to the rise in sea level

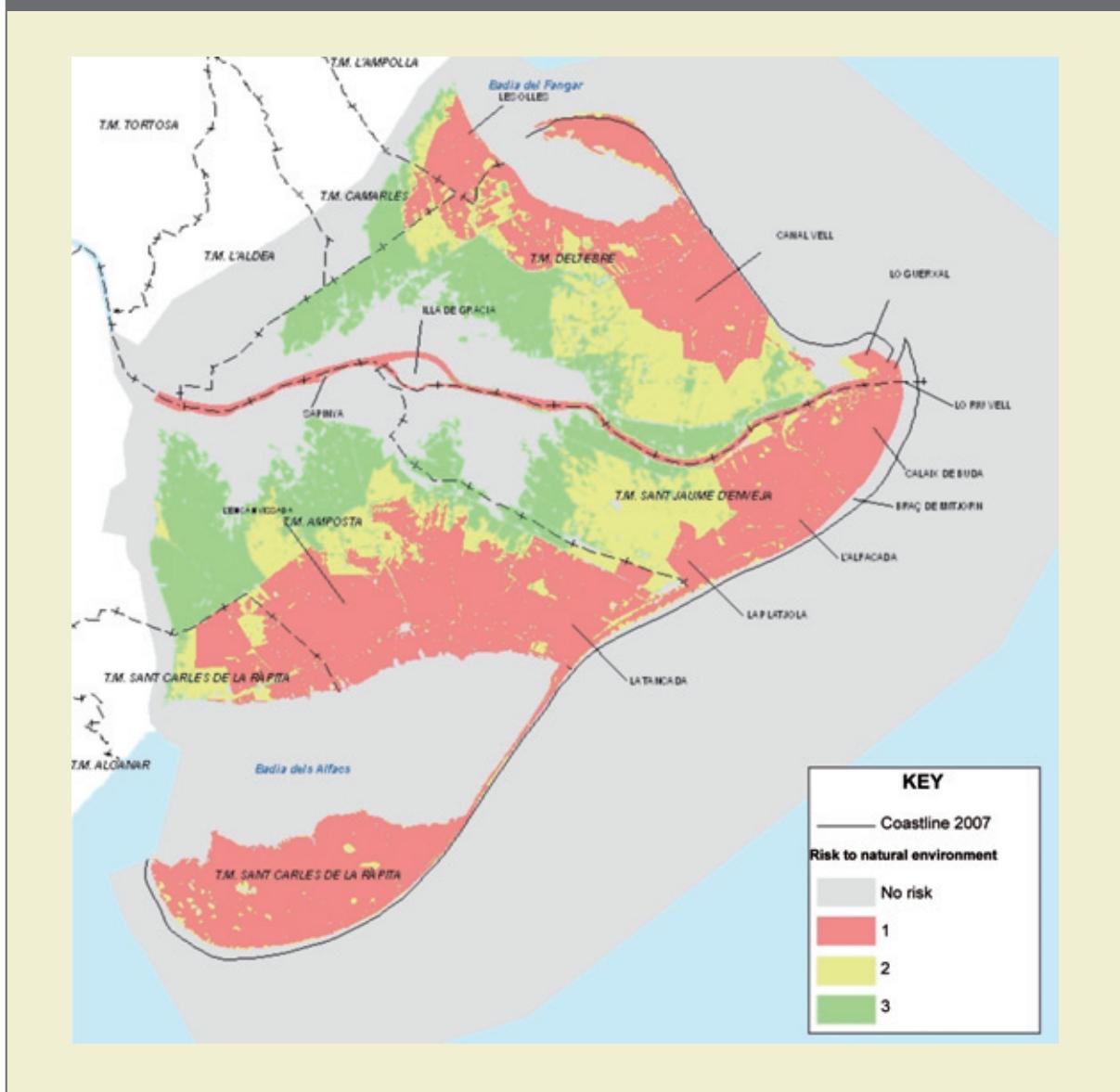
The risk of loss of natural systems and habitats due to the rise in sea level considers first and foremost the probability that this event will occur. The following conclusions have therefore been drawn:

- There is a **high probability of loss** of the natural systems located on terrain that is flooded or eroded within scenario A1B for the **time horizon of 2050**.
- There is a **high probability of loss** of the natural systems located on terrain that is flooded or eroded within scenario A1B for the **time horizon of 2100**.
- There is a **low probability of loss** of the natural systems located on terrain that is flooded or eroded in the scenario of a rise in sea level of 100 cm for the **time horizon of 2100**.

These probabilities of occurrence are considered along with the vulnerability defined for natural systems according to the following categorisation:

Vulnerability	Probability of occurrence		
	1	2	3
Very high / high	Risk 1	Risk 1	Risk 2
Medium	Risk 1	Risk 2	Risk 3
Low	Risk 2	Risk 3	Risk 3

The resulting risk map is shown in Figure 7.1.1.

Figure 7.1.1. Risk to the natural systems of the Ebro Delta due to the rise in sea level.

As can be seen in the figure, the following are evaluated as being at risk level 1: the coastal lagoons (Les Olles, El Canal Vell, El Garxal, El Calaix de Buda, L'Alfacada, La Platjola, La Tancada, L'Encanyissada), other wetland areas (Sant Antoni Island, Buda Island and the Migjorn River), the beaches, the dune systems, the halophyte systems (including the uninhabited areas of La Tancada, Casablanca and Vilacoto and the old Sant Antoni salt works), and rice field areas. It should be noted that all of the natural systems located on the delta lobe and the El Fangar and La Banya spits have a risk level of 1.

Risks 2 and 3 apply to the banks of the Ebro River at the lowest stretch, the associated marshes and springs and the rice field areas.

The risk to natural systems is extensive in regard to a series of habitats of community interest (HCl) located in the area, as well as to the animal and plant species living there.

The following table specifies the HCl that are not at risk or that are classified as risk level 1 or 2:

Table 7.1.2. Areas of habitats of community interest by risk categories.

Code	HCl	No risk (ha)	Risk 1 (ha)	Risk 2 (ha)
1140	Mudflats and sandflats not covered by seawater at low tide	118.54	1990.56	117.56
1150*	Coastal lagoons	0.22	1492.55	0.90
1320	Spartina swards	30.25	14.13	1.43
1410	Mediterranean salt meadows (<i>Juncetalia maritim</i>)	19.02	185.88	28.28
1420	Mediterranean and thermo-Atlantic halophilous scrubs (<i>Sarcocornetea fruticosae</i>)	88.58	701.16	104.53
2110	Embryonic shifting dunes	0.23	24.64	6.97
2120	Shifting dunes along the shoreline with <i>Ammophila arenaria</i>	2.14	85.35	1.11
2210	<i>Crucianellion maritimae</i> fixed beach dunes	7.45	74.67	14.84
3140	Hard oligo-mesotrophic waters with benthic vegetation of Charophyta	0.00	7.91	0.00
7210*	Calcareous fens with <i>Cladium mariscus</i>	3.45	294.81	29.10
92A0	<i>Salix alba</i> and <i>Populus alba</i> galleries and other riparian galleries	1.65	0.31	0.39

The following tables list the plant and animal species of special interest that are at risk. These are identified based on the natural systems in which they live:

Table 7.1.3. Species of particular interest that are at risk in the terrestrial systems of the Ebro Delta.

Natural systems	Species of particular interest at risk
Terrestrial	
Dune systems	<p>Psammophyte vegetation particular to this type of habitat. Species such as <i>Limoniastrum monopetalum</i> stand out (classed as vulnerable in Catalonia; protected by Decree 328/1992)</p> <p>Nesting bird fauna: <i>Charadrius alexandrinus</i> (main population on the Iberian Peninsula, classed as vulnerable in Catalonia), <i>Sterna nilotica</i> (endangered in Europe), <i>Haematopus ostralegus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Sterna hirundo</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Sterna albifrons</i> (endangered in Catalonia)</p>
Halophyte systems	<p>Flora: <i>Zygophyllum album</i> (classed as vulnerable in Catalonia and Spain), <i>Spergularia rubra</i> subsp. <i>heildreichii</i>, <i>Limonium densissimum</i> (classed as vulnerable in Catalonia and Spain), <i>L. girardianum</i>, <i>L. ferulaceum</i></p> <p>Nesting bird fauna: <i>Glareola pratincola</i> (endangered in Catalonia and Europe; only nests in the delta), <i>Sterna albifrons</i> (endangered in Catalonia), <i>Haematopus ostralegus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Charadrius alexandrinus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Calandrella brachydactyla</i> (endangered in Catalonia, classed as vulnerable in Europe), <i>C. rufescens</i> (classed as vulnerable in Catalonia and Europe), <i>Larus audouinii</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>L. fuscus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>L. genei</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Sterna sandvicensis</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>S. albifrons</i> (endangered in Catalonia), <i>Charadrius alexandrinus</i> (main population on the Iberian Peninsula, classed as vulnerable in Catalonia), <i>Tringa totanus</i> (endangered in Catalonia), <i>Haematopus ostralegus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Tadorna tadorna</i> (classed as vulnerable in Catalonia)</p>
Rice fields	<p>Bird fauna: habitat for wintering anatidae and limicolae</p> <p>Herpetofauna: <i>Mauremys leprosa</i> (classed as vulnerable in Spain) and <i>Emys orbicularis</i> (endangered in Spain)</p> <p>Protected species of flora: <i>Lindernia dubia</i>, <i>Marsilea quadrifolia</i> and <i>Bergia capensis</i></p>

Table 7.1.4. Species of particular interest that are at risk in the inland waters and limnetic systems of the Ebro Delta.

