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

- ENGINYERIA TÈCNICA D'OBRES PÚBLIQUES -

ESTRATÈGIES D'ADAPTACIÓ AL CANVI CLIMÀTIC A LES COSTES DEL DELTA DE L'EBRE

- treball final de carrera -

Treball realitzat per: **Núria Simon Mangrané**

Dirigit per: **César Mösso i Joan Pau Sierra**

Tutor extern: **Luis Cupul**

Convocatòria: **Juny 2013**

Resum

Aquest projecte es basa en la recerca d'informació sobre el canvi climàtic i els seus efectes en la costa catalana i focalitzant-ho en el Delta de l'Ebre. Aquí s'enumeren els possibles efectes lligats a l'efecte hivernacle, com previndre i adaptar-se als seus possibles impactes i, en els casos que no sigui possible, minimitzar les emissions de CO_2 a l'atmosfera.

Els antecedents en aspectes de mitigació i adaptació també prenen palesa en aquest dossier. Es deixa clar que les mesures per a mitigar el canvi climàtic són de caràcter general, afecten a la societat i es demana la col·laboració de tothom, mentre que les mesures d'adaptació, queden en mans d'òrgans de govern. Aquestes segones estan en general, relacionades amb la construcció de diferents tipus d'infraestructures. És conclou l'apartat en que arribar a la societat perquè prengui part en mesures de reducció d'emissions de GEH presenta moltes més dificultats que no pas utilitzar mesures d'adaptació, en que l'última paraula queda en boca de pocs.

Es descriu el medi físic sotmès a l'estudi i es constaten petites actuacions que s'han dut a terme a la zona del delta en termes d'adaptació i mitigació, s'acompanya de fotografies de l'estat actual.

També s'hi pot trobar la metodologia de treball utilitzada, els resultats obtinguts per experts i un seguit de propostes personals en termes d'adaptació i mitigació en front el canvi climàtic i els seus efectes.

Índex

1. Introducció 9
2. Canvi climàtic i els seus impactes 12
2.1. Impactes físics del canvi climàtic en les zones costaneres 12
2.1.1. Impactes comuns 12
2.1.1.1. La SLR pot contribuir a un augment de les taxes d'erosió 12
2.1.1.2. Desplaçament cap a l'interior de l'hàbitat natural amb la SLR serà impedit on hi hagi rigidització. 13
2.1.1.3. Possibles impactes secundaris 13
2.1.1.4. La SLR augmentarà les pobrabilitats d'afectació per les inundacions. 13
2.1.2. Impactes singulars 13
2.1.2.1. Afectació a les platges: erosió i canvi en la direcció del transport de sediments. 13
2.1.2.2. Afectació a les llacunes: augment de la salinitat amb una major connexió amb el mar. 14
2.1.2.3. Alteració de la qualitat de l'aigua costanera en marjals i llacunes entre altres. 15
2.1.2.4. Afectació en marjals i prades marines: la transició dels espais d'aigua dolça a aigua salada. 16
2.1.2.5. L'actual disminució de les prades marines agreujada amb el canvi climàtic. 16
2.1.2.6. Una ràpida SLR pot ofegar el marge cap al mar dels marjals. 16
2.1.2.7. La reducció dels marjals costaners. 17
2.2. Impactes socioeconòmics del canvi climàtic 17
2.2.1. Pèrdues econòmiques en el sector turístic. 17
2.2.2. Malbaratament de l'aigua. Increment de consum: l'altra cara del turisme. 17
2.2.3. Impactes deguts a la demanda energètica de la pròpia població. 18
2.2.4. Impactes sobre la salut humana. 18
2.2.5. Impactes sobre el paisatge, la vegetació i els cultius. 19
2.2.6. Impactes sobre les infraestructures portuàries. 19
3. Estat de l'art 21
3.1. Mitigació 22
3.1.1. Agricultura 23
3.1.2. Boscos 23
3.1.3. Energia 24
3.1.4. Indústria manufacturera 24
3.1.5. Transports 24

3.1.6. Ciutats i edificis 24
3.1.7. Residus 25
3.2. Adaptació 25
3.2.1. Defenses toves (*soft defenses*) 26
3.2.1.1. Alimentació i regeneració de platges 26
3.2.1.2. Creació, rehabilitació i manteniment de dunes 27
3.2.1.3. Guanyar territori al mar 29
3.2.1.4. Mètodes a proba d'inundacions 30
3.2.1.5. Mètodes de restauració de zones humides 31
3.2.2. Defenses dures (*hard defenses*) 32
3.2.2.1. Murs i pantalles 32
3.2.2.2. Dics exempts 34
3.2.2.3. Espigons 35
4. Descripció de la zona d'estudi 36
4.1. Zones naturals 36
4.1.1. El riu 36
4.1.2. Els arrossars 37
4.1.3. Les llacunes 38
4.1.4. Les salines 38
4.1.5. Els marjals 39
4.1.6. Les dunes 39
4.1.7. Les badies 39
4.1.8. Els ullals 40
4.2. Zones portuàries 41
4.2.1. Port de l'Ampolla 41
4.2.2. Port de l'Illa de Mar 42
4.2.3. Port de Deltebre 43
4.2.4. Port de Sant Carles de la Ràpita 44
4.3. Casos concrets d'actuacions a la zona del Delta de l'Ebre 45
5. Marc conceptual 57
5.1. Marc conceptual general 57
5.2. Marc conceptual del treball 59
6. Resultats 60
6.1. WQ 60
6.2. Retrocés línia de platja 61
6.3. Falca salina 64
7. Proposta de mesures de mitigació i/o adaptació 66
8. Conclusions i treball futur 72
Agraïments 74
Referències 75

Llistat de figures

Figura 1.1 Mapa de perillositat d'erosió i inundació al litoral català amb indicació dels trams de costa en acreció (fletxes blaves) i els metres cúbics de material destinats a la regeneració artificial de platges (Guillén, 2008)

Figura 2.1 Esquema del cicle d'acidificació de l'aigua.

Figura 2.2 Esquema de l'afectació de la pujada del nivell del mar en els criteris de disseny d'un dic.

Figura 3.1 Escenaris d'emissions de GEH entre 2000 i 2100 en absència de polítiques climàtiques addicionals (IPCC, 2007).

Figura 3.2 Esquema del transport longitudinal de sediments i la forma que va prenent gradualment l'ample de platja degut a l'angle d'aproximació de les onades (Linham i Nicholls, 2010).

Figura 3.3 Esquema simplificat de l'erosió de les dunes a partir de marees meteorològiques. Adaptació de French (2001).

Figura 3.4 Principals mètodes per guanyar territori al mar (Linham i Nicholls, 2010).

Figura 3.5 Esquemes dels possibles efectes secundaris del procés de rigidització de la costa: efecte espigó i difracció.

Figura 3.6 Esquema d'un dels possibles efectes secundaris del procés de rigidització de la costa: afectació lateral (*flanking*).

Figura 4.1 Imatge de satèl·lit del Port de l'Ampolla (Google Maps, desembre 2012).

Figura 4.2 Imatge de satèl·lit del Port d'Illa de Mar (Google Maps, desembre 2012).

Figura 4.3 Bocana del Port d'Illa de Mar (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 4.4 Aiguamolls del Port d'Illa del Mar (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 4.5 Imatge de satèl·lit del Port de Deltebre (Google Maps, desembre 2012).

Figura 4.6 Bocana i embarcacions esportives del port fluvial des de diferents punts de vista (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 4.7 Imatge de satèl·lit del Port dels Alfacs (Google Maps, desembre 2012).

Figura 4.8 Platja de les Delícies. Al fons de la fotografia hi ha la fàbrica del ciment (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.9 Platja de l'Aiguassera (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.10 Platja de la Senieta (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.11 Platja del Far (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.12 Platja Miami (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.13 Actuacions en propietats privades (restaurant Juanito), (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.14 Platja del Trabucador, lateral a mar obert. Al fons, urbanització i platja dels Eucaliptus (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.15 Marjals protegits. Al fons, la Badia dels Alfacs, la Serralada del Montsià i els Ports de Caro (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.16 Duna artificial amb halòfiles replantades. Platja de la Punta de la Banya (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.17 Platja del Fangar (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.18 Platja de Riumar (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.19 Platja de la Marquesa. (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.20 Punta del Fangar (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.21 Platja de les Avellanes (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 4.22 Platja de l'Arquitecte (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 4.23 Platja dels Capellans (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 4.24 Platja de l'Arenal. (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 4.25 Llacuna de l'Alfacada (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 4.26 Platja dels Eucaliptus (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 4.27 Zona de la platja dels Eucaliptus (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 5.1 Projeccions de l'escalfament global en superfície obtingudes d'un model de circulació general atmosfera-oceà (IPCC, 2007).

Figura 7.1 Sèquia sobre terra pertanyent al terme municipal de Deltebre (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 7.2 Sèquia de formigó pertanyent al terme municipal de Sant Jaume d'Enveja (Anadon i Simon, juliol 2011).

Figura 7.3 Riu Ebre a l'alçada de la ciutat de Tortosa (Simon, setembre 2012).

Llistat d'equacions

Equació 2.1 Mètode per a calcular els criteris de disseny d'un dic en funció de l'*overtopping*.

Equació 3.1 Mètode de Vellinga per a calcular el volum de l'erosió (1983).

Llistat de taules

Taula 2.1 Efectes del pH sobre els peixos i altres tipus de vida aquàtica.

Taula 2.2 Dades meteorològiques enregistrades durant l'any 2012 per l'Observatori de l'Ebre.

Taula 6.1 Retrocés mitjà de la línia de la costa per transport longitudinal de sediment (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2008a).

Taula 6.2 Retrocés mitjà de la línia de la costa per augment del nivell del mar (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2008a).

Taula 6.3 Retrocés mitjà de la línia de la costa per augment del nivell del mar (a partir de les projeccions del IPCC (2007).

Taula 6.4 Retrocés mitjà de la línia de la costa per augment del nivell del mar a partir de les projeccions de Rahmstorf (2007) i Pfeffer et al. (2008).

Taula 6.5 Cotes altimètriques màximes actuals (ICC, 2013). Aquestes dades són únicament del paratge natural, no inclou camins ni edificacions.

Taula 6.6 Avaluació dels resultats de la pujada del nivell del mar.

Glossari

CO_2	Diòxid de carboni.
CH_4	Metà.
DPMT	Domini Públic MaritimoTerrestre.
DPTOP	Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya.
GEH	Gasos d'efecte hivernacle.
HFCs	Hidrofluorocarburs.
IEEE	Informe Especial d'Escenaris d'Emissions del IPCC.
IPCC	Grup intergovernamental d'experts sobre el canvi climàtic, sigles de l'anglès *Intergovernmental Panel on Climate Change.*
MCGAO	Models de circulació general acoblats atmosfera/oceà/gel marí, proporcionen una de les més completes representacions del sistema climàticátic actualment disponibles. Els models climàtics s'utilitzen com a eina d'investigació per a estudiar i simular el clima.
N2	Òxid nitrós.
NF_3	Trifluorur de nitrogen.
OD	Oxigen dissolt.
PDUSC	Pla Director Urbanístic del Sistema Costaner, aprovat pel Govern de la Generalitat de Catalunya al maig del 2005, un pla que intenta ser instrument que ajudi a ordenar el sistema costaner de Catalunya des dels principis que inspiren el desenvolupament urbanístic sostenible i la defensa de l'interès general, únic legitimador del canvi de l'ús del sòl.
PEIN	Pla d'Espais d'Interès Natural, aprovat pel Govern de la Generalitat de Catalunya pel Decret 328/1992 i reeditat al 1996, té per objecte la delimitació i l'establiment de les mesures necessàries per a la protecció bàsica dels espais naturals, la conservació dels quals cal assegurar. Té els seus orígens en la determinació legal que fa la Llei 12/1985, de 13 de juny, d'espais naturals, modificada posteriorment per la Llei 12/2006, de 27 de juliol, de mesures en matèria de medi ambient.
PFCs	Perfluorocarburs.
PNR	Plan Nacional de Regadíos.
RSLR	Pujada relativa del nivell del mar, sigles de l'anglès *Relative Sea Level Rise.*
SF_6	Hexafluorur de sofre.
SLR	Pujada del nivell del mar, sigles de l'anglès *Sea Level Rise.*
SST	Temperatura de la superfície del mar, sigles de l'anglès *Sea Surface Temperature*.
UNEP	Programa de las Nacions Unides per al Medi Ambient, sigles de l'anglès *United Nations Environment Program.*
WQ	Qualitat de l'aigua, sigles de l'anglès *Water Quality*.
T	Període de retorn.

θ	Angle d'incidència de les onades.
H	Alçada d'ona.

1. Introducció

El desenvolupament humà ha portat una destrucció directa i ràpids canvis en l'entorn natural reduint la capacitat d'adaptació dels deltes en front a la pujada del nivell del mar i altres impactes del canvi climàtic (Linham i Nicholls, 2010). Ara ha arribat el punt en que aquests ja s'evidencien. Però cal tenir en compte que a causa de les diferències locals i regionals de la pujada relativa del nivell del mar i l'augment de la temperatura, l'ocurrència i la resposta als efectes del canvi climàtic no serà uniforme a tot el món (Klein i Nicholls, 1998), és a dir, s'espera que hi hagin impactes diferents per a zones costaneres específiques, a causa de la influència dels factors locals.

Els intents de mitigació i adaptació sorgeixen arran del desig humà d'intervenir sobre el clima, que es posa de manifest a la Conferència de les Nacions Unides sobre el Medi Humà a Estocolm, l'any 1972. Des de llavors, la comunitat internacional encapçalada per les Nacions Unides i l'Organització Meteorològica Mundial ha encetat un llarg procés d'anàlisi i investigació. Al 1992, la Cimera de Río culmina en abordar aquest problema global, i no és fins al 1998 que s'impulsa a Espanya; potser per això el litoral espanyol es troba en tan avançat procés de degradació.

Un altre factor que potencia el canvi climàtic i els seus efectes és l'augment de la població i el desig de grans infraestructures. En molts casos ha perjudicat la zona costanera i s'inicia un procés per a contrarestar i/o actuar, ja que la interacció de la pujada del nivell del mar amb la pressió humana posen en declivi tot el litoral, potenciant els efectes negatius encara més, en un sistema tan important i dinàmic com un delta. La implicació de la població ha esdevingut a nivell mundial ja que s'estima que viuen uns 500 milions de persones en deltes a causa de la presència d'importants serveis ambientals (Syvitski et al., 2009).

Depenent de la zona, la mitigació i l'adaptació ja han esdevingut especialment importants per poder contrarestar i/o protegir-se de la pujada del nivell del mar (Nicholls et al., 2007a), sobretot en les zones baixes, però no és prioritza a tot arreu de la mateixa manera. Pel que fa a les mesures d'adaptació, són més tangibles a l'igual que els efectes contra els que s'oposa, fet que resulta més plaent per a contribuir-hi i facilita la col·laboració mundial. Les economies de tots els països del món volen protegir la seva costa d'inundacions catastròfiques i tenir-la a punt per gaudir-ne o simplement per protegir el que hi ha darrera, el *backshore*. D'altra banda, està clar que els intents de mitigació sorgeixen dels països desenvolupats que han estat emeten gasos d'efecte hivernacle en grans quantitats durant segles, que han estat explotant els recursos fòssils i movent l'economia mundial i ara, intenten que els països emergents aturin el seu creixement.

Centrant-se en processos mitigadors, ara per ara, s'intenten aplicar mesures relacionades amb la reducció de les emissions de CO_2 a nivell local. Un exemple de caràcter general seria l'aprovació de lleis que permeten controlar les emissions de GEH de grans empreses mitjançant inspeccions regulars, o de caràcter més personal, com ara la implantació de límits de velocitat per a vehicles a les entrades de les grans ciutats (p.e. Barcelona). Altres mesures han resultat molt impopulars, com és la construcció d'algun parc eòlic, on s'ha hagut de desforestar per poder gaudir d'energia neta (p.e. El Perelló). Casos com aquest esdevenen contradictoris als ulls de la població, ja que es

volen reduir les emissions de CO_2 mitjançant energies renovables però, per contra, s'eliminen zones de neutralització d'aquest.

Pel que fa al Delta de l'Ebre, la tala dels boscos dels Monegros va suposar una gran aportació puntual de sediments. En aquest moment el delta només es remodela mitjançant el transport longitudinal de sediments marins, ja que el riu pràcticament no aporta sediments sòlids, ja sigui perquè són d'un material inadequat com serien llims i argiles, o per la reducció dràstica del seu subministrament degut a la regulació del cabal del riu (embassaments, alteracions en els patrons de flux de les riuades, obres de control d'inundacions i canvis en les aigües superficials d'escorrentia). Segons cita l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, la construcció d'embassaments a la conca cap a mitjans del segle XX va suposar tant la regulació del cabal líquid com la pràctica interrupció del transport de cabal sòlid per part del riu Ebre. També s'estima que els embassaments suposen la retenció del 93,7% del sediment que el riu aportaria al delta (Varela et al. 1986). Per aquests motius es considera que el delta de l'Ebre ha passat d'estar modelat per la combinació de factors dinàmics riu-onatge a estar modelat únicament per l'onatge, un transport de sediments existents al llarg de la riba i així es determina l'existència de zones erosives i zones d'acumulació. Tot i això, aquest procés no està directament lligat al canvi climàtic, però pot agreujar els seus efectes (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2008b). El cúmul de tots aquests factors posen la zona del delta en un elevat risc d'erosió, immersió permanent i inundacions freqüents (Linham i Nicholls, 2010), tal com es pot veure a la Figura 1.1.