Natural systems	Species of particular interest at risk
Inland waters and limnetic systems	
Coastal lagoons	<p>Flora: macrophytes such as <i>Ruppia cirrosa</i> and <i>Potamogeton pectinatus</i> in the water; surrounding belts of helophytes</p> <p>Bird fauna: <i>Chlidonias hybridus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Sterna nilotica</i> (endangered in Europe), <i>Circus aeruginosus</i> (classed as vulnerable in Cat.), <i>Ardeola ralloides</i> (classed as vulnerable in Europe), <i>Botaurus stellaris</i> (critically endangered in Cat.)</p>
Les Olles	<p>Bird fauna: <i>Ardeola ralloides</i> (classed as vulnerable in Europe), <i>Locustella luscinioides</i> (endangered in Catalonia)</p> <p>Ichthyofauna: <i>Anguilla anguilla</i> (classed as vulnerable in Spain)</p>
El Canal Vell	<p>Ichthyofauna: <i>Aphanius iberus</i> (in danger of extinction and protected by Law 12/2006; RD 439/90 and the Habitats Directive); <i>Anguilla anguilla</i> (classed as vulnerable in Spain)</p> <p>Herpetofauna: <i>Emys orbicularis</i> (classed as vulnerable)</p> <p>Bird fauna: <i>Botaurus stellaris</i> (critically endangered in Catalonia), <i>Alcedo atthis</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Emberiza schoeniclus</i> (critically endangered in Catalonia), <i>Ixobrychus minutus</i> (close to endangered), <i>Ardeola ralloides</i> (close to endangered), <i>Egretta garzetta</i> (close to endangered), <i>Chlidonias hybridus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Locustella luscinioides</i> (endangered in Catalonia)</p>
El Garxal	Nesting bird fauna: the purple heron (<i>Ardea purpurea</i>), the little bittern (<i>Ixobrychus minutus</i>) and the whiskered tern (<i>Chlidonias hybrida</i>)
El Calaix de Buda/ els Calaixos de Buda	Flora: <i>Zygophyllum album</i> (classed as vulnerable in Catalonia and Spain), <i>Limonium vigoi</i> (endemism; over 99% of individuals of the species are concentrated in this area)
L'Alfacada	Nesting bird fauna: <i>Chlidonias hybrida</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Acrocephalus melanopogon</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Locustella luscinioides</i> (endangered in Cat.)
La Platjola	<p>Nesting bird fauna: <i>Ixobrychus minutus</i> (classed as vulnerable in Eur.) and sporadically <i>Botaurus stellaris</i> (critically endangered in Catalonia, classed as vulnerable in Europe), <i>Locustella luscinioides</i> (endangered in Catalonia), <i>Emberiza schoeniclus</i> (critically endangered in Catalonia)</p> <p>Nesting spot for <i>Circus aeruginosus</i> in winter</p>
La Tancada	Nesting bird fauna: <i>Sterna nilotica</i> (endangered in Europe), <i>Tringa totanus</i> (endangered in Catalonia), <i>Sterna hirundo</i> (classed as vulnerable in Catalonia)
L'Encanyissada	<p>Flora: <i>Najas marina</i> (quite rare)</p> <p>Nesting bird fauna: <i>Botaurus stellaris</i> (critically endangered in Catalonia), <i>Netta rufina</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Circus aeruginosus</i> (classed as vulnerable in Catalonia), <i>Chlidonias hybrida</i> (classed as vulnerable in Catalonia)</p> <p>Herpetofauna: <i>Emys orbicularis</i></p>
Springs and marshes	<p>Flora: <i>Iris xiphium</i> (very rare in Catalonia), in the La Panxa springs</p> <p>Fauna: <i>Phagocata ulla</i> (planarian; the only animal endemic to the Delta), in the L'Arispe and Baltasar springs</p> <p>Ichthyofauna: <i>Gobio gobio</i> (native to the Ebro), <i>Cobitis paludica</i> (Iberian endemism, classed as vulnerable in Spain), <i>Gasterosteus aculeatus</i> (protected in Catalonia, vulnerable in Spain), <i>Valencia hispanica</i> (endemism between the delta and the north of Alicante, endangered in Spain)</p> <p>Herpetofauna: <i>Emys orbicularis</i>, <i>Mauremys leprosa</i></p>

7.1.2. Risk of salinisation and anoxia due to the increased presence and persistence of the salt wedge

- The stretch of the Ebro River below Gràcia Island has **medium probability** of presence and persistence of the salt wedge, given that it is currently present there 20% of the time, while in the scenarios for 2100 it would be there between 40% of the time (A1B) or 50% of the time (pessimistic view).
- The stretch of the Ebro River above Gràcia Island has **low probability** of presence and persistence of the salt wedge.

These probabilities of occurrence are considered together with the vulnerability calculated for the river according to the categorisation listed in Table 5.3.3. The resulting risk is represented in Figure 7.1.1.

7.1.3. Risk of change to ecological conditions due to changes in the climate variables

An assessment has been made of the risk implied by the change in climate variables to the different natural systems present in the Delta on a global level. In addition, these also imply changes to the biotic behaviour of systems. The risks associated with these are difficult to evaluate and require specific studies.

Therefore, given the characteristics of the different ecosystems, it has been concluded that the following habitats are those facing the greatest risk in case of possible changes in conditions:

- Bays
- Lagoons
- Springs and marshes
- The river system

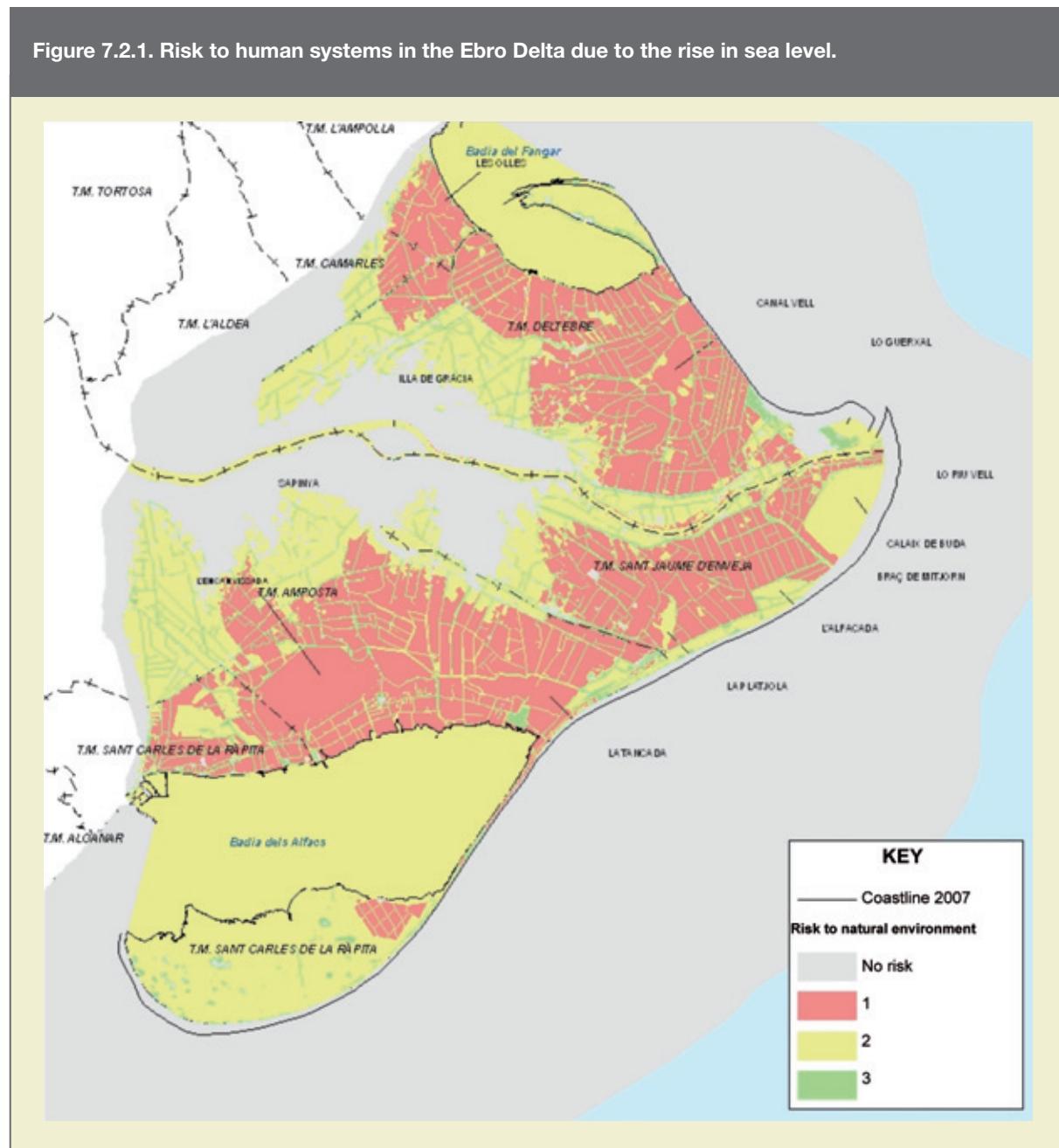
This risk may also affect other habitats to a lesser extent.

It has recently been proposed that the Living Planet Index (LPI) methodology (WWF, ZSL) be used as an objective tool for the measurement of biodiversity patterns in Mediterranean wetland areas in the context of global change. The first version of this index has already been applied both on a global level to the Mediterranean and on a local level, for example in the Camargue. It has been noted that the majority of monitoring data available is for birds, to the detriment of other classes of vertebrates. In addition, it has also been observed that birds seem to adapt well to the transformation of their biotopes, and they are therefore not always good indicators of the qualitative evolution of their habitats. This means that it is also important to foster the monitoring of organisms that are in more direct contact with aquatic habitats, such as amphibians or fish.

7.2. Risk to economic assets

7.2.1. Risk of loss of productive activities and infrastructure due to the rise in sea level

In order to assess the risk of loss of productive activities and infrastructure due to the rise in sea level, the same methodology was used as was used in point 7.1.1, resulting in the same characterisation of probabilities of occurrence. In the same way, vulnerability has been considered in order to assess the risk, as indicated in table 7.1.1. The resulting risk map is represented in the figure below:



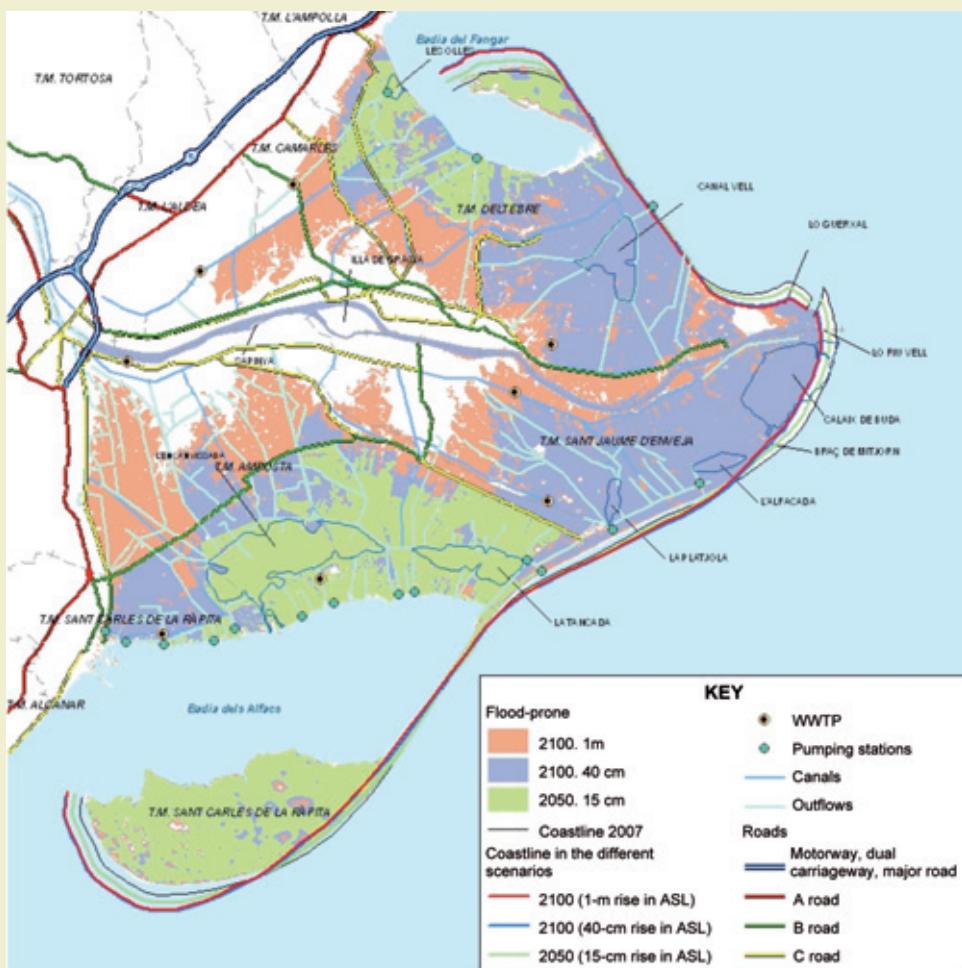
In regard to economic activities, the table below shows the areas of the main productive activities that are at risk:

Table 7.2.1. Areas of productive activity affected.

Productive activities	No risk (ha)	Risk 1 (ha)	Risk 2 (ha)	Risk 3 (ha)
Rice fields	6688.17	11187.09	6473.54	0.00
Other crops	417.12	1.35	6.84	0.00
Salt pans	3.03	179.89	1.07	0.00

In regard to infrastructures, the following figure shows the infrastructures that are at risk:

Figure 7.2.2. Infrastructures at risk.



As can be observed, there is a risk of effects to different types of infrastructure: roads, wastewater treatment facilities (WWTPs, collectors and outfalls) and hydraulic infrastructures.

7.2.2. Risk of effects on productive activities due to salinisation and/or inundation

Another risk has been identified that is associated with the rise in sea level, which results from the intrusion of salt water into the aquifers in the delta plain.

In scientific literature, the Ebro Delta is described as a system made up of various aquifers, of which the shallowest has a depth of 10 m, is made up of fine sands with a low level of permeability and has saline and hypersaline zones (Bayó *et al.*, 1992; Bayó *et al.*, 1997). The salt content of this layer is essentially controlled by the input of freshwater from the irrigation of rice fields. For this reason, according to these authors, the indirect loss of terrain as a consequence of the rise in sea level is not expected: the water is already saline, and the input of freshwater comes from irrigation (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008).

This study proposes the monitoring of the level of effects of climate change on the expectations of the different production sectors in the Ebro Delta Chapter 7 of this study, measure DE 9), which includes monitoring the productivity of the rice fields and surrounding area in order to detect whether there are negative effects on the rice fields linked to the salinisation of aquifers.

7.2.3. Risk of effects on productive activities due to changes in climate conditions

The risk of effects on the productive activities of the Ebro Delta due to changes in climate conditions are assessed below, based on bibliographical research from studies providing information on the probability of occurrence of the effects considered.

Rice fields

The vulnerability of rice fields is a result of their water requirements, which will be proportional to the increase in evapotranspiration. Forecasts in this respect have been made by the Government of Andalusia and the results indicate average increase values of ET₀ (evapotranspiration of the crop of reference) of between 8.4 and 8.9% by 2050 in the most favourable (B2) and least favourable (A2) scenarios, respectively. These percentages are average values for the whole of Spain.

The increase in the water requirements of the rice fields in the Delta would be simultaneous with a decrease in the water resources of the Ebro River Basin; according to the results of a variety of European projects, reductions in the flow systems at Tortosa are expected of between 10% and 20% throughout the 20th century. Given the high level of regulation of the Ebro River Basin, water management policies will be of major relevance.

The rice fields of the Ebro Delta are classified as risk level 2 when they have a high intrinsic value (those that are located in protected areas around the natural systems) and as risk level 3 when the intrinsic value is medium (in the rest of the delta plain).

Marine and inland fishing

Based on the risk estimate that has been made in regard to *the risk of change in ecological conditions due to changes in climate variables*, on which fishing also depends, inland fishing is classified as risk level 1 and marine fishing as risk level 2.