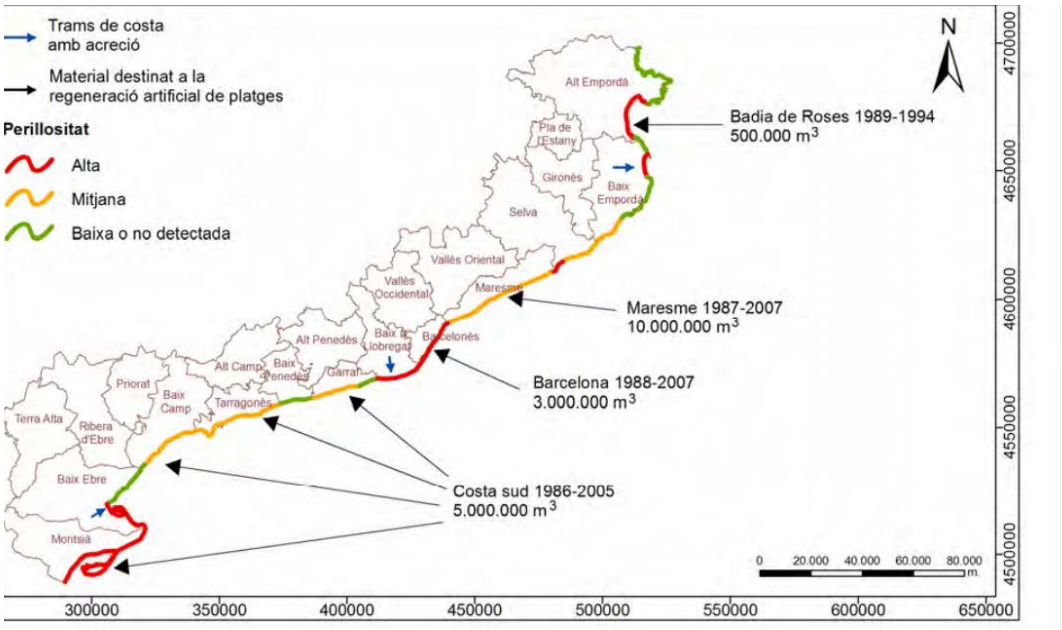

Figura 1.1. Mapa de perillositat d'erosió i inundació al litoral català amb indicació dels trams de costa en acreció (fletxes blaves) i els metres cúbics de material destinats a la regeneració artificial de platges (Guillén, 2008)

Aquest projecte busca recollir informació sobre les mesures que ajudin a pal·liar, mitigar i adaptar l'entorn del Delta de l'Ebre, zona amb més quilòmetres de perillositat alta respecte a la resta de Catalunya, als possibles efectes que esdevindran amb el canvi climàtic, ja que s'espera que les conseqüències siguin aclaparadorament negatives i greus en deltes i illes petites (Nicholls et al., 2007a). És a dir, fer un seguit de propostes per a salvaguardar les zones costaneres que cada vegada es veuran més exposades a

greus processos d'erosió degut a climes extrems, a la pujada del nivell del mar, més incidència d'ones a la riba i marees meteorològiques. S'avaluarà l'estat en que es troba el litoral deltaic mitjançantçant estudi in-situ, acotat en el seu abast, degut a les limitacions existents com a conseqüència de la complexitat del problema. Per últim s'intentarà enumerar les mesures d'adaptació i mitigació ja existents amb els seus avantatges i els seus inconvenients i s'interpretaran a la zona a estudiar de la manera que causin el menor impacte possible.

2. Canvi climàtic i els seus impactes

La costa on interacciona el riu, la terra, el mar i l'atmosfera ha esdevingut un ecosistema fràgil i vulnerable. En general, la costa catalana es troba en un procés de degradació; un dels motius podria ésser l'alta densitat de població respecte al territori interior de la península, i en qualsevol moment es pot veure agreujat per l'estacionalitat del clima o pel canvi climàtic accelerat (Mösso et al., 2009).

Les zones costaneres estant essent un dels sistemes de més gran explotació del país. S'ha sobrepassat el límit i han estat atapeïdes de grans infraestructures. Amb el canvi climàtic i els seus efectes aquestes poden esdevindre obsoletes (Mösso et al., 2011) ja sigui pel canvi de direcció de l'onatge amb bocanes que quedarien desprotegides o per un increment en l'alçada d'ona que rebassaria dics i murs de protecció, i per això s'ha d'actuar intentant mitigar els seus impactes i, en el cas de no ser possible, adaptar l'ús a les possibilitats. Evidentment les principals zones que es veuran afectades seran les zones baixes, com els deltes (Sánchez-Arcilla et al., 2008).

Aquest canvi com a conseqüència de les emissions de CO_2 a l'atmosfera és observable a les zones costaneres, on la temperatura superficial del mar està augmentant a nivell mundial a causa de l'absorció d'energia tèrmica addicional en la superfície de la Terra.

Mentrestant la mitjana global del nivell del mar va en augment. Això es degut a dos factors (Linham i Nicholls, 2010):

i) L'expansió tèrmica de l'aigua de mar provocada per l'augment de la SST.
ii) Les entrades d'aigua en els oceans degut a la fusió del gel terrestre. No obstant això, la tendència espacial és altament no uniforme a causa de les variacions regionals oceàniques com l'escalfament no uniforme. Per tant, algunes regions experimentaran SLR per sobre del nivell mig d'augment, i viceversa.

La mitjana global del nivell del mar és important, però més ho és el nivell del mar local o relatiu, que esdevé el factor dominant en determinar impactes a la costa.

2.1. IMPACTES FÍSICS DEL CANVI CLIMÀTIC EN LES ZONES COSTANERES

Alguns dels impactes actuaran sobre tots els estils de costa de la mateixa manera; d'altres però, s'hauran d'estudiar particularitzant en cadascun d'ells, ja que poden arribar a repercutir de maneres diverses, ja sigui pel perfil de costa, pendent suau o pendent pronunciat, pel material que el conforma: costa rocosa, sorrenca, argilosa… entre altres.

2.1.1. Impactes comuns

2.1.1.1. La SLR pot contribuir a un augment de les taxes d'erosió del litoral

L'erosió esdevé del moviment físic dels sediments de la riba degut a les onades i a l'acció dels corrents. La SLR té la capacitat d'agreujar l'erosió facilitant el transport de sediments cap al mar.

El canvi climàtic pot produir un increment en l'alçada d'ona i en la intensitat de les tempestes, ocasionant major transport de sediments i incrementant localment la SLR (degut al *set-up* de l'onatge i les marees meteorològiques). Aquesta SLR també és un dels dos factors principals de la intrusió d'aigua salada a les aigües superficials i als aqüífers costaners, conegut amb el nom de falca salina en el cas de rius.

2.1.1.2. Desplaçament cap a l'interior de l'hàbitat natural amb la SLR serà impedit on hi hagi rigidització de la costa

Aquest fenomen es coneix amb el terme "compressió del litoral". És la conseqüència generalitzada del retrocés de la línia de costa que afecta a les zones situades entre pujades del nivell del mar i defenses rígides.

A mesura que puja el nivell del mar, els hàbitats costaners s'espera que es desplacin cap a l'interior per tal de seguir el ritme del canvi. No obstant això, en presència de murs, pantalles o revestiments, aquests hàbitats són incapaços de desplaçar-se cap a terra i és llavors quan són comprimits entre el mar i la immòbil infraestructura de defensa, amb el dràstic resultat de reduccions significatives d'àrees davant d'aquestes defenses, com ara aiguamolls i altres hàbitats que es troben típicament en la zona intermareal. Així és bloqueja el desplaçament dels hàbitats costaners, és a dir, es redueix la superfície disponible de vegetació (Linham i Nicholls, 2010)

2.1.1.3. Possibles impactes secundaris

Els impactes en certes zones poden arribar a tindre repercussions negatives sobre altres parts del sistema costaner, causant erosió o inundació. Un exemple serien, les illes barrera formades per sorra, que s'ha observat que redueixen l'alçada d'ona dins de les badies. L'erosió i moviment de les illes barrera pot donar lloc a l'augment d'altura de les ones en les badies contigües. Això porta a un augment de les taxes d'erosió del litoral de la badia (Linham i Nicholls, 2010).

2.1.1.4. La SLR augmentarà les probabilitats d'afectació per les inundacions

Amb l'augment de la SLR també augmenta la probabilitat d'inundacions a les zones costaneres afectant a les infraestructures de protecció existents (Nicholls et al., 2007a) tret de que hi hagin les mesures de protecció ideals per a salvar cada cas, és a dir, on no s'hi comptava s'haurà de projectar i on ja eren existents, actualitzar-les i adaptar-les per al canvi.

L'augment del risc d'inundació està relacionat amb majors índex de pluges de grans tempestes que poden arribar a causar un dany major, afectant al subministrament d'aigua potable i esdevenint un greu risc per a la població.

2.1.2. Impactes singulars

Els impactes singulars són aquells que esdevenen sota unes condicions concretes, depenent de les característiques de cada zona, ja sigui una platja, un marjal, una llacuna, entre altres.

2.1.2.1. Afectació a les platges: erosió i canvi en la direcció del transport de sediments

El moviment i canvi de posició de la línia de costa és una de les conseqüències observable de la variabilitat del nivell del mar i de les tempestes d'onatge. Els

sediments són transportats pel riu i un cop entren en contacte amb el mar, van perdent força i l'onatge marí s'encarrega de dipositar-los i redistribuir-los al llarg del litoral formant la platja. Es tracta de la interfase entre la terra i el mar.

La posició d'aquesta línia de costa, migra de manera natural i segueix un règim estacional. L'erosió principalment es produeix en temporades on són molt freqüents les tempestes d'onatge que generen importants règims d'erosió i un augment del nivell del mar. El grau de reducció de la superfície de platja que es produeix dins d'una fase d'erosió en particular pot ser molt variable, i està relacionat amb la magnitud i la freqüència de les tempestes costaneres (Mösso et al., 2011).

Hi han estudis que raonen que encara que la freqüència i la intensitat de les tempestes no variïn a causa de l'escalfament global, el període de retorn dels nivells d'aigua extrema induïda per les marees meteorològiques a la costa, es reduiran a causa de la pujada relativa del nivell del mar (Sánchez-Arcilla et al. 2008).

En el cas de complir les expectatives d'una major freqüència d'inundacions costaneres en les àrees més baixes, amb una mitjana d'alçada d'ona incident, que s'entén que pot ser més elevada, es traduiria en forts corrents, que finalment conduirien a un major transport de sediments amb elevades taxes d'erosió (Mösso et al., 2011).

Al Delta de l'Ebre s'hi troben extenses platges sorrenques, on s'ha originat el paisatge dunar més extens de Catalunya. Les dunes depenen de la seva proximitat al mar i de la influència dels vents, que transporten els sediments de les platges terra endins formant petits promontoris de sorra. Aquest efecte i aquest dinamisme ja es veuria afectat pel simple augment en freqüència de tempestes moderades. Aquestes contribuirien a l'erosió costanera, ja que un sistema ha de disposar d'un temps de recuperació i seria insuficient entre tempestes successives, amb la conseqüent pèrdua de territori. Això també constitueix una amenaça per a la infraestructura costanera (Mösso et al., 2011).

2.1.2.2. Afectació a les llacunes: augment de la salinitat amb una major connexió amb el mar

Les llacunes del Delta de l'Ebre són basses litorals que connecten directament amb el mar i estan envoltades pels arrossars. A l'ésser delimitades pel medi marí i pel medi aquàtic continental són de naturalesa salobre i, durant el cicle productiu de l'arròs, reben grans aportacions d'aigua dolça, la qual cosa provoca oscil·lacions en el nivell de salinitat.

La SLR, com s'ha comentat anteriorment, provocarà el desplaçament cap a l'interior dels hàbitats costaners i la submersió de terres baixes. També conduirà a majors nivells d'aigua augmentant el grau de salinitat. Tot el sistema existent, vegetació i comunitats animals es desplaçaran cap a l'interior. Si aquest procés no és impedit, i si la taxa de canvi és de menor velocitat que la cerca dels sistemes naturals al seu nou equilibri, aquestes comunitats continuaran existint a mesura que augmenti el nivell del mar (Linham i Nicholls, 2010).

La velocitat de moviment de la línia de costa en relació a la SLR, i el grau de submersió permanent de les terres costaneres, dependrà tant de la magnitud de la SLR com del pendent del terreny costaner. Els vessants menys profunds, característica pròpia de les llacunes, provocaran una major recessió de la línia de costa. Un mínim

augment de la SLR pot causar un moviment terra endins de la costa molt significatiu i podrien arribar a desaparèixer les llacunes i convertir-se en petites badies.

2.1.2.3. Alteració de la qualitat de l'aigua costanera en marjals i llacunes entre altres.

Les floracions d'algues nocives podrien ser incrementades per l'augment de les temperatures de l'aigua i de les concentracions de diòxid de carboni dissolt també causats pel canvi climàtic. Els canvis en el volum d'entrada d'aigua dolça també afectaran la qualitat de l'aigua.

En particular, les tempestes mediterrànies podrien arribar a ser més intenses però menys freqüents degut a l'augment previst en la intensitat dels ciclons tropicals. Les tempestes costaneres també podrien alterar altres processos en els sistemes estuarians, incloent el moviment de sediments al fons del mar, l'entrada de material orgànic important en el creixement de plantes i animals, oscil·lacions en les quantitats de plàncton i les poblacions pesqueres, i variació dels nivells de salinitat i d'oxigen.

Bona part del CO_2 d'origen antropogènic està essent absorbit pels mars i oceans. Quan el CO_2 entra en contacte amb l'aigua de mar es produeix un àcid, conegut com a àcid carbònic, és inestable i condueix a un augment dels ions d'hidrogen. Aquests ions augmenten l'acidesa de l'oceà, que s'observa amb la disminució del pH, i redueixen la concentració d'ions carbonats, que són els maons que utilitzen els organismes calcificadors com els coralls, els musclos, les algues coccolitoforals o els pteròpodes per construir el seu esquelet o estructura. A la Taula 2.1 es pot observar les repercussions que té en el medi marí l'acidificació de les aigües.

pH	Efectes
< 4	Punt límit, mort per acidesa
4 – 5	Sense reproducció *
4 – 6,5	Decadència de moltes espècies
6,5 - 9	Rang òptim
9 - 11	Lent creixement de les espècies i efectes secundaris en la seu cicle reproductiu
> 11	Punt límit, mort per alcalinitat

*Algunes espècies de peixos toleren bé cert nivell baix de pH.

Taula 2.1. Efectes del pH sobre els peixos i altres tipus de vida aquàtica.

A la Figura 2.1 hi ha representat el procés d'acidificació de mars i oceans. Les fonts naturals d'emissió d'aquests compostos contaminants estan distribuïdes per tot el planeta i contribueixen en diferent grau atenent a les característiques de cada lloc. Les erupcions volcàniques, incendis naturals i diferents processos microbians contribueixen a l'aportació de diòxid de sofre i òxids de nitrogen a l'atmosfera. Pel que fa a les fonts antropogèniques, les més importants són les emissions de diòxid de sofre i òxids de nitrogen que provenen de la utilització de combustibles fòssils en gran quantitat d'activitats industrials i en el transport.

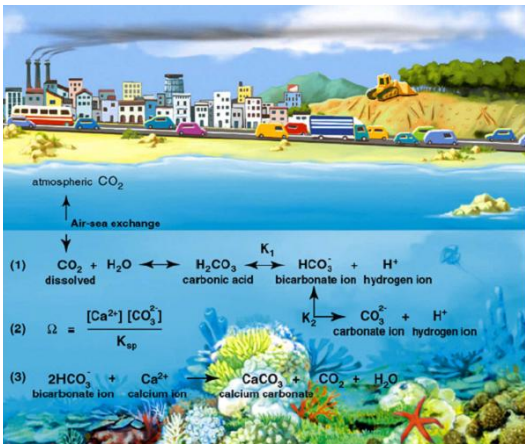

Figura 2.1. Esquema del cicle d'acidificació de l'aigua (Font: http://cambioclimaticoenergia.blogspot.com.es/)

2.1.2.4. Afectació en marjals i prades marines: la transició dels espais d'aigua dolça a aigua salada

Els marjals són terrenys planers que gaudeixen d'una vegetació que tolera la sal, joncs i canyes entre altres. Es troben en un medi d'aigües someres i en ocasions es veuen inundats per les marees, mentre que les prades marines, són floracions i plantes inundades de manera permanent o freqüent sota aigües marines. Tant els marjals com les prades marines exerceixen importants funcions costaneres, incloent-hi la retenció de sediments, l'estabilització del llit marí enfront de l'erosió, l'atenuació de l'energia de les ones i a més, constitueixen l'hàbitat de molts peixos, aus i insectes. S'ha de dir que són extremadament sensibles al canvi climàtic i als seus efectes indirectes, ja que la seva ubicació està estretament vinculada al nivell del mar (Nicholls et al., 2007a).

La SLR augmentarà la proporció de temps que les maresmes salines es submergeixen durant el cicle de les marees. El canvi climàtic també pot causar canvis en nombre i severitat d'esdeveniments extrems que tenen lloc a la costa. Aquests efectes es faran sentir més severament pels marjals situats a les zones de transició d'aigua dolça i salada.

2.1.2.5. L'actual disminució de les prades marines agreujada amb el canvi climàtic

En l'actualitat, les pastures marines semblen estar disminuint al voltant de moltes costes a causa dels impactes humans. Aquest descens s'accelerarà si el canvi climàtic altera les condicions ambientals com la salinitat, la temperatura, el nivell del mar, el diòxid de carboni atmosfèric, l'activitat de tempestes i la intensitat de la llum ultraviolada en les aigües costaneres.