Aquaculture

Based on the risk estimate that has been made in regard to the *risk of change in ecological conditions due to changes in climate variables*, aquaculture in bays is classified as risk level 1 and aquaculture in the coastal fringe as risk level 2.

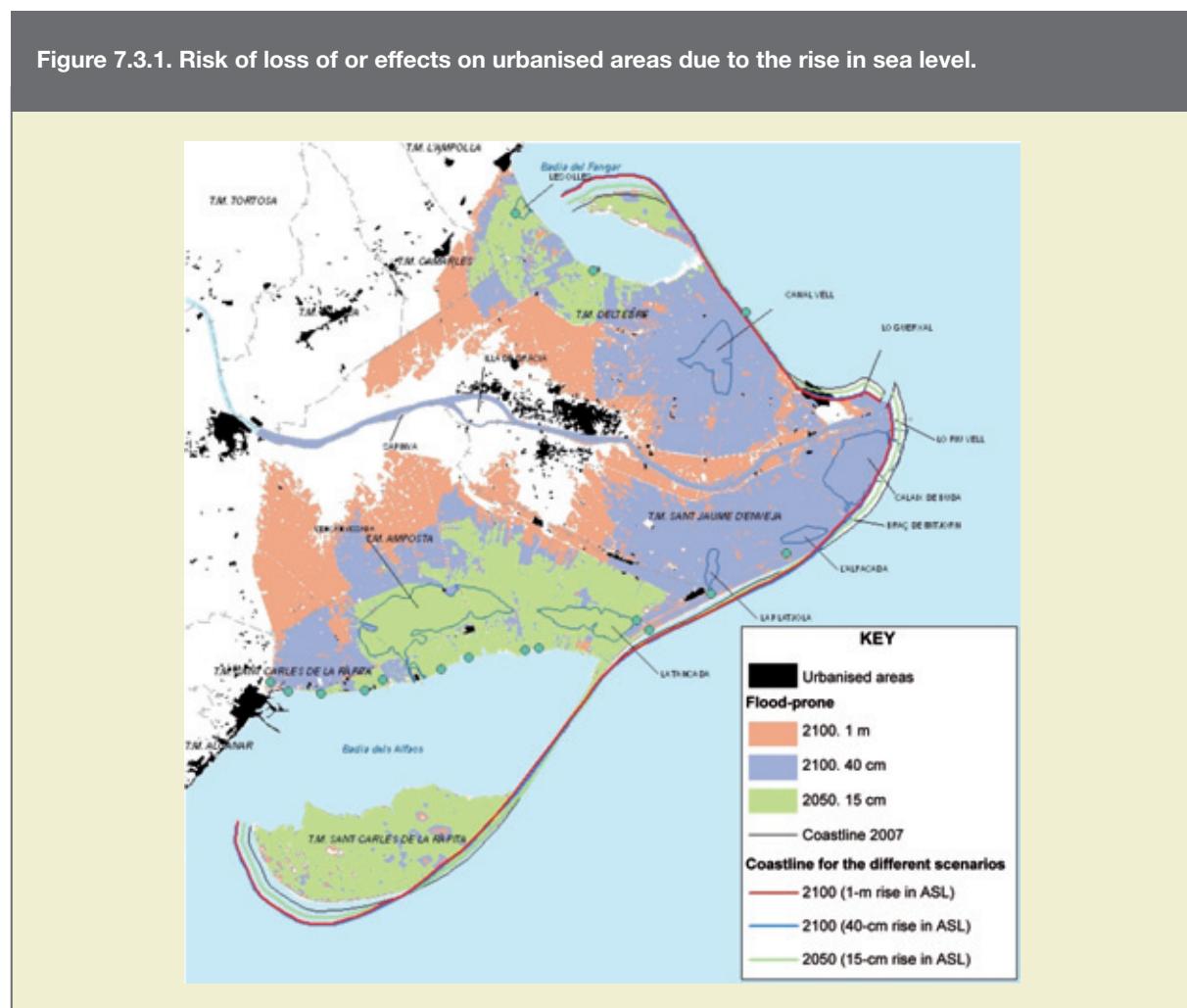
Tourist resources

According to a study assessing future climate conditions in regard to tourism produced by the European Commission in June 2007, the Ebro Delta would be at an acceptable level (TCI 40-60) for the period 2071-2100. Potential effects on tourism due to changes in climate variables are considered to be risk level 3. It should be noted that tourist activity could be indirectly affected by negative changes in environmental health conditions.

7.3. Risk to social assets

7.3.1. Risk of loss of or effects on urbanised zones due to the increase in sea level

In order to assess the risk of loss of social assets and human environments due to the rise in sea level, the location of all inhabited centres has been considered alongside the different scenarios for increases in the sea level. The resulting risk map is shown in the following figure:



As can be seen from the map, the following population centres in the Ebro Delta are at risk:

- Riumar. At risk due to changes in the coastline, which are already present in the scenario projected for 2050 and which will increase towards the end of the century.
- El Poblenou del Delta. There is a high risk to this centre in the scenario projected for 2050 due to the rise in the sea level in Els Alfacs Bay.
- Els Muntells. At risk in the worst-case scenario: considering the horizon year of 2100 and a rise in sea level of 1 m.
- Els Eucaliptus. In the coastal area of Els Eucaliptus there is no risk, since the forecast is for growth of the coastline. However, flooding from Els Alfacs Bay could affect the area between 2050 and 2100.

Specific graphics are given in the following page for the cases of Riumar and Els Eucaliptus.

7.3.2. Risk of deterioration of environmental health due to changes in climate variables

Air quality, water quality, food safety and allergic illnesses have been considered together. The risk of deterioration of environmental health due to changes in climate variables is considered to be level 3.

7.3.3. Risk of emergence of illnesses due to changes in climate variables

Malaria, dengue fever, West Nile virus, leishmaniasis and illnesses transmitted by ticks have been considered. The risk of emergence of illnesses due to changes in climate variables is considered to be level 3.

7.3.4. Risk of loss of human life due to changes in climate variables

The forecasts for the Ebro Delta for the worst-case scenario in regard to greenhouse gas emissions and global warming (*Adapting to climate change in Europe – options for EU action* (Commission of the European Community, 2007)), are that, for the period 2071-2100 in relation to the period 1961-1990:

- Deaths due to illnesses linked to excess heat will increase by an average of 25-30 deaths per 100,000 people.
- Deaths due to illnesses linked to excess cold will decrease by an average of 5-10 deaths per 100,000 people.

Figure 7.3.2. Enlarged image of the coastlines at Riumar: scenario AB1 – 2050 (red); scenario AB1 – 2100 (orange); worst-case scenario – 2100 (green).



Figure 7.3.3. Enlarged image of the situation for Els Eucaliptus for the horizons 2050 and 2100.



8. Design of adaptation and prevention measures

8. Design of adaptation and prevention measures

8.1. Presentation of the measures

Any forecast made in regard to global warming inherently implies a certain degree of uncertainty due, among other things, to the very complex nature of climatic phenomena, to the degree of variability of future scenarios in regard to emissions, to the complex interaction between variables in natural systems and to the lack of scientific knowledge. In proposing measures for adapting to and preventing climate change for the Ebro Delta, the decision has been made to apply the precautionary principle, according to which when there is uncertainty in relation to potential environmental or social damage that may occur or emerge from a specific form of action, avoiding this risk must be an established basis for decision-making.

The objectives of the measures for adapting to climate change in the Ebro Delta are as follows:

- O1. Improve the measurement, data collection and information processing systems.
- O2. Reduce vulnerability and the risk to people.
- O3. Adapt economic activities and protect economic assets that are potentially affected.
- O4. Protect and restore the integrity of environmental systems under threat.

In order to attain these objectives, four broad lines of measures have been defined:

- Management, planning and regulatory measures (Table 8.1).
- Data collection and management measures and implementation of studies (Table 8.2).
- Public information and awareness-raising measures (Table 8.3).
- Direct intervention measures (Table 8.4).

The measures involving direct intervention in the territory include:

- A group of measures intended to act on the environmental problems and impacts that currently exist in the Delta and that will or could increase in synergy with the effects of climate change.
- A group of measures that are in fact the adaptation to the potential effects of climate change, resulting from the study of risk.
- “Soft” measures and management measures will be given priority over hard measures.

Table 8.1. Management, planning and regulatory measures.

Code	Title of the action	Related actions	Priority
GPN 1	Creation of a body for the observation and monitoring of the effects of climate change in the Ebro Delta	GPN 4, GPN 5, GPN 7, DE 1, DE 2, DE 3, DE 4, DE 5, IS 1, IS 2	High
GPN 2	Drawing up of a Master Plan of measures for adapting to and preventing climate change in the Ebro Delta	GPN 1, GPN 4, GPN 5, GPN 6, GPN 7	High
GPN	Adaptation of public maritime-terrestrial property (DPMT) to forecasts for the risk of a rise in sea level		High
GPN 4	Adaptation of territorial and sector plans to the potential effects of climate change in the Ebro Delta	GPN 2, GPN 3	High
GPN 5	Adaptation of urban planning for the zones at risk due to climate change as established for the Ebro Delta	GPN 1, GPN 2, GPN 3, GPN 4, GPN 10	High
GPN 6	Adaptation and refinement of the limits of the protected figures in the Ebro Delta	GPN 3, GPN 4, GPN 5	High
GPN 7	Incorporation of construction and technical assessment criteria that consider the potential effects resulting from climate change	GPN 2, GPN 4	High
GPN 8.1	Sanitary control: establishment of sanitary control and prevention systems to fight the possible appearance of clinical patterns and illnesses linked to climate change	IS 1, IS 2	High
GPN 8.2	Sanitary control: establishment of control and prevention systems in order to anticipate possible plagues and illnesses affecting agricultural and fish and seafood farming	IS 1, IS 2	High
GPN 9	Establishment of environmental quality control systems	GPN 8	Complementary

Table 8.2. Data collection and management measures and implementation of studies.

Code	Title of the action	Related actions	Priority
DE 1	Creation and maintenance of an integrated and centralised database for managing the Ebro Delta coastline	GPN 1, DE 2, DE 3, DE 5	High
DE 2	Production of detailed bathymetry and cartography for the Ebro Delta	DE 1, DE 5	High
DE 3	Detailed monitoring of subsidence of the deltaic plain	DE 1, DE 5	Medium
DE 4	Monitoring of the status and position of the salt wedge	DE 1, DE 5	Medium
DE 5	Development of scientific and technical programmes applied to prognoses	GPN 1, DE 1, DE 2, DE 3, DE 4	High
DE 6	Monitoring of populations of protected, endemic, rare or vulnerable species present in the Ebro Delta	DE 7, ID 4	Medium
DE 7	Conservation of genetic heritage in the Ebro Delta	DE 6, ID GC 4	Complementary
DE 8	Control and monitoring of lagoons, bays and wetlands		Complementary
DE 9	Monitoring of the level of effects of climate change on the expectations of the different production sectors	ID 1	High
DE 10	Studies on the use of varieties of rice with lower water requirements	ID 1, DE 9	High
DE 11	Application of systems for optimising water resources	DE 10, GPN 4, GPN 6	High
DE 12	Control of populations of parasites and other potential vectors for illnesses and plagues that may appear as a consequence of the change in climate variables	GPN 8.1, GPN 8.2	High
DE 13	Control and monitoring of the prognoses made	GPN 1, GPN 2, DE 1, DE 5	High
DE 14	Reassessment of the functionality of coastal infrastructure	GPN 2, GPN 4	High
DE 15	Assessment of sand reservoirs		High

Table 8.3. Public information and awareness-raising measures.

Code	Title of the action	Related actions	Priority
IS 1	Development of citizen information and awareness-raising programmes	GPN 1	High
IS 2	Development of warning systems focusing on the population	GPN 1	High

Table 8.4. Direct intervention measures (I).

Code	Title of the action	Related actions	Priority
(1) Action on existing environmental problems and impacts			
IDE 1	Lines of measures to resolve the problem of the lack of vertical accretion in the delta plain: using sediments from the reservoirs	DE 3	Complementary
IDE 2	Lines of measures to resolve the problem of the lack of vertical accretion in the delta plain: fostering wetlands	DE 3	Complementary
IDE 3	Lines of measures to resolve the problem of the lack of vertical accretion in the delta plain: using the silt in the bays to refill the lowest zones of the deltaic plain	DE 3	Complementary
IDE 4	Lines of measures to resolve the problem of the salt wedge	DE 4	Complementary
IDE 5	Measures to minimise the hardening of the coast		High
IDE 6	Installation of green filters and regulation of effluent discharged into lagoons and bays	DE 8	Complementary
(2) General measures - Criteria			
MG 1	Non-intervention, that is, accepting the rise in sea level and the loss of coastal land on a territorial level	GPN 2, GPN 4, GPN 10	
MG 2	Managed redefinition of the coastline	GPN 2, GPN 4, GPN 10	High
MG 3	Maintenance of the coastline by applying hard measures		
MG 4	Maintenance of the coastline by applying soft measures		
MG 5	Land reclamation		
MG 6	Mitigation measures using limited intervention		

Table 8.5. Direct intervention measures (II).

Code	Title of the action	Related actions	Priority
(3) Specific measures			
ID GC 1	Measures for fighting the effects of the rise in sea level by the formation of dune systems	MG 4, MG 6	High
ID GC 2	Natural habitat compensation measures	GPN 4, GPN 5, GPN 10, ID 2, MG 2	Medium
ID GC 3	Measures aimed at the progressive abandonment of urban areas and activities in risk zones	GPN 5, IS 1, IS 2, MG 2	Medium
ID GC 4	Complementary actions and measures: Construction of levees	MG 1, MG 2, MG 4	Medium
ID GC 5	Regeneration of beaches using sand accumulated in other areas	MG 4	Medium
ID GC 6	Measures aimed at maintaining a minimum flow in the Ebro River	DE 10, DE 11, IDE 1, IDE 4	Medium
ID GC 7	Guaranteeing the free movement of sand		High

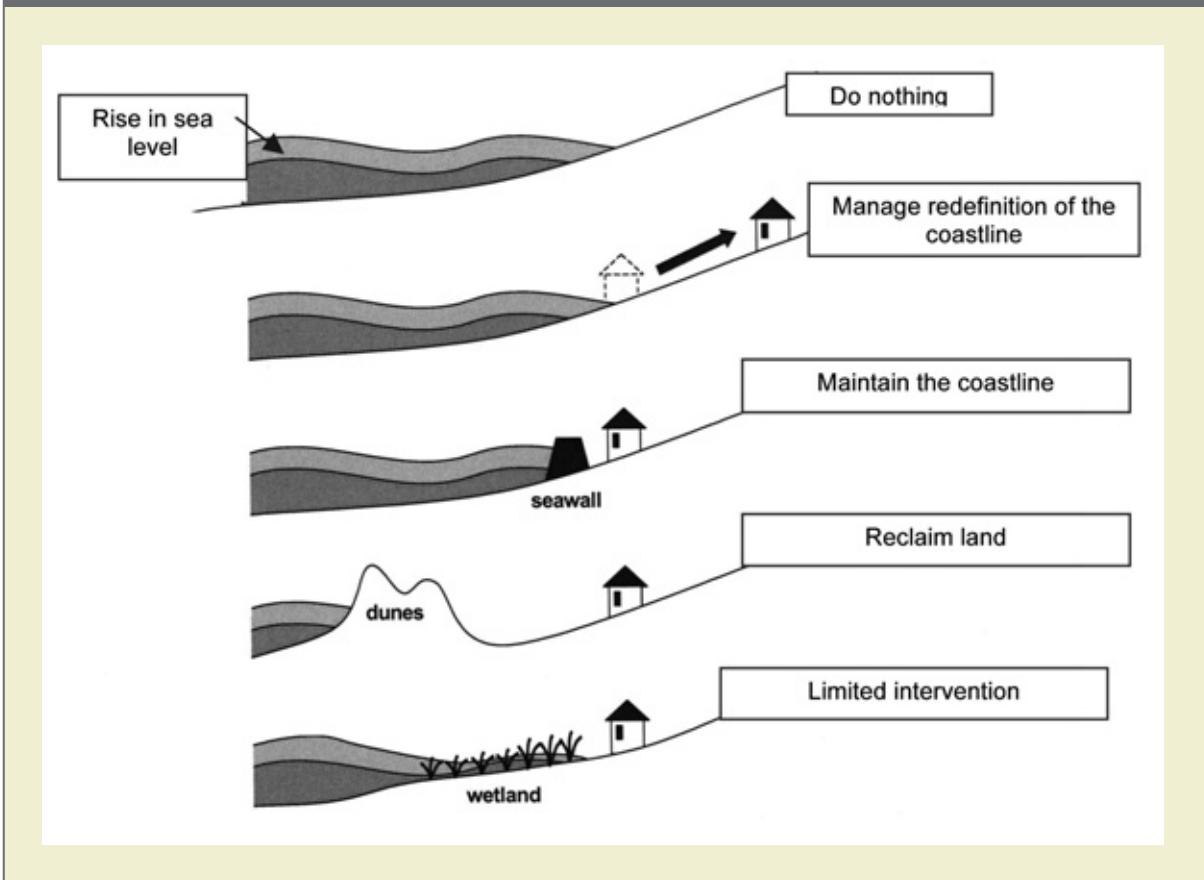
Within the group of direct intervention measures aimed at adapting to the potential effects of climate change in the Ebro Delta, those aimed at managing the coastline are particularly significant and important. This type of action is of utmost importance within the adaptation strategies, given that the permanent flooding of the fringe of coastal terrain adjacent to the bays is expected as a consequence of the rise in sea level according to the prognoses made for 2050 and 2100 outlined above. The management of the coastline will therefore have important consequences for the natural and human systems located on the terrain considered to be at risk.