2.1.2.6. Una ràpida SLR pot ofegar el marge cap al mar dels marjals

Si el subministrament de sediments és suficient, els marjals serien capaços de mantenir el ritme de la SLR. No obstant això, si la disponibilitat de sediment és insuficient la SLR supera la seva acumulació. La resposta depèn en gran mesura del balanç de sediments. El llindar en què passa això varia àmpliament, i depèn en gran mesura els canvis deguts a l'erosió i a la sedimentació. Hàbitats intermareals en àrees amb gran amplitud de les marees i amb mínima entrada de sediments estan sotmesos a un greu risc davant de la SLR (Linham i Nicholls, 2010).

2.1.2.7. La reducció dels marjals costaners

La supervivència de les zones pantanoses costaneres depenent de la disponibilitat de sediments i del potencial de l'hàbitat per a la migració cap a l'interior.

Els aiguamolls costaners es reduiran amb l'augment del nivell del mar i amb una major freqüència de les tempestes i altres fenòmens extrems. Altres pressions climàtiques i de l'home directament, com ara la reducció de les aportacions de sediments i la compressió del litoral, accentuaran encara més les pèrdues.

Les zones humides on el sediment sigui disponible fàcilment i la migració no estigui impedida, seran capaces de fer front a la SLR (Linham i Nicholls, 2010).

2.2. IMPACTES SOCIOECONÒMICS DEL CANVI CLIMÀTIC EN LES ZONES COSTANERES

Les zones costaneres són les més atractives d'un país i es ratifica tenint coneixença de que gairebé el 25% de la població espanyola està concentrada en cinc grans àrees urbanes banyades per la Mediterrània (Mösso et al., 2011). A continuació s'hi descriuen un seguit d'impactes amb les seves pertinents repercussions.

2.2.1. Pèrdues econòmiques en el sector turístic

La costa catalana, en general, depèn molt i ara més que mai del turisme costaner, de sol i platja. Els canvis provocats per la SLR i l'erosió costanera resultant podrien afectar negativament al valor d'una àrea per al turisme (Linham i Nicholls, 2010). També l'augment de la temperatura ambient i la del mar, podria convertir aquesta costa en poc atractiva, apropant-nos en el pitjor dels casos, a climes més desèrtics. Com ja cita l'IPCC (2007), al sud d'Europa, el canvi climàtic agreujaria les condicions existents (altes temperatures y sequeres) en una regió ja vulnerable de per sí a la variabilitat climàtica, i reduiria la disponibilitat d'aigua, el potencial hidroelèctric, el turisme estival, i la productivitat dels cultius en general.

2.2.2. Malbaratament de l'aigua. Increment de consum: l'altra cara del turisme

La costa Mediterrània és la principal destinació turística al món i la costa catalana és un clar exemple. Aquest factor turisme contribueix en gran mesura a la degradació i destrucció dels ecosistemes d'aigua com la fragmentació dels rius, el descens dels nivells freàtics i sequera en aiguamolls, ja que els pics turístics es produeixen a l'estiu, quan la disponibilitat natural d'aigua és menor. El descens dels nivells d'aigua subterrània estan causant no només la desaparició d'hàbitats (p.e. en els brolladors denominats ullals), sinó que a més estan tenint un impacte negatiu sobre la població, com per exemple les aigües subterrànies utilitzades per a l'aigua potable i de reg, que cada vegada tenen un major contingut de sal (Mösso et al., 2011).

Cal tindre en compte que, actualment, la zona del Delta de l'Ebre és considerada regió semi-àrida per la UNESCO.

2.2.3. Impactes deguts a la demanda energètica de la pròpia població

L'augment de temperatura de l'aire està directament relacionada amb la demanda d'energia. S'ha observat que la generació i el consum d'energia a Catalunya han augmentat durant les últimes tres dècades, tot i que degut a la crisi econòmica en la que ens trobem submergits s'ha produït un període d'estabilització.

Aquesta demanda d'energia, fins al moment, ha conclòs en un país depenent, degut a que no és país d'extracció de combustibles fòssils. S'evidencia que el contingut de carboni dels oceans s'ha incrementat com conseqüència de l'absorció del diòxid de carboni alliberat a l'atmosfera a través de la crema d'aquests combustibles, provocant l'acidificació de l'oceà. És probable que aquest procés vagi en augment, afectant negativament a la pesca en aigües costaneres i a les muscleres, els oficis més comuns del Delta de l'Ebre.

Amb el canvi del clima esdevé un hivern amb temperatures més suaus que contribueixen a un descens del consum energètic i de gas natural factor positiu per al medi ambient, mentre que durant les estacions més càlides es produeix un augment de la temperatura lligat a un fort augment de la demanda elèctrica (Mösso et al., 2011).

2.2.4. Impactes sobre la salut humana

Analitzant les dades meteorològiques enregistrades a l'Observatori de l'Ebre durant l'any 2012 (Taula 2.2) s'observen temperatures extremadament elevades i la duració estacional d'un clima càlid que afavoreix la proliferació accelerada d'insectes vectors que afecten la morbiditat tant d'humans com d'animals.

El canvi climàtic augmentarà el risc de malalties transmeses per vectors (Mösso et al., 2011). També afectarà espècies de rèptils, que no generen prou calor per mantenir una temperatura corporal constant, com ara les sargantanes i que són molt susceptibles a la calor i el seu sistema es basa en agafar i perdre temperatura de l'ambient per regular llur temperatura interna, movent-se entre sol i ombra. Com a conseqüència i en el pitjor del casos, es produiria la desaparició d'un esglaó a la cadena alimentària, eliminant un dels depredadors per excel·lència del mosquit, per exemple.

Un augment de temperatura sumat a un augment de la mitjana de vida, suposa una part important de la població sensible o extremadament sensible als canvis de temperatura, amb greus problemes de salut relacionats amb extrems meteorològics, és a dir, canvis en la morbiditat i la mortalitat en funció de la temperatura (Mösso et al., 2011).

D'altra banda, en el cas de la possible disminució de precipitacions, també afectaria a la nostra qualitat de vida, repercutint indirectament amb l'estructura de l'oferta d'energia hidroelèctrica, així com les plantes d'energia nuclear i tèrmica que requereixen aigua de refrigeració (Mösso et al., 2011).

	RESUM DE DADES (2012)				
	Temperatura Màxima (ºC)	Temperatura Mínima (ºC)	Temperatura Màxima Mitja (ºC)	Temperatura Mínima Mitja (ºC)	Pluja Acumulada (l/m^2)
GENER	**21.4 (05/01/2012)**	0.6 (19/01/2012)	15.4	5.6	20.5
FEBRER	**24.1 (26/02/2012)**	-0.6 (04/02/2012)	14.9	3.9	0.2
MARÇ	28.7 (30/03/2012)	3.8 (01/03/2012)	21.5	6.8	41.5
ABRIL	26.1 (01/04/2012)	4.8 (07/04/2012)	21.2	10.4	71.1
MAIG	34.6 (12/05/2012)	7.4 (01/05/2012)	26.9	14.3	14.3
JUNY	37.2 (25/06/2012)	15.3 (09/06/2012)	31.9	19.0	14.5
JULIOL	**40.0 (18/07/2012)**	16.0 (01/07/2012)	32.6	20.2	14.2
AGOST	**38.6 (20/08/2012)**	18.7 (31/08/2012)	34.5	22.2	0.8
SETEMBRE	**35.5 (07/09/2012)**	11.3 (27/09/2012)	29.7	18.0	36.5
OCTUBRE	33.3 (09/10/2012)	4.5 (30/10/2012)	24.5	13.6	112.8
NOVEMBRE	23.9 (02/11/2012)	4.9 (30/11/2012)	17.4	9.8	146.8
DESEMBRE	20.6 (16/12/2012)	1.2 (12/12/2012)	16.5	6.6	4.5

Taula 2.2. Dades meteorològiques enregistrades durant l'any 2012 per l'Observatori de l'Ebre.

2.2.5. Impactes sobre el paisatge, la vegetació i els cultius

Un augment en la freqüència d'esdeveniments climàtics extrems també pot afectar negativament al rendiment dels cultius costaners com ara camps d'arròs, principalment disminuint la qualitat del sòl i la qualitat de l'aigua (Nicholls i Klein, 2005).

En els cultius, els períodes de sequera afecten tant a conreu de regadiu com de secà. A la Taula 2.2, s'observa que les precipitacions es produeixen d'una manera molt variable i entre llargs períodes de temps. Això repercuteix en el rendiment de l'agricultura i la silvicultura, la pesca i aqüicultura, entre altres (Mösso et al., 2011), i posen en risc la massa forestal (Els Ports de Caro, la Serra del Montsià i la Serra de Cardó), amb processos de degradació de terres i desertificació (Vicente-Serrano i Cuadrat, 2007) ja que la massa d'aigua dolça que redueix la salinitat del delta també prové d'aigües superficials que descendeixen dels Ports.

2.2.6. Impactes sobre les infraestructures portuàries

L'últim cas d'impactes socioeconòmics degut el canvi climàtic posa en dubte la funcionalitat de les infraestructures portuàries. El disseny original d'aquestes no contempla la possible variació de les característiques marines. Aquestes grans obres de l'enginyeria civil podrien arribar a esdevenir obsoletes, ja sigui pel canvi de direcció de l'onatge, amb bocanes que quedarien desprotegides (Casas-Prat i Sierra, 2012) o per un increment en l'alçada d'ona que rebassaria dics i murs de protecció.

Moltes de les infraestructures haurien d'adaptar les seves característiques i ser sotmeses a diverses actuacions per a poder contrarestar la SLR, les alçades d'ona superiors a les de disseny i el possible canvi de direcció en l'onatge. Un exemple seria el que es pot observar a la Figura 2.2, on s'aprecia com disminuiria la distància

necessària perquè les onades no ultrapassin el dic, on *F2* és la distància òptima de disseny i *F1* és la que restaria amb la pujada del nivell del mar, és a dir, esdevindria insuficient.

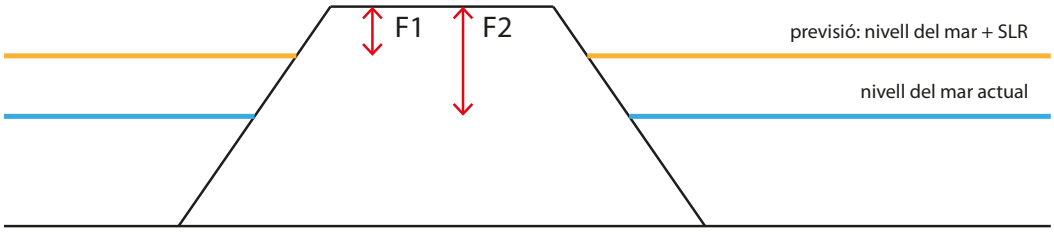

Figura 2.2. Esquema de l'afectació de la pujada del nivell del mar en els criteris de disseny d'un dic.

Es pot calcular l'ultrapassament a partir de l'Equació 2.1 on *q* és el cabal que ultrapassa l'estructura (en $m^3/s/m$), H_s es l'altura d'ona significant a peu d'estructura, *g* la gravetat i *Rc* el francbord (distància vertical entre la coronació del dic i el nivell del mar, serien *F1* i *F2* de la Figura 2.2.

$$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = 0.2\exp\left(-4.18\frac{R_c}{H_s}\right)$$

Equació 2.1 Mètode utilitzat per a calcular els criteris de disseny d'un dic en funció de l'*overtopping*.

3. Estat de l'art

El nomenament o creació del terme Extensió del domini públic maritimoterrestre (DPMT) és un dels factors més important que han ajudat a donar un tomb radical a la conservació del litoral, ja que gran part la costa espanyola està urbanitzada o afectada per l'elaboració de plans, sobretot al llarg de la costa mediterrània. El DPMT o terres comunals costaneres fa referència a l'àrea de terra entre el més baix nivell de marea equinoccial de primavera, i el nivell màxim conegut assolit ja sigui per les onades de tempesta, o pel nivell més alt de marea equinoccial de primavera. Aquesta zona s'estén al llarg de les ribes dels rius fins al punt en què s'observen les marees. Aquesta definició no és rígida, sinó que varia segons els paràmetres marítims que són molt sensibles al canvi climàtic.

La pressió del creixement de la població a la franja costanera i el retrocés gradual de la línia de costa han vingut reduint aquesta extensió del DPMT. En un primer intent, durant el període 2004-2006, hi va haver diversos ajustos en la delimitació d'aquesta zona, donant prioritat als trams costaners sota major pressió urbana. L'objectiu era alliberar gradualment trams de la costa en el domini públic (Mösso et al., 2011). Es van formular mesures impopulars com expropiació i demolició i algunes es van dur a terme, però a l'any 2012, la vicepresidenta del govern en roda de premsa va anunciar la pròrroga de 75 anys més d'edificacions i concessions a primera línia de mar.

Un pas important en matèria de protecció ha estat la declaració de valor del 4 d'agost de 1983 quan es va publicar el Decret del Parc Natural del Delta de l'Ebre i va ser actualitzat amb el Decret 332/1986, on nomenava tot el conjunt Parc Natural, mentre també ho declarava reserva de la biosfera i la Punta de la Banya i l'illa de Sapinya, reserves naturals parcials. Això va paralitzar el creixement i l'explotació pel que fa a la construcció i al turisme, factor que diferència el litoral de les comarques del Baix Ebre i del Montsià de la resta del litoral català, ja que no s'ha produït una construcció massiva a primera línia de mar.

A l'esdevenir un zona d'especial protecció, d'acord amb la Directriu 79/409/ CEE, de conservació dels ocells, s'inclogué a la llista del Conveni de zones humides d'importància internacional, especialment com a hàbitat pels ocells aquàtics, mitjançant Resolució de 15 de març de 1993.

Un altre pla que afavoreix el Delta de l'Ebre és el Pla d'espais d'interès natural (PEIN, 2006), que protegeix 12.737,97 ha i li dóna un valor internacional. Aquest pla inclou delimitacions en diverses zones humides i espais fluvials i protecció del canyissar entre altres. També s'encarrega de protegir les barres litorals, diverses platges i sistemes dunars, illes i espais fluvials, en funció de la distància fins la línia de costa i la cota en que es troben.

Per altra banda existeix el Pla Director Urbanístic del Sistema Costaner de les Terres de l'Ebre de l'any 2005 que impulsa la planificació territorial amb mesures importants de prevenció i adaptació al canvi climàtic. Amb aquest pla s'intenta evitar o minimitzar qualsevol tipus d'actuació que comporti la desestabilització de la línia de costa, és a dir, que pugui augmentar per sinèrgia els efectes potencials del canvi climàtic. També es vol actuar sobre els factors antròpics que contribueixen a la desestabilització actual

de la línia de costa, mitjançant mesures enfocades a estabilitzar platges i sistemes dunars i rehabilitar el transport de sediments en zones d'erosió, etc. Això es porta a terme definint les zones d'alt risc d'inundació (on s'ha de regular l'ús de l'espai amb per a de reduir les conseqüències negatives de l'impacte de les tempestes o de la SLR) i les zones búffer (marge existent per als processos costaners naturals) (Mösso et al., 2011). Aquestes zones suposen una reserva d'espai destinat a futures actuacions de defensa de la costa, a la potenciació o creació d'hàbitats naturals en regressió a d'altres localitzacions de l'àmbit (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2008c).

3.1. MITIGACIÓ

Quan es parla d'aquest terme es refereix al fet de reduir o previndre les emissions de gasos d'efecte hivernacle. La mitigació pot significar l'ús de les noves tecnologies i les energies renovables, substitució de models antics per més eficients (electrodomèstics, vehicles, bombetes, entre altres) o el simple canvi en els hàbits de consum d'energia. També inclou petits incisos com ara millores en dissenys de quelcom convertint-los en productes ja popularment coneguts com a productes de "baix consum" o simplement introduint a la població en el reciclatge i/o l'ús del transport públic.

Pel que fa al context històric, el primer esdeveniment que data com a acte de mitigació és al 1991 en la Primera Estratègia Comunitària per a limitar les emissions de CO_2, també de CH_4, N_2O, PFCs, HFCs, SF_6 i NF_3, que són els gasos que tenen un efecte directe sobre l'escalfament global (UNEP, 2013). Els esforços de mitigació en curs a tot el món van des de la creació d'automòbils amb menys emissions fins a simples carrils bici, passant per la protecció de les zones captadores naturals de carboni per excel·lència, com els boscos i els oceans, a la creació de noves zones a través de la silvicultura i l'agricultura verda. Es tracta de conscienciar i crear una cultura que poc a poc vagi estenent-se a tota la població.

Sobre les emissions futures de GEH apareixen els escenaris IEEE 2000 (descrits àmpliament a l'apartat 5.1) i projecten un augment dels nivells de referència de les emissions mundials de GEH d'entre 9,7 y 36,7 Gt CO_2-eq (entre un 25% i un 90%) entre 2000 y 2030. En aquests escenaris, els combustibles d'origen fòssil mantindrien, segons les projeccions, la seva posició predominant en el conjunt de les energies mundials fins més enllà del 2030. Per consegüent, les emissions de CO_2 procedents de la utilització d'energia augmentarien entre un 40% i un 110% entre 2000 y 2030 (IPCC, 2007).

A la Figura 3.1 s'observen les emissions mundials de GEH (en Gt CO_2-eq anuals) en absència de polítiques climàtiques addicionals: sis exemples d'escenaris testimonials de l'IEEE (línies de color), i percentil 80 d'escenaris recents publicats des de l'IEEE (post-IEEE) (àrea ombrejada en gris). Les línies de traços indiquen el ventall complet d'escenaris post-IEEE. Les emissions engloben els gasos CO_2, CH_4 i N_2O i gasos fluorats (IPCC, 2007).

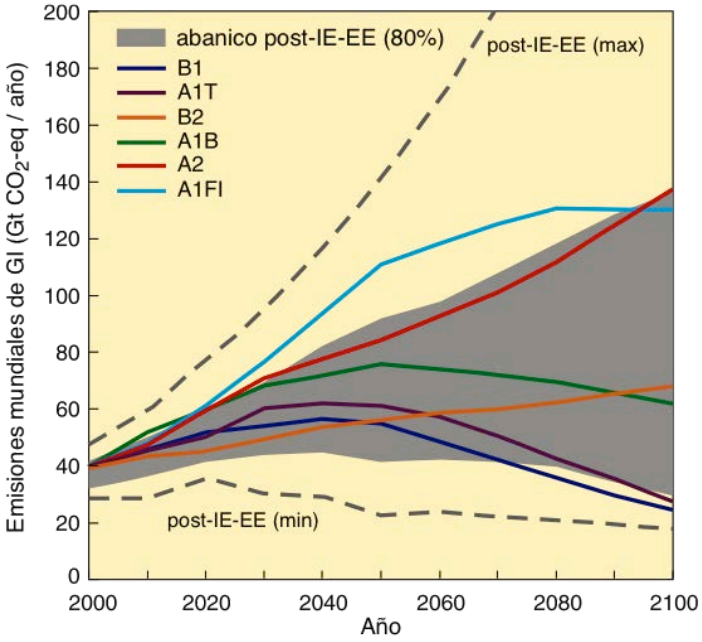

Figura 3.1. Escenaris d'emissions de GEH entre 2000 i 2100 en absència de polítiques climàtiques addicionals (IPCC, 2007).

Pel que a la mitigació de caràcter global existeixen diferents fronts possibles d'actuació:

3.1.1. Agricultura

A mesura que augmenta la població també ho fan les zones de cultiu dels aliments. Els mètodes actuals per cultivar estan esgotant els recursos del planeta i produeixen quantitats alarmants de GEH. Segons la UNEP (2013), el 13% en les emissions globals causades pels humans provenen dels processos utilitzats en aquest sector. Les conseqüències directes sobre el medi ambient són la pèrdua de biodiversitat i la desforestació.

Si es parteix d'una agricultura ecològica, considerada mitigació, s'alleuja la pressió sobre el medi ambient i ajuda a fer front al canvi climàtic. La reducció de residus agrícoles i la millora de l'eficiència en els sistemes de reg o en l'emmagatzematge ja és un pas important, ja que gairebé el 50% dels aliments produïts es perd per la pèrdua de cultius o durant l'emmagatzematge, la distribució, la comercialització i l'ús domèstic.

3.1.2. Boscos

Les zones boscoses regulen el clima a través del cicle del carboni i protegeixen les conques hidrogràfiques i al voltant de mil milions de persones viuen gràcies al bosc, la majoria dels quals són pobres i pertanyen a països en desenvolupament. També hi conviuen més del 50% de les espècies de la Terra.

Segons la UNEP (2013) es produeix una desforestació i degradació dels boscos a un ritme de 13 milions d'hectàrees per any. La mesura de mitigació que s'està proposant en aquest cas és aturar la desforestació i dur a terme la repoblació de totes aquelles zones que hagin estat sotmeses a algun procés de degradació.

3.1.3. Energia

A mesura que la població i els ingressos creixen, també ho fa la demanda energètica. Mentre la comunitat mundial lluita contra el canvi climàtic, també ho fa contra els hàbits quotidians de consum, inclosa la seguretat energètica, la contaminació i l'escassetat d'energia. El combustible fòssil actual és de caràcter pesat i limitat, a més de ser ecològicament insostenible. A més a més, una fuita en un vaixell de transport d'aquest o en una canonada esdevé un desastre mediambiental.

Mitigar representa abandonar progressivament el consum de combustibles fòssils, ja que aquests produeixen efectes negatius tant en el medi (gran emissió de GEH) com en la salut humana, i substituir-los per energies renovables, que a més de no exhaurir-se, no emeten GEH.

3.1.4. Indústria manufacturera

Les empreses manufactureres del món són les responsables del 35% del consum elèctric mundial, del 20% de les emissions de CO_2, i d'una quarta part de l'extracció de recursos primaris. Aquesta indústria té un gran impacte sobre el medi ambient i s'han de tenir en compte en l'equació del canvi climàtic (UNEP, 2013). Mitigar és simplement redissenyar els productes, millorant no només la seva vida útil, sinó també donar un ús més eficient dels recursos (com ara els productes de baix consum), facilitar el reciclatge i reduir la contaminació durant el procés de fabricació i la vida del producte.

3.1.5. Transports

Segons la UNEP (2013) més del 50% dels combustibles fòssils consumits del planeta i gairebé una quarta part dels GEH són deguts al transport, i es preveu que la flota mundial de vehicles es tripliqui per a l'any 2050. Es proposa mitigar evitant o reduint els viatges, sense restringir la mobilitat. Els passatgers poden substituir el vehicle privat pel transport públic i pel no motoritzat. Pel que fa als usuaris de transport de mercaderies se'ls proposa substituir els camions pel transport ferroviari i/o marítim. També es potencia el redissenyament de tot tipus de vehicles per tal d'aconseguir una millora en l'eficiència energètica i reduir les emissions (p.e. vehicles elèctrics o d'hidrogen).

3.1.6. Ciutats i edificis

A les zones urbanes hi viu al voltant del 50% de la població i aquesta consumeix el 60% aproximadament de l'energia disponible, i representa també el 60% de les emissions de CO_2 (UNEP). La ràpida urbanització està afectant els subministraments d'aigua, salut pública, medi ambient i qualitat de vida, especialment per a la població amb menys recursos. Dur a terme canvis fonamentals en el desenvolupament urbà per tal de construir un futur sostenible està considerat una mesura de mitigació.

D'altra banda, la tercera part del consum mundial d'energia (aproximadament) es dóna a l'interior d'edificis. La construcció és el major contribuent d'emissions de GEH. La indústria de la construcció ha consumit més d'un terç dels recursos del planeta i ha generat grans quantitats de residus sòlids. Mitigar resulta millorar l'eficiència energètica en els edificis a través de mètodes de construcció més ecològics i sostenibles, i pot repercutir directament sobre la reducció de les emissions de GEH.

3.1.7. Residus

La proliferació dels residus va en funció del creixement de les economies dels països. Segons estimacions de la UNEP (2013) uns 11.200 milions de tones de deixalles sòlides estan sent recollits a tot el món cada any, i la putrefacció de la part orgànica està aportant al voltant d'un 5% de les emissions globals del GEH. Els productes elèctrics i electrònics són els que contenen més substàncies perilloses i, ara mateix, el seu consum està en augment.

Es considera mitigar produir el mínim volum possible de residus, reciclar-los o reacondicionar-los tant com sigui possible, tractar qualsevol residu inevitable d'una manera que esdevingui lo menys perjudicial possible per al medi ambient i per als éssers humans, ja que generen cada vegada més perill, sobretot quan els abocadors són incontrolats o el volum esdevé immanejable, com a conseqüència broten malalties i infeccions, es produeix la contaminació de l'aigua subterrània, l'emissió de GEH i la destrucció d'ecosistemes.

3.2. ADAPTACIÓ

Un cop arribats a l'adaptació, l'objectiu principal és mentalitzar-se que els valors i els patrons de les zones costaneres canviaran i poder actuar davant cites com aquesta: *segons el Govern català, les platges de la província de Tarragona estan perdent 3 milions de m^3 de sorra per any, dels quals el 82% correspon al Delta de l'Ebre* (Mösso et al., 2011).

Les tecnologies d'adaptació se poden col·locar en una de les dues subdivisions següents (ambdós enfocaments permeten a les poblacions costaneres seguir ocupant les zones vulnerables):

i) Els mètodes que comprenen els canvis físics per a adaptar-se a l'augment del nombre d'esdeveniments d'inundació i d'erosió.

ii) Els sistemes d'informació, que milloren la comprensió i el coneixement dels riscos costaners i permeten a les poblacions costaneres dur a terme les respostes adequades per a minimitzar l'impacte d'aquests esdeveniments.

L'adaptació ha tingut un benefici generalitzat en la reducció de la vulnerabilitat de la societat envers els perills costaners (Klein et al, 2000, 2001; Van Koningsveld et al, 2008). Un mètode de protecció en termes d'adaptació implica mesures defensives i altres activitats per a protegir en front de les inundacions degudes a la pujada de la marea meteorològica, dels efectes de les ones sobre les infraestructures, contra l'erosió de la riba, de la intrusió salina i de la pèrdua de recursos naturals. Les mesures es poden separar en dues solucions estructurals, les denominades "dures " i "toves" (de caràcter rígid o suau, respectivament) i es poden aplicar soles o combinades (IPCC CZMS, 1990).

Encara que hi ha hagut un moviment estès de defenses toves, les dues tipologies continuaran aplicant-se en un futur. Les defenses dures són utilitzades particularment en protecció de zones urbanes contra inundacions, mentre que les defenses toves s'encaren a costes sedimentàries compostes per platges. La combinació d'ambdues defenses pot resultar en projectes més econòmics.

3.2.1. Defenses toves (*soft defenses*)

Aquests mètodes tenen com a objectiu adaptar i complementar els processos dinàmics naturals. S'ha incrementat la seva utilització i perfeccionament com a resposta als efectes negatius de les defenses dures. Es tracta d'una solució flexible, ja que és reversible. Això és molt beneficiós ja que permet una gamma més àmplia d'opcions de gestió costanera per a actuacions futures. A més, l'aplicació de les defenses toves no causa impacte ambiental ni visual, ajuda a conservar l'hàbitat natural i ajuda al reequilibri de la biodiversitat de la costa (Chadwick et al., 2004).

Aquest tipus de solucions no es fonamenten en una sola actuació sinó que requereixen un seguiment continu i regular, és a dir, un manteniment. L'equip de professionals per a tal projecte abastarà una participació contínua d'enginyers, planificadors, dissenyadors i altres en un grau més gran que les defenses dures (Edge et al., 2003). Per tant, tot això seran costos addicionals a tenir en compte a l'hora d'escollir una opció. Exemples de defensa tova inclourien alimentació i regeneració de platges, i la creació i rehabilitació de dunes.

3.2.1.1. Alimentació i regeneració de platges

La regeneració de platges apareix per a resoldre diverses funcions: la funció recreativa; ajudar a mantenir i recuperar espais naturals amb el que es proporcionen beneficis ecològics; i per últim la de protecció, ja que amples suficients de platja resulten ser el medi ideal per a dissipar l'energia de les onades.

Existeixen dos tipus de perfil de platja: la dissipativa, ampla amb perfils suaus, que dissipa considerablement l'energia de les onades entrants; i la reflexiva, estreta amb perfils pronunciats, que per tant, s'erosiona més ràpidament.

Aquest procés és un mètode suau que pretén contrarestar els efectes de l'erosió del litoral amb un balanç de sediments, utilitzant addicions artificials de sediments a una zona de platja que en té un dèficit. S'ha de tenir clar que l'alimentació de platges no atura el procés d'erosió i demana un manteniment. Aquesta aportació pot ser natural amb sediments marins o fluvials, o artificial procedent de matxuqueig. El principal requisit és respectar l'aspecte autòcton o inicial i aconseguir que el material d'aportació sigui compatible i amb propietats similars a l'existent.

Els sediments marins obtinguts mitjançant un dragatge, poden col·locar-se per a crear una extensió de l'ample de platja o com a un dipòsit sota l'aigua, que es mou gradualment en terra sota l'acció normal de les ones – mètode utilitzat als Països Baixos (Van Koningsveld et al., 2008). La segona opció, també serveix per fomentar la dissipació de l'energia de les onades, i per tant la reducció del seu impacte a la costa.

Els sediments artificials tenen l'inconvenient que han de ser transportats mitjançant camions, ja que el dragatge s'utilitza majoritàriament quan es produeixen obres d'ampliació o actuacions en ports propers a la zona deficitària. Aquesta operació incrementa considerablement el cost i com a conseqüència s'utilitza només en casos de menor escala.

La redistribució a lo llarg de a la costa del material afegit es produirà a través d'un procés conegut com transport longitudinal de sediments, deixant-se portar pel litoral a través dels corrents, sota l'acció de les onades, les marees i el vent. Aquest transport és causat per les ones que s'acosten a la vora de manera obliqua, arrossegant sediments. Però quan l'onada retorna, el moviment és sempre perpendicular a la costa. Això inicia un moviment gradual al llarg de la costa de sediment tal com es mostra a la Figura 3.2. Com a resultat de la redistribució de sediments per aquest transport longitudinal, la regeneració de platges probablement repercuteixi positivament a les zones adjacents que no estaven directament alimentades. Això pot proporcionar majors beneficis, incloent platja i reduint l'erosió de penya-segats confrontants.

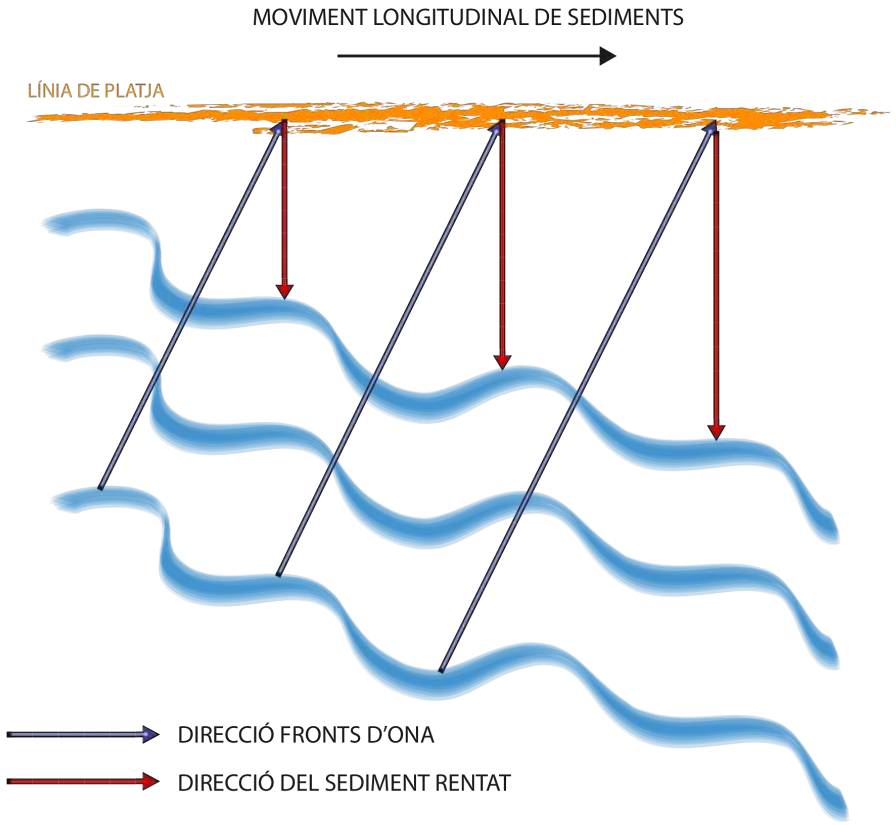

Figura 3.2. Esquema del transport longitudinal de sediments i la forma que va prenent gradualment l'ample de platja degut a l'angle d'aproximació de les onades (Linham i Nicholls, 2010).

La utilització d'aquest mètode també pot generar una sèrie d'efectes negatius en el medi ambient, incloent l'enterrament directe dels animals i dels organismes que viuen o nien a la platja, les dosis letals o perjudicials de la terbolesa de l'aigua (causada per l'agitació de sediments) i les composicions alterades de sediments, que poden afectar als animals que habiten a la zona (Dean, 2002).

3.2.1.2. Creació, rehabilitació i manteniment de dunes

Les dunes de sorra tenen el seu origen degut al vent que arrossega i modela dipòsits de sorra i representen una acumulació de sediment just terra endins. Les dunes artificials intentaran reproduir lo més fidelment les seves funcions, i són capaces d'oferir un alt

grau de protecció contra les inundacions i l'erosió costanera. Les dunes proporcionen una defensa física i tangible, que fins i tot pot servir per fomentar el desenvolupament sostenible de la zona costanera (French, 2001).

Les dunes d'origen natural s'originen al llarg de platges verges o sense desenvolupar. A més de representar una barrera entre el mar i la terra, les dunes al ser un sistema dinàmic que interactua amb la platja constantment, responen reequilibrant-se amb els canvis de l'orientació i ràfegues de vent, el canvi climàtic o amb el nivell del mar. Per tant, les dunes proposen durant els mesos d'estiu, creixement a mesura que s'acumulen els sediments, mentre que durant les tempestes d'hivern, el sediment emmagatzemat en les dunes es subministrat a la platja per satisfer l'erosió i generar barreres submarines que protegeixen la platja.

Les dunes esdevenen allà on hi ha extensió de platja de sorra, una zona extremadament atractiva per al desenvolupament, com a tal, contraposat a l'actuació de dunes. Ajuntant aquesta premissa amb la creixent probabilitat de l'erosió de dunes degut a la SLR i a la incidència d'ones potencialment més energètiques, les dunes de sorra es troben en risc.