The fact that proposed direct intervention models aimed at the management of the coastline cannot imply contradictions of criteria, which would lead to difficulties with their social acceptance, has been taken into account. It is considered necessary to adopt one or several strategic lines, as well as certain fundamental criteria, in order to guide the decision-making process.

Firstly, it is preferable to adopt a pro-active strategy—one that anticipates environmental changes, both events and processes—wherever possible, and to adopt a reactive strategy—of acting in response to environmental changes when their effects can already be felt—only when this is the only possible option.

In regard to the broad strategic lines of the coastline, those included in the EUROSION project (*A guide to coastal erosion management practices in Europe*, 2004) have been used. The project specifies in which circumstances these are most appropriate and in which parts of Europe they are being used. A graphic is shown below that represents these strategies, which are also described in detail in the original study.

Figure 8.1. Generic coastline management policies, according to the definition of the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA).



8.2. Zoning actions

Finally, the Ebro Delta was divided into zones with the aim of differentiating stretches with the most homogeneous characteristics possible in regard to the physical, natural and socioeconomic environment, as well as in regard to their sedimentary trend (erosion/deposit). For each of these stretches, the group of measures proposed was assessed and, based on the characteristics of the stretch, the measures considered most appropriate were proposed for that specific case. The following general criteria were followed throughout this process:

For the exterior coastline of the Delta, the monitoring of the prognoses made in this study were proposed, and the most appropriate lines of action are considered to be "do nothing" and "manage redefinition of the coastline". This means that physical actions are very limited, except in the following areas:

- Riumar zone: actions to reduce the risk to people.
- Els Eucaliptus zone: in the long term (from the year 2050), there will be a need to propose actions to reduce the risk to people.

The land beside the bays is classified as risk level 1, which makes it a priority zone in the definition of adaptive measures to climate change. A hydraulic study analysing the operational level of the different hydraulic infrastructures to fight the entry of water is considered essential. In line with the modelling carried out, water would enter from the inlets, pumping stations and low points. The proposed hydraulic study must guarantee the functionality of this infrastructure and design new infrastructures as required.

The other measures aim to minimise the rise in sea level based on two strategies: managing redefinition of the coastline and maintaining the coastline using different techniques. In this regard, it should be noted that some of the actions proposed by the Spanish Ministry of the Environment's Directorate-General for Sustainability of the Coast and the Sea can have positive consequences in regard to the effects of climate change due to the rise in sea level, given that they consist of rampart walks that act as protective banks (see action ID GC 4).

Possible actions are given in the following pages, divided into zones.

Zone	Lines of action	Alternatives	Measures	Code
	Specific measures			
La Marquesa Beach	Direct intervention measures: action on existing problem		Measures to minimise the hardening of the coast	ID 5
	Direct intervention measures: various	Alt 1	Managed redefinition of the coastline	MG 2
		Alt 2.1	Maintenance of the coastline by applying hard measures	MG 3
		Alt 2.2	Maintenance of the coastline by applying soft measures	MG 4
Riumar	Data collection and management measures and implementation of studies		Control and monitoring of the prognoses made (3)	DE 13
	Public information and awareness-raising measures		Development of public information and awareness-raising programmes	IS 1
			Development of warning systems focusing on the population	IS 2
		Alt 1	Measures aimed at the progressive abandonment of urban areas and activities in risk zones	ID GC 3
	Direct intervention measures: various	Alt 2.1	Maintenance of the coastline by applying hard measures	MG 3
		Alt 2.2	Maintenance of the coastline by applying soft measures	MG 4
El Garxal - St. Antoni Island - El Riu Vell	Public information and awareness-raising measures		Control and monitoring of the prognoses made (3)	DE 13
	Direct intervention measures: various	Alt 1	Non-intervention, that is, accepting the rise in sea level and the loss of coastal land on a territorial level	MG 1
			Managed redefinition of the coastline	MG 2
		Alt 2	Measures for fighting the effects of the rise in sea level by the formation of dune systems	ID GC 1
			Natural habitat compensation measures	ID GC 2
		Alt 3	Maintenance of the coastline by applying soft measures	MG 4
Buda Island - L'Alfacada area	Data collection and management measures and implementation of studies		Control and monitoring of the prognoses made (3)	DE 13
	Direct intervention measures: various	Alt 1	Non-intervention, that is, accepting the rise in sea level and the loss of coastal land on a territorial level	MG 1
			Managed redefinition of the coastline	MG 2
		Alt 2	Measures for fighting the effects of the rise in sea level by the formation of dune systems	ID GC 1
			Natural habitat compensation measures	ID GC 2
		Alt 3	Maintenance of the coastline by applying soft measures	MG 4
Els Eucaliptus and La Platjola area	Data collection and management measures and implementation of studies		Control and monitoring of the prognoses made (3)	DE 13
	Public information and awareness-raising measures		Development of public information and awareness-raising programmes	IS 1
			Development of warning systems focusing on the population	IS 2
		Alt 1	Non-intervention, that is, accepting the rise in sea level and the loss of coastal land on a territorial level (6)	MG 1
	Direct intervention measures: various	Alt 2	Measures aimed at the progressive abandonment of urban areas and activities in risk zones and rehousing	ID GC 3

Priority		Evaluation			
2050	2100	Efficiency of the measure	Difficulty	Economic cost	Additional environmental impacts
Medium		High	Low	Low	None
Medium	Medium	High	Low	Medium (2)	None-Low
Low (1)	Low (1)	Low-Medium	Low-Medium	Medium	High
Medium (1)	Medium (1)	Low-Medium	Low	Low-Medium	Low
High	High	High	Medium-Low	Medium-Low	None
High	High	High	Low	Low	None
High	High	High	Low	Low	None
High	High	High	Medium	Medium-Unknown (2)	Unknown
Medium-High (1)	High	Low-Unknown	High	High	Altos
Medium-High (1)	High	Low-Unknown	High	Medium-High	Low
High	High	High	Medium-Low	Medium-Low	None
Medium	Medium	High	Low	Low-Medium	Unknown
Medium	Medium	High	Low	Low-Medium	Unknown
Medium-Low	Medium-Low	High (4)	Medium	High-Medium	Low-None
Low (5)	Unknown (5)	High	Medium	Medium	Positive
Low	Low	Low-None	High	High	Unknown
High	High	High	Medium-Low	Medium-Low	None
Medium	Medium	High	Low	Low-Medium	Unknown
Medium	Medium	High	Low	Low-Medium	Unknown
Medium-Low	Medium-Low	High (4)	Medium	High-Medium	Low-None
Low (5)	Unknown (5)	High	Medium	Medium	Positive
Low	Low	Low-Nula	High	High	Unknown
High	High	High	Medium-Low	Medium-Low	None
Medium	High	High	Low	Low	None
Medium	High	High	Low	Low	None
Low (6)	Medium (6)	High	Low	Low-Medium	Unknown
Low	High (6)	High	Medium	Medium-Unknown (2)	Unknown