En el cas que hi hagi excendent sedimentari, una bona solució és la creació de dunes artificials. La seva construcció consisteix en la col·locació de sediments obtinguts a partir de dragatge i mitjançant excavadores, buldòzers o altres mitjans, es remodelen aquests dipòsits per donar-li la forma adient.

Aquest és un mètode molt adequat però perjudica a la funció recreativa. Es tracta d'una barrera d'accés a la platja que a més, obstaculitza les vistes directes al mar. La reconstrucció de les dunes pot rebre l'oposició local si afecta aquests factors.

A la Figura 3.3 es pot observar l'esquema simplificat del procés d'erosió i per a calcular el volum de l'erosió es pot utilitzar el mètode de Vellinga (1983) amb l'Equació 3.1.

$$y = 0.70 \left(H_s / L_o \right)^{0.17} w^{0.44} x^{0.78}$$

Equació 3.1. Mètode de Vellinga per a calcular el volum de l'erosió (1983).

On y és la profunditat, x la distància des de la línia de costa, H_s l'alçada d'ona significant, L_o l'amplitud d'ona en aigües profundes i w la velocitat de caiguda de les partícules corresponents D50 (diàmetre 0,50 mm).

Per als projectes de construcció de dunes de sorra, els aixecaments topogràfics són molt útils com a font d'informació sobre les dimensions de les dunes. És important que aquestes tinguin alçada i volum suficient per resistir l'erosió esperada durant les tempestes (Vellinga, 1983). Els aixecaments topogràfics també identificaran quan es necessita més sorra i també proporcionaran informació sobre si les dunes obstrueixen l'accés a la platja o les vistes de la costa.

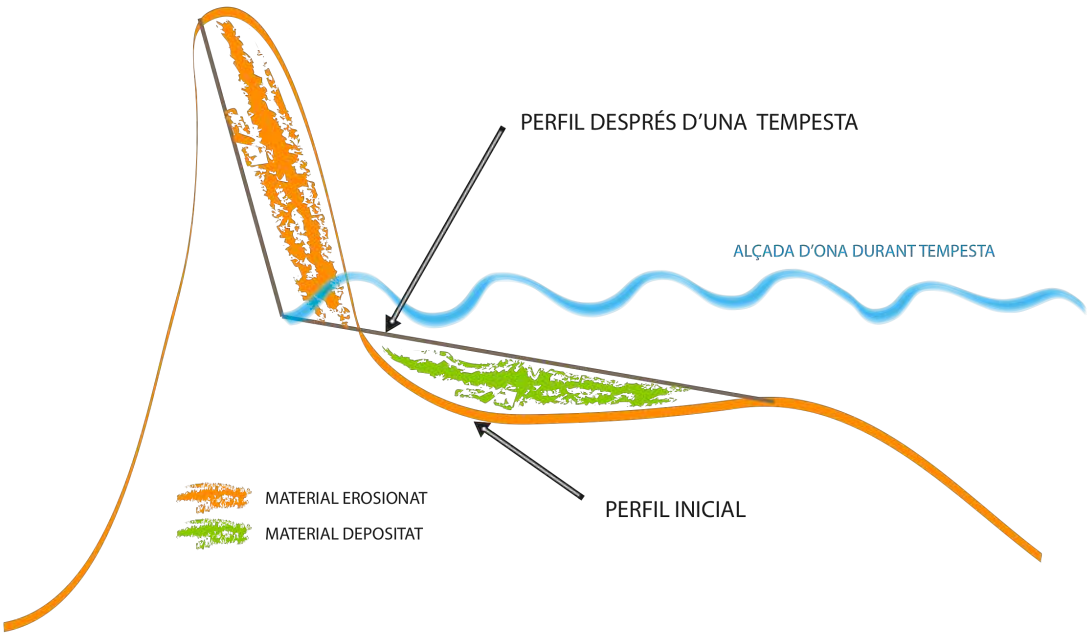

Figura 3.3. Esquema simplificat de l'erosió de les dunes a partir de marees meteorològiques. Adaptació de French (2001).

- Mètodes de rehabilitació de dunes

i) La construcció de tanques on hi ha la duna (a la banda propera al mar) afavoreix l'acumulació de sorra i ajuda a estabilitzar les superfícies desproveïdes d'aquesta (USACE, 2003). Aquest mètode també se pot utilitzar per a promoure el creixement de la duna després d'haver construït l'estructura. Els materials naturals més utilitzats són branques i estaques de canya, ja que es trenquen un cop han assolit el seu objectiu com a trampa de sorra (Nordstrom i Arens, 1998).

ii) La plantació de vegetació autòctona també és un mètode per a l'estabilització de la duna, ja sigui natural o artificial. La sorra aixecada pel vent s'acumula al voltant de les tiges de plantes i arbusts, i les arrels també compacten la sorra estabilitzant-la. Amb el temps això afavoreix al creixement de la duna. La sembra pot fer-se des de planter o trasplantant directament des de dunes properes que no hagin estat alterades (Linham i Nicholls, 2010).

3.2.1.3. Guanyar territori al mar

Els dos mètodes principals de la demanda de terra són: a) aïllament i defensa de la costa o de les zones properes a la mateixa, i b) el reomplert de la costa o de les zones properes, sovint utilitzant les mateixes tècniques que en la regeneració de platges. Aquests enfocaments es mostren a la Figura 3.4. En considerar l'adaptació al canvi climàtic, la demanda de la terra utilitzant mètodes de farciment és potser més apropiat, ja que comporta un menor risc d'inundació (Linham i Nicholls, 2010).

El procés de reclamació de terres requereix un mètode de tanca dels hàbitats intermareals per defenses dures, o l'aixecament de la seva alçada per sobre del nivell

del mar per evitar la inundació. Aquest procés dóna lloc a la pèrdua directa d'hàbitats intermareals, com ara marjals, planes intermareals i dunes de sorra (French, 1997). S'ha de tenir especial cura ja que moltes aus i espècies de plantes s'han adaptat específicament a la vida en aquestes zones, i ja abans de proposar mesures es troben en declivi a causa de la compressió del litoral i el desenvolupament humà.

L'avantatge clau d'aquest mètode és el guany de terreny addicional per a usos com l'agricultura o el desenvolupament; en segon terme, es pot aprofitar per a ampliar sistemes portuaris i instal·lacions diverses (allotjament i oci, per exemple), i guanyar accessibilitat al mar (Linham i Nicholls, 2010).

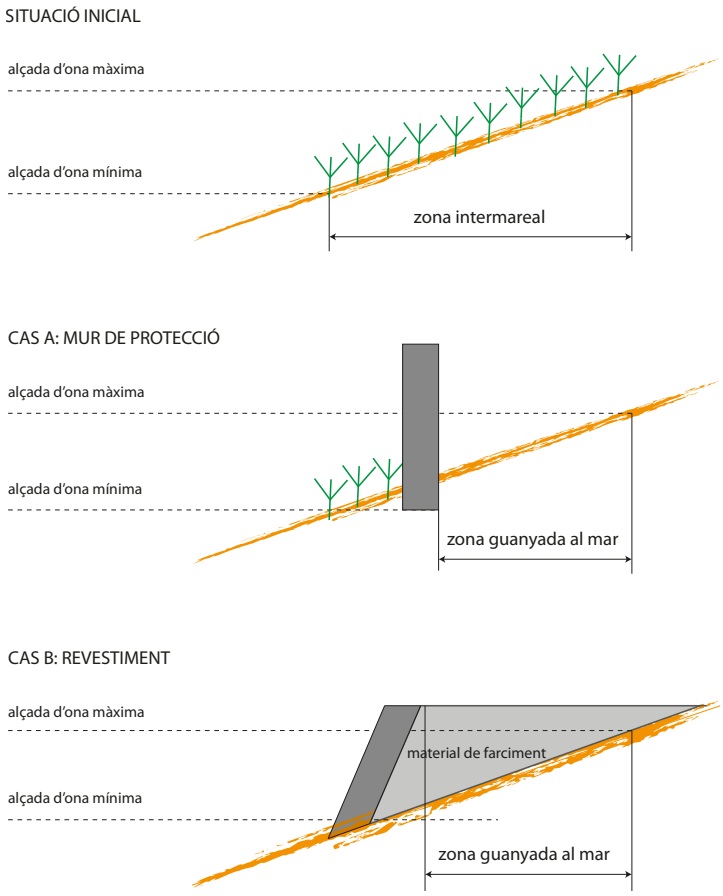

Figura 3.4. Principals mètodes per guanyar territori al mar (Linham i Nicholls, 2010).

Quan la terra sigui sol·licitada per a instal·lacions portuàries i per a la construcció d'instal·lacions industrials o infraestructures qüestionables, es pot generar una sèrie d'impactes negatius i desavinences socials, com seria el cas entre la propietat i grups ecologistes.

3.2.1.4. Mètodes a proba d'inundacions

Un de les principals avantatges d'actualitzar infraestructures i edificis per a resistir inundacions és que evita la necessitat d'elevar, demolir o reubicar estructures, lo que implica una mínima inversió en el procés (FEMA, 2008). Són molt més assequibles que les construccions de mesures de tipus rígid o dur. Un factor molt important és el de

conèixer el risc d'inundació i comunicar-ho a la població, ja que durant els temporals extrems hauran d'abandonar la vivenda o el recinte. Perquè aquest mètode funcioni han d'existir uns plànols cartogràfics detallant molt bé les zones de risc i s'ha de tenir un sistema d'alerta en perfecte funcionament per poder fer una correcta evacuació. Responent a aquest mètode s'hi proposen dues opcions:

- Facilitar el pas de l'aigua

On es permet que les aigües procedents d'inundació puguin entrar i sortir fàcilment d'una estructura per tal de minimitzar el dany estructural, mitjançant l'ús de materials resistents a l'afectació de l'aigua o simplement elevant infraestructures, passos i habitatges (FEMA, 2010).

- Evitar el pas de l'aigua

S'aconsegueix convertint l'estructura en estanca. Segellant les parets amb revestiments i membranes impermeables, o una capa suplementària de maçoneria o formigó. També es pot garantir l'estanqueïtat d'obertures i les mesures d'ajust per evitar el desbordament d'embornals (FEMA, 2007).

3.2.1.5. Mètodes de restauració de zones humides

Aquest mètode aporta un seguit d'avantatges ja que és proactiu, no ofereix beneficis immediats però servirà per a reduir l'erosió i les inundacions costaneres. També pot proporcionar nous hàbitats i a la llarga, beneficis ambientals, com ara millorar la qualitat de l'aigua i la regulació del clima.

Les zones humides són llocs molt valuosos d'acumulació de sediments, productes d'origen artificial (procedents d'adobs o residus del riu), carboni i nutrients que també ofereixen la reproducció vital i una zona de cria per a gran varietat d'aus, peixos, crustacis i mamífers (Linham i Nicholls, 2010). I per últim, reactiven i milloren la productivitat per a un dels oficis més antics de les terres de l'Ebre, la pesca.

La restauració dels marjals es refereix a la rehabilitació de les funcions originals d'aquest, recuperar una part o la totalitat de la seva funció. La restauració i reconstrucció de les zones humides també pot reduir o fins i tot revertir la pèrdua d'aiguamolls com a resultat del desenvolupament costaner.

El principal benefici d'aquest mètode afavoreix la dissipació de l'energia en la zona intermareal, reduint l'alçada d'ona incident i l'energia de les marees en el *backshore* (la zona que queda automàticament darrera de la platja). Això s'aconsegueix mitjançant l'augment de la rugositat de la superfície. Tot el conjunt redueix el poder erosiu de les onades i el risc d'inundacions costaneres per la disminució de l'alçada de les marees extremes (Linham i Nicholls, 2010).

Actuar sobre els marjals implica la retirada de l'actual línia de defensa, en el cas de voler-la mantindre, es poden realitzar trasplantaments de pantans vegetatius sans, ja que, el fort onatge sumat a la manca de precipitació impossibilita un procés bàsic de sembra (USACE, 2003). S'ha de tindre en compte que el restabliment dels marjals salins poden requerir l'elevació del lloc utilitzant material de farciment apropiat.

Les herbes marines també es poden emprar com a defensa costanera, per esmorteir les onades, però pel seu propi compte poques vegades es considera una alternativa adequada com a protecció de la riba.

Mentre aquestes no estiguin sotmeses a la compressió del litoral poden anar evolucionant amb la SLR sempre i quan aquesta no sigui massa ràpida i la vegetació pugui seguir el ritme i adaptar-se així amb la seva migració cap a l'interior.

3.2.2. Defenses dures (*hard defenses*):

Aquestes apareixen per la necessitat de protegir la costa i el seu *backshore*, una zona on s'hi ha construït i s'hi exploten tots els seus recursos (Cooper i Harlow, 1998).

Es tracta d'estructures que proporcionen una barrera sòlida entre la terra i el mar, resisteixen l'energia de les onades, i a més impedeixen el retrocés puntual de la costa degut a la dinàmica sobre la línia de platja. Aporten beneficis de cara a la protecció d'infraestructures que, en el cas de ser afectades per un temporal, suposarien un elevat cost de reparació. En canvi, des del punt de vista del sistema natural de costa, poden ser extremadament perjudicials ja que seria possible que acceleressin el procés d'erosió, patint conseqüències directes des de la línia de costa fins al fons marí immediatament davant de l'estructura (Pilarczyk, 1990) o la costa adjacent (Nicholls et al., 2007b). Per tant, l'ús de defenses dures ha d'anticipar aquests problemes i estar preparats per respondre a les conseqüències.

Exemples de defenses dures serien murs pantalles, murs d'escullera, de gabions, dics marins i revestiments, entre altres. Aquest tipus de defenses s'han emprat des de sempre, pel simple fet que proporcionen protecció tangible i inspiren confiança a les poblacions.

3.2.2.1. Murs i pantalles

Aquestes solucions s'han d'utilitzar únicament allà on el mur es pugui col·locar suficientment endarrerit dins la platja com per a que es vegi exposat a l'onatge exclusivament durant esdeveniments extrems, o en la línia de costa on la pèrdua de platja d'enfront sigui una conseqüència acceptable, ja que un cop construït, fixa la ubicació de la línia de costa a la posició en el moment de la construcció. Les costes són accidents geogràfics naturals i dinàmics que responen a factors com el nivell del mar i el clima de les onades i, per això, aquestes estructures causen efectes secundaris negatius sobre els patrons d'erosió i sedimentació. Aquest és el mètode més important de protecció del *backshore*.

Els murs són defenses immòbils, que també poden interferir amb els processos naturals com la migració de l'hàbitat cap a l'interior dels sistemes costaners en resposta al SLR, per tant causant compressió del litoral. Aquest procés provoca una reducció de la superfície dels hàbitats intermareals, com ara platges i aiguamolls, ja que aquests entorns estan atrapats entre un creixent nivell del mar creixent i les defenses dures, que limiten la migració. El mur, per tant, actua com a última línia de defensa. L'ús de murs de protecció juntament amb una defensa tova com seria l'alimentació de la platja també pot abordar alguns dels impactes negatius de la construcció de murs, com la reducció de platja i l'erosió corrent avall.

Es tracta d'una estructura paral·lela a la costa que forma una línia que defineix la barrera entre el mar i la terra (UNFCCC, 1999). Es dissenyen per a evitar una major erosió sobre el litoral i té com a objectiu principal mantenir o evitar el moviment del sòl, alhora que proporciona protecció contra l'acció de les onades (French, 2001).

Un cop construït el mur, mentre protegeix la part posterior de la platja, també esdevé una pèrdua de sediment que pot donar lloc a la disminució de la superfície de platja, el que redueix el seu valor d'amenitat, ja que el transport de sediment s'atura i augmenta l'energia contra al mur en permetre que grans onades trenquin a la riba (Linham i Nicholls, 2010).

A les Figura 3.5 i 3.6 podem observar tres possibles respostes al procés de rigidització de la costa en funció de l'angle d'incidència de les ones.

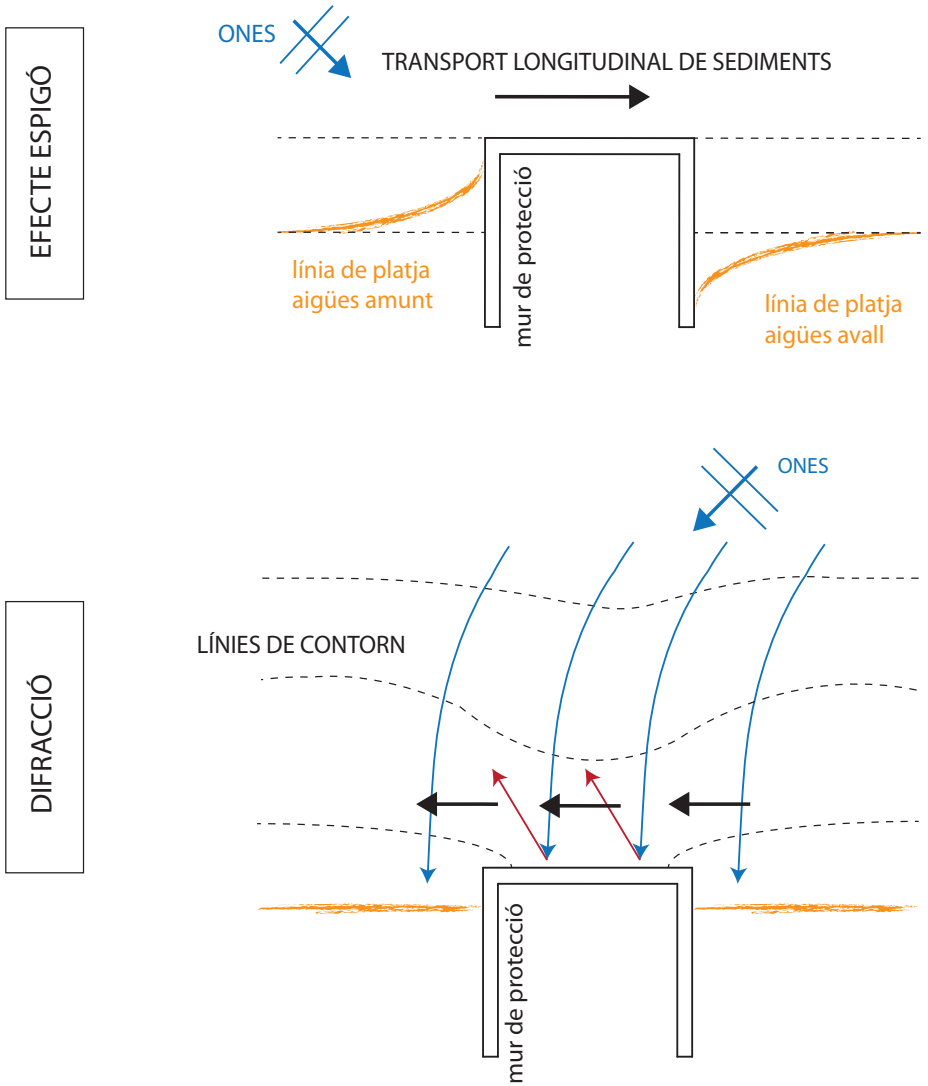

Figura 3.5. Esquemes dels possibles efectes secundaris del procés de rigidització de la costa: efecte espigó i difracció.

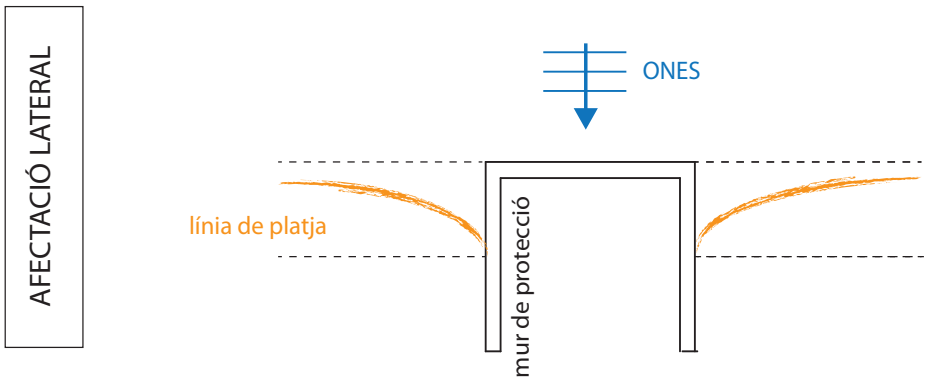

Figura 3.6. Esquema d'un dels possibles efectes secundaris del procés de rigidització de la costa: afectació lateral (flanking).

Un dels inconvenients que es produeix és el fenomen d'*overtopping*, o ultrapassament, que és el procés en que les ones sobrepassen l'alçada del mur i entren a la zona protegida (Goda, 2000). Acostumen a ser ones individuals de gran alçada i causen un augment temporal del nivell d'aigua que excedeix l'altura de l'estructura. Si l'estructura és de dimensió massa inferior, el sobreeixir excessiu pot eliminar quantitats considerables de terra o sorra de darrere del mur amb el consegüent debilitament. A més, el desbordament d'aigua satura i debilita el sòl, de manera que l'augment de la pressió intersticial del costat de terra pot dur al col·lapse (Dean i Dalrymple, 2002). El desbordament es tornarà cada vegada més sever amb la SLR, l'augment d'alçada d'ona i l'augment del nombre de tempestes energètiques (Linham i Nicholls, 2010).

3.2.2.2. Dics exempts

El dic exempt és una estructura dissenyada per a protegir de l'acció de l'onatge a l'àrea costanera localitzada a la part posterior de l'estructura en qüestió i automàticament també el *backshore*.

En funció del material de farciment del nucli, ja sigui permeable o impermeable, dissiparà o reflexarà l'energia de les ones incidents, però ambdós casos reduiran considerablement l'alçada d'ona darrera l'estructura. Generalment es construeix paral·lela a la línia de costa i proporciona protecció a les zones de la costa que sofreixen processos d'erosió. Aquesta solució, a diferència dels murs, no interfereix amb els processos naturals de migració de l'hàbitat, és a dir, no potencia la compressió del litoral.

Els objectius que intenta assolir aquesta estructura són els següents (Pilarczyk i Zeidler, 1996):

i) Retardar el procés d'erosió del transport transversal de sediments i incrementar l'estabilitat de bancs de sorra existents a la zona, ja que s'obstaculitza el transport de sediments transversals;
ii) Crear una platja artificial de manera natural, ja que si el dic és suficientment gran respecte a la distància fins la línia de costa pot arribar a crear protuberàncies de sorra i fins i tot, connectar amb la costa mitjançant un tómbol;

iii) pal·liar els efectes erosius generats a la costa com a conseqüència de marees meteorològiques o tempestes d'onatge, ja que amb els dics exempts poden augmentar els amples de platja;
iv) i per últim, impedir l'entrada de sediments marins en canals i zones portuàries per a evitar el seu possible anegament.

3.2.2.3. Espigons

Aquestes són estructures immòbils orientades perpendicularment a la línia de costa, que intenten detindre el procés d'erosió contrarestant el transport longitudinal de sediments i originen finalment un reajustament de la línia de costa que dependrà de la magnitud i de la direcció del transport dels sediments.

Els espigons es caracteritzen per produir acumulació de sediments aigües amunt i erosió aigües avall. A partir d'aquí, s'enumeren les finalitats dels espigons i poden resumir-se en les següents (Kraus et al., 1994):

i) Construir una platja protectora;
ii) Retardar el procés d'erosió en una platja existent;
iii) Evitar el transport longitudinal de sediments; reduir la pèrdua de material de farciment de la platja, però deixant fluir una certa proporció de forma controlada; entre altres.

I per últim, pot considerar-se la solució adient per a resoldre processos d'erosió si s'ubiquen en (Kraus et al., 1994):

i) Punts divergents nodals del transport litoral longitudinal;
ii) en zones de difracció a l'ombra d'alguna infraestructura portuària, dic exempt o moll;
iii) Zones on no hi hagi cap font d'aportació de sorra com aigües avall d'un trencaones d'un gran port o d'un moll;
iv) Zones al costat aigües amunt d'on es precisa l'estabilització de la sorra, com ara a l'entrada d'una cala.

4. Descripció de la zona d'estudi

El Delta de l'Ebre és la zona humida més gran de les terres catalanes, amb 320 km^2 de superfície. Constitueix l'hàbitat aquàtic més important de la Mediterrània occidental després del parc regional francès de la Camarga. El seu valor patrimonial com a hàbitat inclou el 60% de les espècies d'ocells d'Europa, així com paisatges enriquits de salobrars o sosars amb dunes, canyissars, boscos de ribera i ullals (PEIN, 2006).

4.1. ZONES NATURALS

El front marí constitueix el darrer tram litoral natural de Catalunya, on són presents extenses platges, cordons sorrencs i formacions dunars, sotmesos a una intensa dinàmica marina i eòlica, que configura una morfologia alhora monòtona i canviant segons l'estació de l'any o la climatologia.

Pel que fa al front pròxim a la gola actual, amb l'illa de Sant Antoni al marge dret del riu i el Garxal a l'esquerre, és el clar exemple d'un procés sedimentari de progradació ràpid, que s'ha format en poques desenes d'anys, acompanyat pels estanys, les barres i la vegetació que generen un paisatge únic que pot ser modificat per qualsevol alteració del règim fluvial o marí (PEIN, 2006).

La península del Fangar a l'hemidelta esquerre, és una fletxa sedimentària formada per l'arribada dels sediments per deriva litoral, que ha donat lloc a una extensa plana de sorra inundable on hi ha l'únic camp de dunes (en fase de desaparició) del país per efecte del Mestral. Els fenòmens de miratge hi són molt vistosos, i també les estructures sedimentàries superficials (DARPAMN, 2009).

El Delta de l'Ebre gaudeix de diverses zones humides protegides pel PEIN (2006) com ara: les Olles, l'illa de Buda i el riu Migjorn; l'Alfacada, la Platjola, les platges de l'Alfacada i els Eucaliptus i els erms de la Tancada; també el Canal Vell, les illes de Sant Antoni, la Tancada i la Bassa dels Ous, el Fangar i la platja de la Marquesa, que són també reserves naturals de fauna salvatge; el Garxal, que també és refugi de fauna salvatge, i per últim, l'illa de Sapinya i la Punta de la Banya, que són reserves naturals parcials (PEIN, 2006).

4.1.1. El riu

El riu Ebre és l'eix principal al voltant del qual gira tota la vida del Delta. Qualsevol alteració d'aquest afectaria ràpidament al seu equilibri dinàmic. La combinació d'aigua dolça continental amb aigua salada marina fa que la zona esdevingui de gran importància pel que fa a fauna i flora.

La SLR juntament amb la disminució del cabal, fa que els 30 últims quilòmetres on es produeix la gradació progressiva del sistema deltaic es vegin afectats per un increment de la falca salina, amb una longitud major. Aquest últim tram fluvial podria arribar fins a l'assut de Xerta, amb la conseqüent alteració del medi de diverses espècies que s'adapten a les aigües típicament continentals, d'intercanvi o pròpiament marines.

L'ecosistema fluvial, amb l'augment de la salinitat degut a la SLR sumat a la manca de precipitacions i un increment de la temperatura (deixen de produir-se hiverns freds que

anul·len el pas del desgel en el cicle de l'aigua) afecta a espècies de peixos autòctons que viuen a l'últim tram del riu, com ara l'anguila, el barb, la carpa i la llissa, que són d'aigua dolça. Actualment s'està reduint el seu medi i la població progressivament.

La xarxa de reg es veu afectada de la mateixa forma. Fins ara, ha constituït un ambient favorable per als amfibis, les serps i les tortugues aquàtiques, entre altres, que veuran reduïdes les seves zones d'alimentació i refugi. La vegetació també és veu perjudicada. L'ambient ripari, representat pel bosc de ribera, arrelat en molt poques zones degut a l'acció de l'home, està format per aubes, tamarits, pollancres, xops, verns, oms, freixos, salzes, canyes i canyissos, entre altres (DARPAMN, 2009). La influència de la salinitat empobreix aquesta zona continental i la transforma deixant-hi una població reduïda de baladres i tamarits.

L'ecosistema aquàtic és un ambient molt ric que conserva denses poblacions de fitoplàncton, invertebrats i cloïsses, com ara la *Margaritifera Auricularia*, que es troba en el Llibre Vermell d'Invertebrats d'Espanya en perill d'extinció. Aquestes espècies es distribueixen en funció de la temperatura, la salinitat i els fosfats. A mesura que va augmentant la temperatura i el contingut de sals de l'aigua, és va reduït la població. L'entrada en excés de nutrients procedent d'abocaments de processos humans, com l'ús de fertilitzant per als conreus, els combustibles fòssils o la ramaderia, com seria el cas dels fosfats, pot superar la capacitat del sistema per assimilar l'augment de la producció de nutrients, i és llavors quan esdevé la degradació de la qualitat de l'aigua. Aquest sobreenriquiment implica diversos impactes incloent un increment de la terbolesa amb la consegüent pèrdua de vegetació aquàtica submergida, deficiència d'oxigen, disrupció del funcionament de l'ecosistema, pèrdua d'hàbitat, pèrdua de biodiversitat, canvis en cadenes alimentàries, i pèrdues en les captures pesqueres.

4.1.2. Els arrossars

El cultiu de l'arròs, a banda de permetre la conservació de l'ecosistema i l'equilibri de l'ornitofauna del Delta, fa la funció importantíssima de controlar i reduir l'índex de salinitat del sòl a més del seu caràcter d'acollida d'espècies com a aiguamolls temporals, habitat per milers d'organismes (algues, crustacis, insectes), que es converteixen en un recurs alimentari per a la subsistència d'una part molt important d'aus i amfibis, entre altres. Es tracta aproximadament del 65% de la superfície del delta de l'Ebre. Aquest conreu precisa d'un procés d'inundació amb aigua dolça al llarg del període de creixement de la planta (abril-setembre). L'aigua per al reg és captada a l'assut de Xerta (a uns 60 km de la desembocadura) i es transporta per gravetat a través de dos canals, un a cada banda del riu (el canal de la Dreta i el canal de l'Esquerra). Un cop assoleixen el delta, es comencen a ramificar successivament, formant una xarxa de tipus capil·lar, fins que arriben a les parcel·les de conreu (DARPAMN, 2009).

Un cop finalitzada la sega, un sistema de recull de l'aigua les vessa normalment per gravetat, a les badies o a mar obert i, en alguns casos, a les basses. Aquest abocament afecta directament a altres sistemes aquàtics com, per exemple, les llacunes litorals (inversió del cicle hidrològic, minva de la salinitat, etc.) i les badies (motor de la circulació estuariana, entrada de nutrients, etc.). També afecten, però de manera negativa, el flux d'aigua a les zones d'ullals, on intercepten la floració d'aigua dolça subterrània. Actualment, aquest efecte s'allarga més enllà del període d'inundació dels arrossars (de desembre a abril), atès que, sovint, les bombes dels trams finals dels drenatges continuen en funcionament durant els mesos hivernals (DARPAMN, 2009).

Segons un estudi de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2008a) amb els horitzons previstos de canvi climàtic al delta, hi estarien en risc entre 6.500 i 11.187 m^2 d'arrossars de 27.000 ha aproximadament. La pesca marina depèn d'aquest important aiguamoll que abasta Ampolla, Amposta, Sant Jaume d'Enveja, Poblenou, Deltebre i Sant Carles de la Ràpita; aquí es captura el 10% del volum total de captures de pesca de Catalunya, que representen el 13% del valor en el mercat (DARPAMN, 2009).

4.1.3. Les llacunes

Són basses litorals d'aigua salabrosa situades a les depressions de l'àrea sedimentària costanera. En general són objecte de moviments de les marees i la barreja d'aigua dolça i salada (Bird, 2005). La formació de les llacunes és deguda a l'alt dinamisme litoral i fluvial que produeix una interacció entre aigua dolça i aigua marina on s'han interposat barreres sorrenques que han acabat impedint el contacte entre ambdues aigües, i per això són paral·leles a la línia de costa. Seria el cas de la bassa de la Tancada, la de l'Alfacada o l'Encanyissada a l'hemidelta dret, o la bassa de l'Estella o la de les Olles a l'hemidelta esquerre. Un segon origen de les basses litorals són les desembocadures o canals mareals que han perdut funcionalitat, com seria la bassa de la Platjola, el Canal Vell o ara mateix es pot observar l'inici de llacuna a la desembocadura del riu Migjorn, també a l'hemidelta dret.

Moltes d'aquestes llacunes han minvat la seva superfície degut al tradicional cultiu d'arròs o fins i tot, han dut a la seva desaparició. Les grans xarxes de reg necessàries per inundar els camps de conreu també s'han abastat de les llacunes invertint el seu cicle hidrològic natural. És a dir, l'estació dolça, que de manera natural correspon al període entre la tardor i la primavera, ara és exclusiva del període d'inundació dels arrossars: d'abril a novembre, prolongable fins a tres mesos més per a proporcionar aliment i refugi d'aus migratòries, i l'estació més salabrosa, durant la resta de l'any. Per la mateixa causa, s'ha produït una disminució de la salinitat mitjana anual, un augment de la concentració de nutrients i certa terbolesa de l'aigua. Totes aquestes alteracions han conduït a una notable reducció de l'extensió dels macròfits (plantes aquàtiques o algues que viuen totalment o parcialment submergides dins de l'aigua) a les llacunes litorals, especialment greu en aquelles que rebien grans volums d'aigua del drenatge dels arrossars (DARPAMN, 2009).

4.1.4. Les salines

Les salines estan situades a la zona de rereduna, al límit amb la platja. És un ambient que està sota la influència directa del mar. Els sòls argilosos-llimosos que ocupa són sovint inundats i per tant, el grau de salinitat és molt elevat. El cas de que canviï la direcció del vent i la de les onades s'intensifiqui en direcció nord-est, aquesta zona deixaria la seva situació rereduna per passar a estar exposada directament al mar, causant la desaparició de la barra del Trabucador. L'onatge sever inundaria la zona reduint la superfície de salinada, on hi viu un dels grups de vegetació més amenaçats a Europa, per la qual cosa el Delta de l'Ebre està considerat d'importància internacional per a la conservació d'aquest tipus d'hàbitats. Aquí perviuen algunes plantes de gran interès, com ara la cirialera vera, el limònium, el limoniastre i la sosa de flor, que només creix a l'hemidelta dret (DARPAMN, 2009). La SLR posa en perill els sosars, també la zona de cria i d'alimentació d'espècies d'interès protegides.

Una avantatge de l'increment de temperatura esdevé, en el procés de salinada, amb l'evaporació ja que puja la concentració salina del sòl fins que s'hi formen els cristalls a la superfície i es produeix de manera natural la sal.

4.1.5. Els marjals

Aquest terme fa referència a una àmplia varietat d'aigües poc profundes i hàbitats intermareals, conegut també com a aiguamolls. Aquest hàbitat és molt important, ja que exerceix funcions essencials en matèria d'inundacions costaneres i de gestió de l'erosió. Els marjals indueixen les onades i dissipen energia, a més d'actuar com a parany de sediments (Nicholls et al., 2007a). Que un marjal sigui ric en vegetació aquàtica significa que contribueix a una estabilització de sediments, que també redueixen l'erosió mitjançant la plana densa de les seves arrels.