Zone	Lines of action	Alternatives	Measures	Code
	Specific measures			
Uninhabited areas of La Tancada - La Tancada	Direct intervention measures: various		Control and monitoring of the prognoses made (3) Non-intervention, that is, accepting the rise in sea level and the loss of coastal land on a territorial level	DE 13 MG 3
El Trabucador bar	Data collection and management measures and implementation of studies Direct intervention measures		Control and monitoring of the prognoses made (3) Measures to minimise the hardening of the coast Non-intervention, that is, accepting the rise in sea level and the loss of coastal land on a territorial level Measures to minimise the hardening of the coast	DE 13 IDE 5 MG 1 IDE 5
La Punta de la Banya	Data collection and management measures and implementation of studies Direct intervention measures: various	Alt 1 Alt 2 Alt 3	Control and monitoring of the prognoses made (3) Non-intervention, that is, accepting the rise in sea level and the loss of coastal land on a territorial level Maintenance of the coastline by applying soft measures Managed redefinition of the coastline Measures aimed at the progressive abandonment of activities in risk zones and rehousing Natural habitat compensation measures	DE 13 MG 1 MG 4 MG 2 ID GC 3 ID GC 2
El Fangar	Direct intervention measures: various	Alt 1 Alt 2	Control and monitoring of the prognoses made (3) Non-intervention, that is, accepting the rise in sea level and the loss of coastal land on a territorial level Managed redefinition of the coastline Natural habitat compensation measures Measures for fighting the effects of the rise in sea level by the formation of dune systems	DE 13 MG 1 MG 2 ID GC 2 ID GC 1
L'Ampolla port - L'Ampolla centre. Sant Carles port	Data collection and management measures and implementation of studies Management, planning and regulatory measures		Reassessment of the functionality of coastal infrastructure Incorporation of construction and technical assessment criteria that consider the potential effects resulting from climate change Adaptation of urban planning for the zones at risk due to climate change as established for the Ebro Delta	DE 14 GPN 7 GPN 5
Interior of the Delta at El Fangar Bay	Data collection and management measures and implementation of studies Direct intervention measures: various	Alt 1.1 Alt 1.2 Alt 2 Alt 3	Reassessment of the functionality of coastal infrastructure. Where necessary, hydraulic calculations of the capacity of channels and redesign of pumping stations and tilting gates. Specifically and most urgently, those of the Les Olles Pond and the one at El Port de l'Illa Control and monitoring of the prognoses made (3) Maintenance of the coastline by applying hard measures Maintenance of the coastline by applying soft measures Managed redefinition of the coastline Measures for fighting the effects of the rise in sea level by the formation of dune systems Natural habitat compensation measures Complementary measures: Construction of protective levees	DE 14 DE 13 MG 3 MG 4 MG 1 ID GC 1 ID GC 2 ID GC 4

Priority		Evaluation			
2050	2100	Efficiency of the measure	Difficulty	Economic cost	Additional environmental impacts
High	High	High	Medium-Low	Medium-Low	None
Low	Medium	High	Low	Low	None
High	High	High	Medium-Low	Medium-Low	None
High		High	Low	Low	None
Medium	Medium	High	Low	None	Unknown
High		High	Low	Medium	None
High	High	High	Medium-Low	Medium-Low	None
Medium	Medium	High	Low	None	Unknown
Low	Unknown	Unknown	High	High	Unknown
Medium	Medium	High	Low	Low-Medium	Unknown
High	High	High	Medium	Medium-Unknown(2)	Unknown
Low (5)	Unknown (5)	High	Medium	Medium	Positive
High	High	High	Medium-Low	Medium-Low	None
Medium	Medium	High	Low	None	Unknown
Medium	Medium	High	Low	Low-Medium	Unknown
Low (5)	Unknown (5)	High	Medium	Medium	Positive
Low	Low	High	Unknown	Low-Medium	None-Positive
High	High	High	Medium-High	Medium-High	None
High	High	High	Low	Low	None
High	High	High	Low	Low	None
High	High	High	High	High	Unknown
High	High	High	Low	Low	None
Medium		High	High	High	High
High		High	High	High	Medium-High
High	High	High	Medium-High	High	Unknown
Low	Medium	High	Medium	Medium	Positive
Low (5)	Unknown (5)	High	Medium	Medium	Positive
High (7)	High (7)	High	High	Medium	Low-Medium

Zone	Lines of action	Alternatives	Measures	Code
	Specific measures			
Interior of the Delta at Els Alfacs Bay	Data collection and management measures and implementation of studies		Reassessment of the functionality of coastal infrastructure. Where necessary, hydraulic calculations of the capacity of channels and redesign of pumping stations and tilting gates.	DE 14
	Public information and awareness-raising measures		Control and monitoring of the prognoses made	DE 13
	Direct intervention measures (a): abandoning of urban areas		Development of public information and awareness-raising programmes	IS 1
	Direct intervention measures (b)	Alt 1.1	Development of warning systems focusing on the population	IS 2
	Direct intervention measures (b)	Alt 1.2	Measures aimed at the progressive abandonment of urban areas and activities in risk zones and rehousing	ID GC 3
	Direct intervention measures (c)	Alt 2	Maintenance of the coastline by applying hard measures	MG 3
	Direct intervention measures (c)	Alt 2	Maintenance of the coastline by applying soft measures	MG 4
	Direct intervention measures (c)	Alt 2	Managed redefinition of the coastline	MG 1
	Direct intervention measures (d)	Alt 3	Natural habitat compensation measures	ID GC 3.1
	Direct intervention measures (d)	Alt 3	Measures for fighting the effects of the rise in sea level by the formation of dune systems	ID GC 1
	Direct intervention measures (d)	Alt 3	Complementary measures: Construction of protective levees	ID GC 4
Bays, lagoons and wetlands	Data collection and management measures and implementation of studies		Control and monitoring of lagoons, bays and wetlands	DE 8
	Data collection and management measures and implementation of studies		Installation of green filters and regulation of effluent discharged into lagoons and bays	IDE 6
	Data collection and management measures and implementation of studies		Natural habitat compensation measures	ID GC 2
Ebro Delta in general	Management, planning and regulatory measures		Creation of a body for the observation and monitoring of the effects of climate change in the Ebro Delta	GPN 1
			Production of a Master Plan of measures for adapting to and preventing climate change in the Ebro Delta	GPN 2
			Adaptation of public maritime-terrestrial property (DPMT) to forecasts for the risk of a rise in sea level	GPN 3
			Adaptation of territorial and sector plans to the potential effects of climate change in the Ebro Delta	GPN 4
			Adaptation of urban planning for the zones at risk due to climate change as established for the Ebro Delta	GPN 5
			Adaptation and refinement of the limits of the protected figures in the Ebro Delta	GPN 6
			Incorporation of construction and technical assessment criteria that consider the potential effects resulting from climate change	GPN 7
			Sanitary control: establishment of sanitary control and prevention systems to fight the possible appearance of clinical patterns and illnesses linked to climate change	GPN 8.1
			Sanitary control: establishment of control and prevention systems in order to anticipate possible plagues and illnesses affecting agricultural and fish and seafood farming	GPN 8.2
			Establishment of environmental quality control systems	GPN 9

Priority		Evaluation			
2050	2100	Efficiency of the measure	Difficulty	Economic cost	Additional environmental impacts
High	High	High	High	High	Unknown
High	High				
High	High	High	Low	Low	None
High	High	High	Low	Low	None
High	High	High	Medium	Medium-Unknown (2)	Unknown
Medium		High	High	High	Altos
High		High	High	High	Medium-High
High	High	High	Medium-High	High	Unknown
High	High	High	High	High	Unknown
Low	Medium	High	Medium	Medium	Positive
High (2)		High	High	Medium	Low-Medios
Medium	Medium	High	Low	Low	None
	Complementary	Unknown	Low-Medium	Medium	Positive
Medium	Medium	High	Medium	Medium	Positive
High		High	Low-Medium	Low-Medium	None
High		High	Low	Low	None
High	High	High	Low	Low	None-Positive
High	High	High	Low-Medium	Low	None-Positive
High	High	High	Low-Medium	Low	None-Positive
High	High	High	Low-Medium	Low	None-Positive
High	High	High	Low-Medium	Low	None
High	High	High	Medium	Medium	None
High	High	High	Medium	Medium	None
Complementary	Complementary	Medium	Low	Medium	None