El Delta de l'Ebre s'abasteix de grans marjals, un d'ells està situat a l'hemidelta dret amb més del 50 % de la superfície pertanyent a l'Illa de Buda. També cal destacar l'Illa de Sant Antoni i a l'hemidelta esquerre la zona del Garxal. Aquestes zones ja han patit canvis vinculats al desequilibri de sediments per la regulació dels rius i el control de grans avingudes, que protegeixen a la població però perjudiquen a l'ecosistema (Mösso et al., 2011). A més a més també s'han de considerar els canvis en el nivell del mar i, l'enfonsament d'aquestes zones baixes ja dintre de la desembocadura. El simple augment d'1 cm amb la SLR augmentaria l'àrea inundada per diversos metres especialment en aquesta zona. (Mösso et al., 2011).

4.1.6. Les dunes

Al Delta s'hi troben extenses platges sorrenques; un exemple clar és la Punta del Fangar en tota la seva longitud. En menor superfície s'estenen les dunes a lo llarg de la zona oest de la Punta de la Banya. Aquestes dunes es formen mitjançant la direcció i força de l'onatge i la influència del vent, que dipositen i redistribueixen la sorra formant monticles al llarg del litoral.

4.1.7. Les badies

Les badies del delta de l'Ebre (Alfacs i Fangar), d'aigua marina i aigua dolça continental, s'han format per l'aïllament parcial d'un cos d'aigua marina per una fletxa litoral. Consten d'una ampla plataforma soma de fins 1,5 m de profunditat, que voreja tot el marge extern de la badia. Aquesta plataforma enllaça cap al centre de la badia amb un talús de considerable pendent, el qual assoleix progressivament el fons més profund de la cubeta (aproximadament uns 4 m a la badia del Fangar i uns 6 m a la dels Alfacs) (DARPAMN, 2009).

Els forts temporals de Llevant poden provocar unes notables entrades en sobrepassar les fletxes litorals, és a dir, la barra del Trabucador a l'hemidelta dret i la connexió entre la platja de la Marquesa i la Punta del Fangar, a l'hemidelta esquerre. Les aportacions d'aigua dolça, les quals disminueixen la salinitat a dintre les badies, tenen un origen més variable: precipitacions, descàrrega d'aqüífers, etc., però el volum més important prové de reg i buidatge de l'aigua dels arrossars a través de canals. Amb la SLR i els temporals extrems ja s'observa el desplaçament i reducció de l'ample de la barra del Trabucador. La península de la Punta de la Banya, amb petitets variacions del nivell del mar, es convertirà en insular (DARPAMN, 2009).

A l'interior de les badies, la profunditat varia d'1 a 8 m i el fons està cobert d'extenses praderies d'algues i aigües tranquil·les, amb condicions ideals per al cultiu de musclos. Aquestes condicions es veuran afectades per la gran quantitat de CO_2 alliberat a l'atmosfera, essent absorbida pels mars i oceans, lo que comporta l'acidificació del medi amb la baixada del pH, i per tant, una disminució de la concentració d'ions carbonats, que és la base que utilitzen molts organismes calcificadors com els musclos per construir la seva estructura. D'altra banda, l'augment de la temperatura de l'aigua produeix una disminució de la solubilitat de CO_2 atmosfèric, conduint a una disminució de la capacitat de la Mediterrània per capturar aquest gas (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2012).

4.1.8. Els ullals

Són fonts o brolladors naturals que inunden zones més o menys extenses, entre elles els marjals. L'aigua d'aquests brolladors prové de les precipitacions que cauen a les serralades que envolten el delta (Els Ports de Caro, la Serra del Montsià, i la Serra de Cardó), que s'infiltren en el terreny i subterràniament circulen fins aquest afloraments que estan envoltats de llims i argiles obligant a emergir l'aigua a la superfície.

Els ullals acullen diverses espècies de peixos, entre les quals destaquen la rabosa, el fartet i el samaruc, espècies que actualment es troben en perill d'extinció a la península Ibèrica. Aquest microhàbitat que proporciona unes condicions d'aigua dolça i cristal·lina es veu afectat per la manca de precipitació a la serra del Montsià i a la dels Ports, disminuint el cabal emergent que és explotat per al cultiu a través d'un canal de drenatge. Ara mateix, només conserven la seva funcionalitat els ullals de Baltasar i els de Panxa; la resta s'intueix que van deixar de ser funcionals sobre el 1860, quan s'inicià la construcció de la xarxa de reg per al conreu de l'arròs.

4.2. ZONES PORTUÀRIES

El litoral que s'estén al llarg del Delta de l'Ebre comprèn quatre ports. El primer, a l'hemidelta esquerre, pertanyent al terme municipal de l'Ampolla. El segon, i el tercer, el Port de les Muscleres, de petites dimensions, i el Port de Deltebre, ambdós a Deltebre. I per últim, el Port de Sant Carles de la Ràpita, a l'hemidelta dret.

4.2.1. Port de L'Ampolla

A la comarca del Baix Ebre hi ha l'Ampolla. Just davant del municipi hi han les instal·lacions portuàries. El dic del port arrenca del límit Nord de la platja de l'Arquitecte, i ocupa bona part de la façana del nucli urbà. Al Nord del port hi ha la platja del Port i la de les Avellanes. Aquest, està delimitat per dues zones d'usos clarament diferenciats: zona esportiva i zona pesquera. La dàrsena esportiva està situada al sud-oest del port pesquer entre la platja de l'Arquitecte i l'antic contradic (Figura 4.1). La zona pesquera està formada pel moll adossat al dic de Llevant, el moll i la zona d'avarada davant de la plaça González Isla fins al contradic antic (Gabinet Tècnic del DPTOP, 2007).

Figura 4.1. Imatge de satèl·lit del Port de l'Ampolla (Google Maps, desembre 2012)

El port de l'Ampolla està protegit per dos dics convergents. El de Llevant té aproximadament 520 m de longitud i el de Ponent, o contradic, té uns 240 m de longitud. Formen una bocana d'uns 70 m d'amplada i 5 m de calat. La superfície de mirall d'aigua és de 56.666 m^2 i la de terra 37.848 m^2 (Gabinet Tècnic del DPTOP 2007).

4.2.2. Port d'Illa de Mar

Aquest port és desconegut per a molts, es troba ubicat a dintre el terme municipal de Deltebre (agrupa les viles de La Cava, Riumar i Jesús i Maria) a la comarca del Baix Ebre a l'hemidelta esquerre, quedant resguardant dintre de la badia del Fangar.

Figura 4.2. Imatge de satèl·lit del Port d'Illa de Mar (Google Maps, desembre 2012).

En aquest port d'ús exclusiu dels pescadors. Ubicat enfront de les muscleres, només hi amarren petites embarcacions de pescadors i mariscadors. Té una superfície de mirall d'aigua de 15.000 m^2 i 6.000 m^2 de superfície de terra aproximadament, amb una bocana de 20 m d'amplada (Figura 4.2).

Figura 4.3. Aiguamolls del Port d'Illa del Mar (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.4 Bocana del Port d'Illa de Mar. (Anadon i Simon, gener 2013).

La infraestructura de protecció del port és mínima: a ponent aiguamolls naturals, on hi dissipa l'energia de les onades (Figura 4.3); als extrems de la bocana (Figura 4.4), aportacions de sorra revestida d'escullera; i a llevant, un dic en forma de "L" de material sorrenc també revestit d'escullera i troncs.

4.2.3. Port de Deltebre

El Port de Deltebre és el port principal del municipi del mateix nom. Està situat just dintre la riba del riu Ebre a l'hemidelta esquerre, aproximadament a uns 4 km de la desembocadura del riu.

El dic de recer té la mateixa orientació que la vora del riu (Figura 4.5). El port té una superfície de mirall d'aigua de 22.146 m^2 i 7.392 m^2 de superfície de terra, amb una bocana de 3 m de calat.

Figura 4.5 Imatge des de satèl·lit del Port de Deltebre (Google Maps, desembre 2012).

L'activitat pesquera ocupa la zona oest del port, i disposa d'uns 229 m de molls. A la zona Sud del port hi han instal·lats pantalans flotants que acullen embarcacions esportives (Figura 4.6) (Gabinet Tècnic del DPTOP, 2007).

Figura 4.6. Bocana i embarcacions esportives del port fluvial des de diferents punts de vista (Anadon i Simon, abril 2013).

4.2.4. Port de Sant Carles de la Ràpita

El municipi es troba situat a la part interna de la badia dels Alfacs, a refugi de la Punta de la Banya. Al límit nord de la platja del Garbí (la primera platja del poble), comencen les instal·lacions del port. Actualment està compost per una dàrsena comercial, una dàrsena pesquera i unes instal·lacions esportives que han rebut recentment una gran ampliació.

El port té una superfície total de mirall d'aigua de 991.930 m^2 i 494.767 m^2 de superfície de terra. El usos del port es reparteixen entre tres sectors: sector pesquer, sector nàutic i sector comercial.

A la Figura 4.7 es pot observar que la infraestructura de protecció del port comprèn al Sud un llarg dic amb una longitud de 1.150 m aproximadament i un altre al nord, amb dues alineacions de 550 m i 400 m de longitud que formen un angle recte. La bocana té un calat de 6,5 m aproximadament i dóna pas a la part interior del port, mentre que a la zona Nord del port hi ha un dic de recer en forma de "L" on es troba la nova zona comercial, industrial i esportiva (Gabinet Tècnic del DPTOP, 2007).

Figura 4.7. Imatge de satèl·lit del Port de Sant Carles de la Ràpita (Google Maps, desembre 2012).

4.3. CASOS CONCRETS D'ACTUACIONS A LA ZONA DEL DELTA DE L'EBRE

A continuació s'exposa un recull que resumeix les actuacions portades a terme a nivell local acompanyades per les fotografies corresponents. Cal puntualitzar que les actuacions observades són totes de caràcter de protecció en termes d'adaptació.

El primer exemple és al municipi de Sant Carles de la Ràpita, on s'han observat problemes de pèrdua de superfície de platja que s'han limitat al llarg dels anys pel que fa a les platges del poble. S'hi realitzen actuacions que permeten mantenir i protegir el Domini Públic Marítimoterrestre de la acció dels elements naturals i de la pressió d'ús que suporta el litoral (MAAMA, 2006).

La majoria les platges són de sorra d'origen artificial i tenen una vida inferior a 26 anys. A part d'una regeneració de les platges constant també s'hi han anat construït espigons per evitar el transport longitudinal de sediments. A més, s'han hagut d'anar modificant al llarg del temps pel que fa a dimensions longitudinals. Aquestes solucions a nivell local són de caràcter temporal, i a la llarga acaben afavorint els problemes d'erosió a les zones confrontants a l'actuació.

Figura 4.8. Platja de les Delícies. Al fons de la fotografia hi ha la fàbrica de ciment (Anadon i Simon, gener 2013).

La platja que s'observa a la Figura 4.8 ha rebut actuacions de reordenació de sorra, ja que d'un estiu a l'altre es produeix acumulació de sorra aigües amunt i erosió aigües avall degut a la construcció d'aquests espigons. Les platges de les figures 4.9, 4.10 i 4.11 pateixen les mateixes afectacions.

Figura 4.9. Platja de l'Aiguassera (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.10. Platja de la Senieta. La desconeixença dels sistemes de protecció ha dut a l'execució d'un revestiment d'un mur amb un simple conglomerat de roques en ciment (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.11. Platja del Far (Anadon i Simon, gener 2013).

Moltes platges han rebut aportacions de sorra de manera gradual per a aconseguir amples de platja que satisfacin el turisme (per exemple les figures 4.9, 4.10 i 4.11). Originalment eren rocoses, i en conserven encara algun tret original, però han anat ampliant-se i remodelant-se per a obtenir l'estat actual. En canvi la de la Figura 4.12 és de sorra d'origen natural, i igualment ha estat sotmesa a aportacions i remodelacions de sorra com les platges anteriors.

Figura 4.12. Platja Miami (Anadon i Simon, gener 2013).

Alguns propietaris de vivendes i locals existents a primera línia de costa també actuen per a protegir els seus immobles com es pot observar a la Figura 4.13. En aquesta s'hi ha executat un revestiment d'escullera.

Figura 4.13. Actuacions en propietats privades (restaurant Juanito) (Anadon i Simon, gener 2013).

A l'altra banda de la badia dels Alfacs hi han les platges de la barra del Trabucador i tota La Banya. La barra del Trabucador (Figura 4.14) es un espai molt fràgil amb amplades mínimes que durant temporals extrems es veu envaïda per l'aigua marina, connectant amb mar obert la badia dels Alfacs i desconnectant la península de la Banya de la plana deltaica. El tram que discorre des de l'Aluet fins a les salines resta inundat però igualment hi continuen transitant camions de gran tonatge que accedeixen diàriament a les Salines de la Trinitat.

Una altra actuació es tracta del tancament de punts de marjals oberts pel mar (Figura 4.15) per on hi entrava gran quantitat d'aigua marina augmentat en grans proporcions la salinitat dels marjals.

Al final de la Barra del Trabucador s'inicia la Costa de Fora, aquesta platja ha rebut diverses actuacions com ara la creació d'una duna artificial vegetada d'halòfiles que fa de trampa-barrera de sediments (Figura 4.16).

Per últim, aquest tram de costa també ha rebut aportacions de sorra pertanyent a la platja confrontant, la dels Eucaliptus, per a afrontar les pèrdues de sediments en tota la Barra del Trabucador.

Figura 4.14. Platja del Trabucador, lateral a mar obert. Al fons, urbanització i platja dels Eucaliptus (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.15. Marjals protegits. Al fons, la Badia dels Alfacs, la Serralada del Montsià i els Ports de Caro (Anadon i Simon, gener 2013).

Figura 4.16. Duna artificial amb halòfiles replantades. Platja de la Punta de la Banya (Anadon i Simon, gener 2013).

El següent municipi és el de Deltebre. Una de les zones de més valor natural és la península del Fangar, on hi ha una gran extensió de dunes d'origen natural (Figura 4.17). Les seves platges pateixen problemes de pèrdua de superfície de platja, tot i que també hi ha acumulació de sorra en algunes altres.

Figura 4.17. Platja del Fangar amb dunes d'origen natural. Al fons, el Coll de l'Alba i el Parc Eòlic del Perelló (Anadon i Simon, gener 2013).

El 31 de gener de 2012, en una sessió ordinària, el ple Municipal de l'Ajuntament de Deltebre va aprovar una proposta urgent que preveu la incorporació al Pla Parcial Urbanístic Riumar IV-I l'aportació de 5.000 m^3 de sorra anuals a la platja de Riumar, (Figura 4.18) per garantir el control de la regressió i encarregar el projecte d'aportació de sorra i l'estudi d'impacte ambiental.

Figura 4.18. Platja de Riumar, vistes de sobre una duna. Al fons s'observa la urbanització amb el mateix nom (Anadon i Simon, abril 2013).

Una actuació important és la demolició de tot el camí que conduïa del Mas dels Bascos fins a ben entrada la Punta del Fangar (Figura 4.19). Aquest discorria per domini públic maritimoterrestre i en produir-se fortes llevantades els vehicles i les persones que hi circulaven podien quedar exposades a greus perills, a més, de quedar la zona anegada. Hi ha previst el traçat del nou camí a la zona de servitud de protecció, proporcionant així un camí transitable quan hi hagi forts temporals. També s'hi han fet actuacions per a la protecció de les edificacions existents (Figura 4.20).

Figura 4.19. Punta del Fangar. Aquí hi havia ubicat l'únic camí que connectava amb el far del la Punta del Fangar (Anadon i Simon, gener 2013).

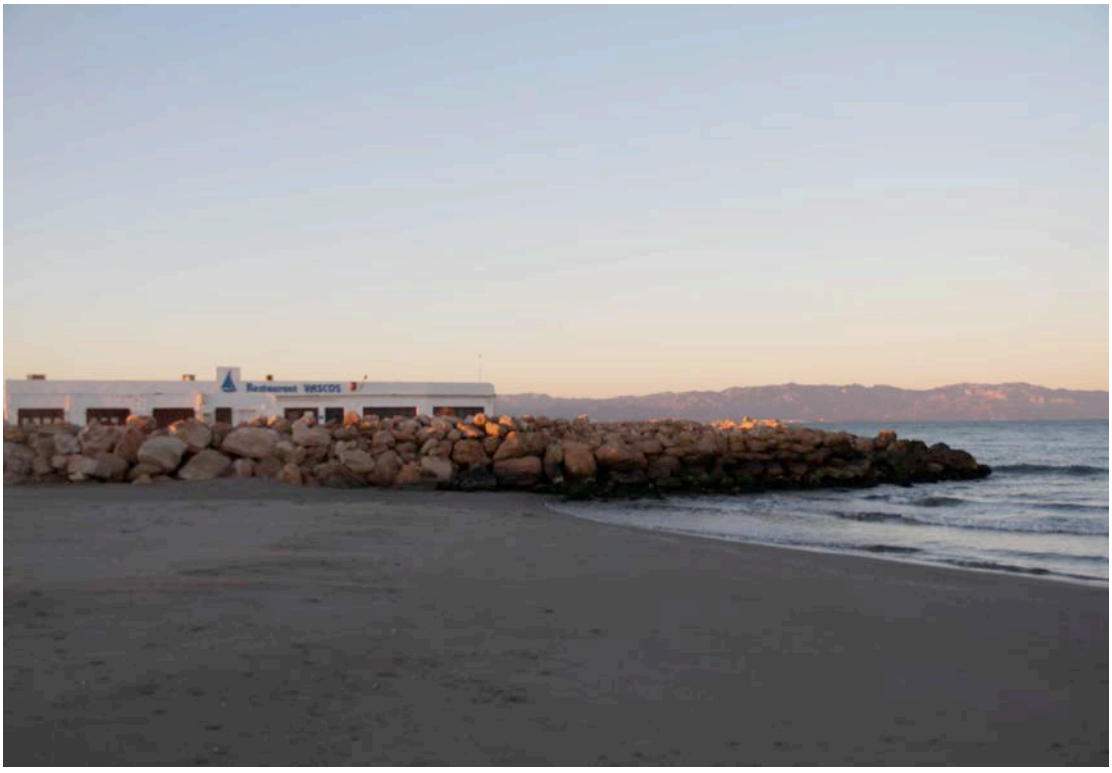

Figura 4.20. Platja de la Marquesa. Aquest restaurant quedava exposat a forts temporals de Llevant, per a la seva protecció s'hi ha construït un revestiment d'escullera (Anadon i Simon, gener 2013).