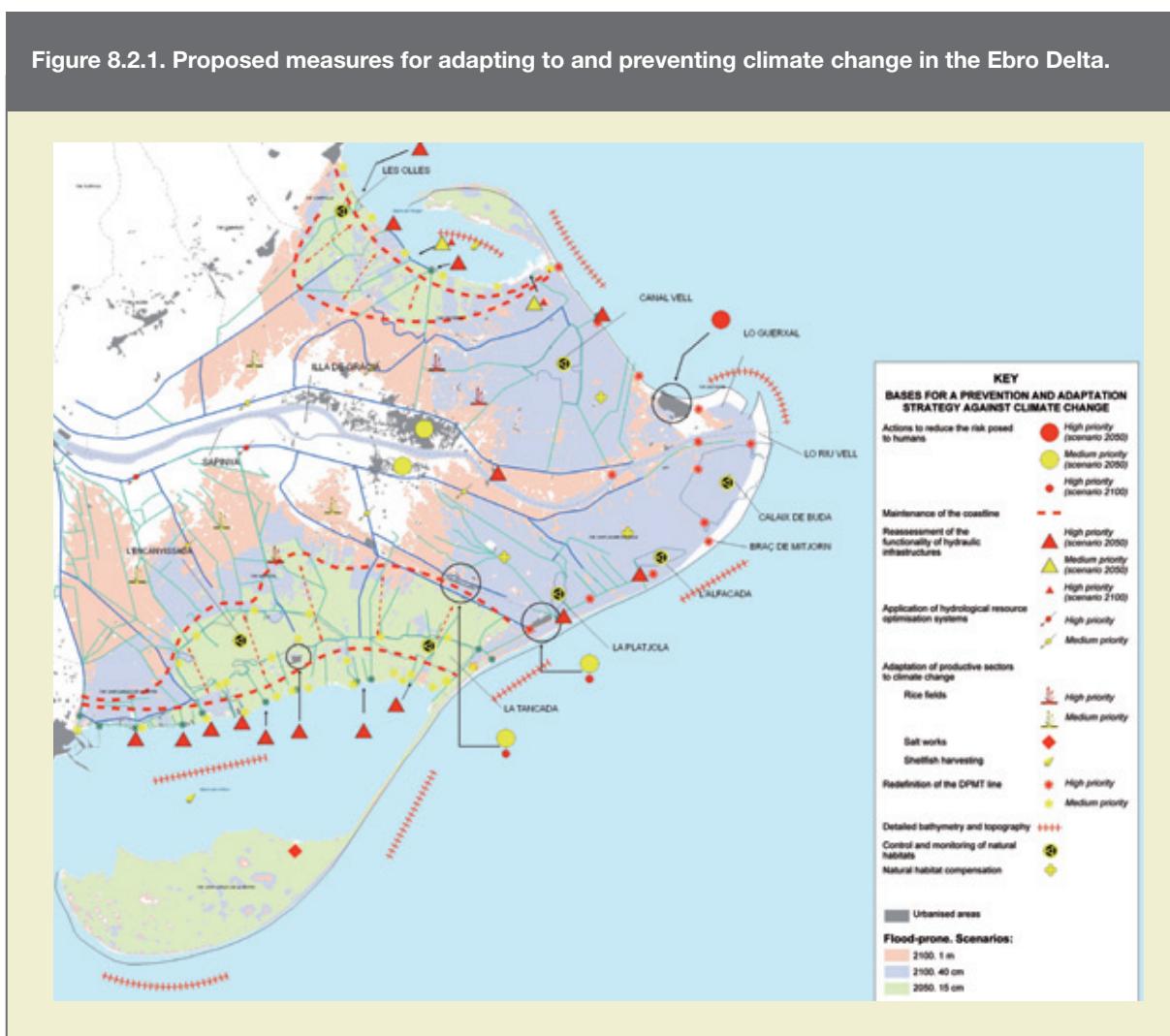
Zone	Lines of action	Alternatives	Measures	Code
	Specific measures			
Ebro Delta in general	Data collection and management measures and implementation of studies		Creation and maintenance of an integrated and centralised database for managing the Ebro Delta coastline	DE 1
			Production of detailed bathymetry and cartography for the Ebro Delta	DE 2
			Detailed monitoring of subsidence of the delta plain	DE 3
			Monitoring of the status and position of the salt wedge	DE 4
			Development of scientific and technical programmes applied to prognoses	DE 5
			Monitoring of populations of protected, endemic, rare or vulnerable species present in the Ebro Delta	DE 6
			Conservation of genetic heritage in the Ebro Delta	DE 7
			Monitoring of the level of effects of climate change on the expectations of the different production sectors	DE 9
			Studies on the use of varieties of rice with lower water requirements	DE 10
			Application of systems for optimising water resources	DE 11
			Control of populations of parasites and other potential vectors for illnesses and plagues that may appear as a consequence of the change in climate variables	DE 12
			Control and monitoring of the prognoses made	DE 13
			Reassessment of the functionality of coastal infrastructure	DE 14
	Public information and awareness-raising measures		Assessment of sand reservoirs	DE 15
			Development of public information and awareness-raising programmes	IS 1
			Development of warning systems focusing on the population	IS 2
	Direct intervention measures: action on existing environmental problems and impacts		Lines of measures to resolve the problem of the lack of vertical accretion in the delta plain: using sediments from the reservoirs	IDE 1
			Lines of measures to resolve the problem of the lack of vertical accretion in the delta plain: increasing the amount of wetland areas so that they generate organic sediments and encourage the production of peat	IDE 2
			Lines of measures to resolve the problem of the lack of vertical accretion in the delta plain: making use of the silt at the bottom of the bays to refill the lowest areas of the delta plain	IDE 3
			Lines of measures to resolve the problem of the salt wedge	IDE 4
			Measures to minimise the hardening of the coast	IDE 5
	Direct intervention measures: measures for adapting to the potential effects of climate change		Measures aimed at maintaining a minimum flow in the Ebro River	ID GC 6
			Guaranteeing the free movement of sand	

Priority		Evaluation			
2050	2100	Efficiency of the measure	Difficulty	Economic cost	Additional environmental impacts
High	High	High	Low-Medium	Low	None
High	High	High	Low-Medium	Low	None
Medium	Medium	High	Medium	Medium	None
Medium	Medium	High	Medium	Medium	None
High	High	High	Medium	Medium	None
Medium	Medium	High	Medium	Medium	None
Complementary	Complementary	Medium	Medium	Medium	Positive
High	High	High	Medium	Medium	None
High		High	Medium	Medium	None
High	High	High	Medium	Medium	None
High	High	High	Medium	Medium	None
High	High	High	Low	Low	None
High	High	High	High	High	Unknown
High	High	High	Low	Low	None
High	High	High	Medium	Medium	None
High		High	Low	Low	None
Complementary	Complementary	Medium	High	High	Medium-High
Complementary	Complementary	Medium	Medium	Medium-High	Positive
Complementary	Complementary	Medium	High	High	Medium-High
Complementary	Complementary	Medium	Medium	Medium	Unknown
High		Depends on the measure			
Medium	Medium	Medium-High	High	High	Positive
High	High	High	Low	Low	Positive

Notes:

- (1) This type of general action refers to the physical maintenance of the coastline.
- (2) The possible purchase of terrain should also be considered in the economic cost.
- (3) Although it is a general measure, it is considered relevant to note specific monitoring in this point.
- (4) The effectiveness of this measure depends on the position at which the dune system may be located. This is linked to the relocation of public maritime-terrestrial domain (DPMT).
- (5) There are potentially interesting habitats and systems that may disappear as a consequence of the effects of climate change. In any case, the measure of compensation is not a priority, given that the evolution of the delta must be studied globally as a system.
- (6) In the zone of La Platjola and Els Eucaliptus the problem does not come from the coastline. As a result, these zones may indirectly benefit from the measures applied in the bay zones.

The figure below shows the most significant of the series of measures listed above:



La llanura deltaica del río Ebro se considera una de las áreas más vulnerables de Cataluña y del Mediterráneo con respecto al calentamiento global, por su situación costera, sus características geomorfológicas y sus elevados valores ambientales, sociales y económicos.

El estudio consiste en una caracterización del territorio y tiene en cuenta la vulnerabilidad de El Delta en relación con el cambio climático con respecto al medio físico, natural y húmedo. Como hipótesis de trabajo, se diferencian tres escenarios: en el horizonte temporal 2050, con un ascenso del nivel medio del mar de 15 centímetros; en el horizonte temporal 2100, con un aumento del nivel del mar de 40 centímetros, y en el horizonte 2100, el escenario pesimista, con un aumento de 1 metro.

Se pronostica para cada escenario un retroceso de la línea costera exterior, la inundación de terrenos adyacentes a la costa de las bahías de El Fangar y Els Alfacs y el aumento de la presencia y permanencia de la cuña salina. Se evalúan los posibles riesgos ambientales, sociales y económicos de los mismos.

Finalmente, se propone un amplio abanico de medidas de adaptación y prevención al cambio climático aplicables en esta zona deltaica.

The deltaic plain of the Ebro River is known as one of the most vulnerable areas in Catalonia and the Mediterranean Sea with regard to global warming for its coastal location, geomorphological features and environmental, social and economic high values.

The study is based on the characterization of the territory and takes into account the vulnerability of El Delta towards climate change with regard to the physical, natural and humid environment. As a working hypothesis, three scenarios are distinguished: in 2050, with a sea level rise average of 15 centimeters; in 2100, with a sea level increase of 40 centimeters, and a pessimistic scenario with an increase of 1 meter in 2100.

It is predicted the retreat of the external coastline, the flooding of adjacent land to the coast of Fangar and Els Alfacs Bays and an increase of the presence and permanence of the salt water wedge for each scenario. Its environmental, social and economic risks are evaluated.

Finally, it is proposed a wide range of prevention and adaptation measures to climate change applicable to this deltaic area.