Pel que fa al municipi de l'Ampolla, s'han hagut de recuperar algunes platges. Originalment existien però, a l'hora de construir i actuar sobre el passeig marítim, s'hi van aixecar murs de protecció del backshore que han acabat erosionant la costa reduint a un o dos metres l'amplada d'aquestes. Ara s'han anat recuperant a partir d'aportacions artificials de sorra (figures 4.21 i 4.22). Des del 2009 fins avui s'han dut a terme actuacions que permeten mantenir i protegir el DPMT de la acció dels elements naturals i de la pressió d'ús que suporta el litoral (MAAMA, 2012).

Figura 4.21. Platja de les Avellanes (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 4.22. Platja de l'Arquitecte (Anadon i Simon, abril 2013).

La platja de la Figura 4.21 originalment era una caleta molt reduïda de roca i àrid gruixut que amb el temps s'ha ampliat i s'hi ha aportat sorra d'origen artificial. Al estar envoltada de mesures de defensa dures afavoreix a la pèrdua excessiva de sediment. A l'Ampolla encara es conserven platges amb les seves característiques originals com ara la que s'observa a la Figura 4.23, que resta resguardada a diferència de la platja de l'Arenal (Figura 4.24), és la més exposada del municipi als forts temporals de Llevant.

Figura 4.23. Platja dels Capellans (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 4.24. Platja de l'Arenal. A la dreta de la fotografia i paral·lela a la línia de costa s'hi pot apreciar una duna (Anadon i Simon, abril 2013).

La platja de l'Arenal és la que rep més actuacions d'aportació de sorra i remodelació de l'existent, ja que es produeix una important pèrdua de sorra i s'hi ha d'actuar de manera anual. Aquesta antigament gaudia d'un ample de platja més extens, però en construir-hi la carretera va minvar a la meitat i ara queda greument desprotegida i la carretera exposada a les ones incidents en dies de forta Llevantada.

Contrarestant amb els municipis anteriors, les platges pertanyents a Sant Jaume d'Enveja mai han rebut cap tipus d'actuació per a adaptar-se als processos d'erosió. No obstant això, hi han zones protegides on no es permès l'accés al públic.

En aquest municipi hi ha actuacions previstes que tenen com a objectiu recuperar i millorar les condicions d'una part significativa del domini públic marítimoterrestre del Delta de l'Ebre, a les voltes de la llacuna de l'Alfacada. Aquestes consisteixen en el recondicionament i simplificació de la xarxa hidrològica de la llacuna de L'Alfacada (Figura 4.25), mitjançant el restabliment de la connexió del riu Migjorn i el reajustament del sistema de drenatge dels canals de la llacuna en la intenció de crear, mantindre i conservar la zona humida litoral. Davant la situació actual de la llacuna, s'ha vist necessari garantir les aportacions d'aigua dolça en diferents sectors, però també s'ha de garantir la comunicació amb el mar per a mantindre les condicions de salabror en altres sectors. Per a garantir l'aportació d'aigua dolça en tot el sector nord-oest, hi ha previst la construcció d'un canal que agafi aigua del braç del Migjorn i la transporti fins als antic arrossars fins a l'extrem oest, les zones corresponents als Lluents de Morisquet i Llagostins (MAAMA, 2012).

Figura 4.25. Llacuna de l'Alfacada (Anadon i Simon, abril 2013).

El terme municipal d'Amposta abasta una única i extensa platja, la dels Eucaliptus (Figura 4.26), on s'ha detectat fluctuació i reorientació al seu llarg. No s'hi ha realitzat mai cap tipus d'actuació per combatre-ho. En aquesta, s'hi troba una urbanització amb

el mateix nom que albergava a primera línia de platja un càmping i un restaurant (Figura 4.27). Ja sigui per decret llei, perquè ambdós estaven ubicats dintre de zona declarada com a Parc Natural o per estar extremadament exposats a temporals extrems representant un perill per als ocupants, s'hi ha produït una reordenació urbana: el restaurant ha estat enderrocat i el càmping, traslladat a la zona interior de la urbanització. S'està parlant d'una nova delimitació del DPMT.

Figura 4.26. Platja dels Eucaliptus. Zona on hi ha aproximadament un quilòmetre d'ample de platja inundat per un fort temporal (Anadon i Simon, abril 2013).

Figura 4.27. Zona de la platja dels Eucaliptus on anteriorment hi havia ubicat el restaurant Mediterrani i un càmping (Anadon i Simon, abril 2013).

5. Marc conceptual

5.1. MARC CONCEPTUAL GENERAL

Actualment hi ha diferents grup d'escenaris amb el propòsit de conèixer les possibles línies evolutives per a obtindre els resultats que podria produir el canvi climàtic d'ara a endavant. Els escenaris, inclouen quatre combinacions suposant diversos canvis en funció de la demografia, el desenvolupament econòmic i social, i els avenços tecnològics generals (A1B, A2, B1, B2). Per altra banda l'A1FL i l'A1T, són dos grups d'escenaris que investiguen de manera explícita el possible desenvolupament de diferents tecnologies energètiques per a l'escenari A1B. Tots els escenaris d'emissions del IEEE conclouen en un augment de les concentracions atmosfèriques de CO_2. Aquests escenaris d'emissió van ser desenvolupats per Nakičenovič i Swart (2000) i utilitzats, en particular, com a base per algunes de les projeccions climàtiques previstes en el Quart Informe d'avaluació del IPCC.

Els termes següents ajudaran a comprendre millor l'estructura i la manera en què s'utilitza el conjunt d'escenaris IEEE (2000):

- Família d'escenaris: es tracta d'escenaris amb línies argumentals demogràfiques, socials, econòmiques i tècniques similars. El conjunt d'escenaris IEEE està integrat per quatre famílies d'escenaris, denominades A1, A2, B1 i B2.
- Escenari il·lustratiu: és l'escenari que tipifica algun dels sis grups d'escenaris referits en el IEEE (2000). Conté quatre 'escenaris testimonials' revisats pels grups d'escenaris A1B, A2, B1 i B2 i dos escenaris addicionals per als grups A1FI i A1T. Tots els grups d'escenaris són igualment consistents.
- Escenari testimonial: és un esborrany d'escenari inserit originalment al lloc web de l'IEEE per representar una família d'escenaris donada. La seva selecció es va determinar en funció de les quantificacions inicials que millor reflectien la línia argumental i les particularitats de determinats models. Els escenaris testimonials no són més versemblants que altres escenaris, però l'equip de redacció de l'IEEE els va considerar il·lustratius de determinada línia narrativa. Es van seleccionar també escenaris il·lustratius dels altres dos grups d'escenaris.
- Línia argumental: Descripció textual d'un escenari (o família d'escenaris) que exposa les seves principals característiques, les relacions entre les principals forces originants i la dinàmica de la seva evolució.

A continuació es descriuen les diferents línies evolutives:

- En la línia evolutiva i família d'escenaris A1 es descriu un món futur amb un ràpid creixement econòmic, una població mundial que assoleix el seu valor màxim cap a mitjans de segle i disminueix posteriorment. L'escenari A1 es basa en una ràpida introducció a les més eficients i noves tecnologies. Les seves característiques distintives més importants són la convergència entre regions, la creació de capacitat i l'augment de les interaccions culturals i socials, acompanyades d'una notable reducció de les diferències regionals pel que fa a ingressos per habitant. La família d'escenaris A1 es desglossa en tres grups que descriuen direccions alternatives del canvi tecnològic en el sistema d'energia. Els tres grups A1 es diferencien en la seva orientació tecnològica: utilització

intensiva de combustibles d'origen fòssil (A1FI), utilització de fonts d'energia d'origen no fòssil (A1T), i per últim, utilització equilibrada de tot tipus de fonts (A1B). El terme "equilibrada" indica que no dependrà excessivament d'un tipus de font d'energia, en el supòsit que totes les fonts de subministrament d'energia i totes les tecnologies d'ús final experimentin millores similars (IEEE, 2000).

- La família de línies evolutives i escenaris A2 descriu un món molt heterogeni. Les seves característiques més distintives són l'autosuficiència i la conservació de les identitats locals. Les pautes de fertilitat en el conjunt de les regions convergeixen molt lentament, amb el que s'obté una població mundial en continu creixement. El desenvolupament econòmic està orientat bàsicament a les regions, el creixement econòmic per habitant i també el canvi tecnològic estan més fragmentats i són més lents que en altres línies evolutives (IEEE, 2000).
- La família de línies evolutives i escenaris B1 descriu un món convergent amb una mateixa població mundial que arriba a un màxim cap a mitjans de segle i descendeix posteriorment, com en la línia evolutiva A1, però aquesta es basa en ràpids canvis en les estructures econòmiques orientada a una economia de serveis i d'informació, i seguida d'una utilització menys intensiva dels materials i de la introducció de tecnologies netes amb un aprofitament eficaç dels recursos. En aquesta es dóna preponderància a les solucions d'ordre mundial encaminades a la sostenibilitat econòmica, social i mediambiental, així com a una major igualtat, però en absència d'iniciatives addicionals en relació amb el clima (IEEE, 2000).
- La família de línies evolutives i escenaris B2 descriu un món en el qual predominen les solucions locals a la sostenibilitat econòmica, social i mediambiental. És un món on la població augmenta progressivament a un ritme menor que a l'A2, hi consten uns nivells de desenvolupament econòmic intermedis i un canvi tecnològic menys ràpid i més divers que en les línies evolutives B1 i A1. Encara que aquest escenari està també orientat a la protecció del medi ambient i a la igualtat social, se centra principalment en els nivells local i regional (IEEE, 2000).

A la gràfica de l'esquerra de la Figura 5.1 hi ha representades unes línies de traç continu que representen mitjanes mundials multimodel de l'escalfament en superfície (respecte al període 1980-1999) per als escenaris IEEE A2, A1B i B1, representats com a continuació de les simulacions del segle XX. La línia taronja descriu un experiment en que les concentracions es van mantindre constants en valors de l'any 2000. Les barres del centre de la figura representen l'estimació òptima (línia gruixuda tranversal interior) i l'interval de valors probables per als sis escenaris testimonials del IEEE en el període 2090-2099 respecte al de 1980-1999. L'estimació òptima i els intervals probables representats per les barres abasten els models de circulació general atmosfera-oceà (MCGAO) indicats a la part esquerra, així com els resultats d'una jerarquia de models independents i les limitacions observacionals. Les imatges de la dreta representen les projeccions del canvi de la temperatura en la superfície per a l'inici i final del segle XXI, respecte al període 1980-1999. Als mapes apareixen representades les projeccions dels MCGAO per als escenaris IEEE A2 (a dalt), A1B (al centre) i B1 (a la part inferior) a llarg dels decennis 2020-2029 (esquerra) i 2090-2099 (dreta).

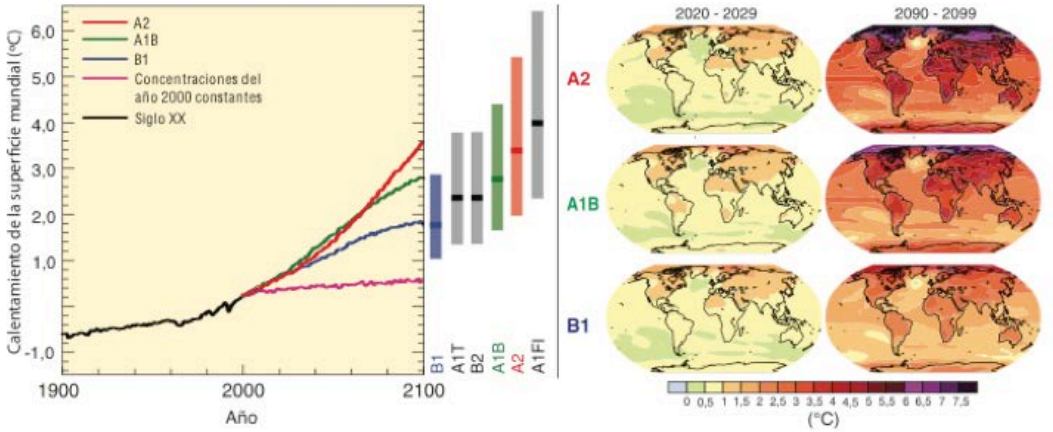

Figura 5.1. Projeccions de l'escalfament global en superfície obtingudes d'un model de circulació general atmosfera-oceà (IPCC, 2007).

5.2. MARC CONCEPTUAL DEL TREBALL

Partint de certa desconeixença envers el canvi climàtic, una conferència titulada *El clima y su cambio. Efecto sobre la agricultura, rios y costa (Proyecto Arco)* va acabar encarrilant aquesta tesina. Els dubtes i les incerteses que van sorgir d'aquestes jornades esdeveniren factors clau a l'hora d'iniciar la recerca.

Partint d'un organisme internacional amb el *United Nations Environment Program* es van anar resolent preguntes i sobretot va contribuir a l'entesa i la clara diferència entre adaptació i mitigació. El *Intergovernmental Panel on Climate Change* també ha anat marcant les pautes per al coneixement dels possibles escenaris i la obtenció dels resultats.

Com es pot observar la tesina ha estat realitzada amb una extensa informació procedent d'altres països que, en aquest precís moment, resten més avançats en matèria de canvi climàtic. Tot comença a prendre forma a partir d'una lectura a fons del llibre titulat *Technologies for Climate Change Adaptation, Coastal Erosion and Flooding.* D'aquí sorgeixen moltes de les respostes als dubtes plantejats a la conferència inicial.

Per a correlacionar la informació obtinguda amb l'existent dintre l'estat, ja va anar intervenint una recopilació d'informació de fonts diverses, des de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic fins a l'Observatori de l'Ebre, així poder obtenir informació més focalitzada del Delta de l'Ebre. Altres documents que han guiat aquesta tesina pertanyen a membres de la unitat d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona.

Per últim, a nivell local s'ha pogut estudiar i palpar la realitat de les actuacions, on predomina l'execució d'infraestructures per personal sense coneixements sobre els sistemes constructius adequats ni les seves repercussions, és a dir, manquen de competències corresponents per a poder dur a terme les execucions relacionades amb el retrocés de la línia de costa.

6. Resultats

6.1. QUALITAT DE L'AIGUA (WQ)

Quan es fa referència a la qualitat de l'aigua es parla de la composició d'aquesta i a tots els processos que afecten directament o indirecta la seva utilització per a un fi determinat, amb dos factors clau: la temperatura de l'aigua i l'oxigen dissolt.

La qualitat de l'aigua es pot avaluar a partir de la quantitat d'oxigen dissolt (OD) en columna d'aigua. Les mesures de les concentracions de components normalment, es comparen amb els estàndards de qualitat de l'aigua. Les activitats humanes com ara la pesca, l'aqüicultura… poden degradar-la, lo qual és observable químicament per una disminució de l'oxigen dissolt induïda pels canvis en les aportacions de nutrients no comuns o excés de comuns, i per l'escalfament de masses d'aigua costaneres.

El rang d'OD a la Mediterrània és d'entre 5 i 12 mg/l. Per sota de 5 mg/l el sistema aquàtic esdevé vulnerable i la qualitat de l'aigua (WQ) es degrada ràpidament. Suposant una relació lineal de la temperatura amb l'OD s'obté que el segon disminueix aproximadament un 2% (0,15 mg/l) per cada 1ºC que augmenta la temperatura (Sánchez-Arcilla et al., 2011). Es requeriria un augment de temperatura d'aproximadament 15ºC per a arribar al límit dels 5 mg/l, una disminució de la WQ d'aproximadament 7% per cada 1ºC d'escalfament. A la imatge de la dreta de la Figura 5.1 es poden observar les projeccions del canvi de temperatura a la superfície per a l'inici i final del segle XXI per als diferents escenaris A2, A1B, B1, des d'on s'obté que, si es produeix el pitjor dels escenaris possibles, l'A2, durant el període 2090-2099 s'espera que la Mediterrània assoleixi un increment de temperatura d'entre 3 i 4,5ºC depenent de la zona, per tant és produiria una disminució de la WQ d'entre el 21 i el 31,5%, i en el cas de l'OD, una disminució d'entre 1 i 1,5 mg/l.

El contingut de pH també és important en la qualitat de l'aigua. L'escala del pH és logarítmica i mesura l'acidesa o alcalinitat d'una substància. Va de 0 (molt àcid) a 14 (bàsic), mentre que 7 en aquesta escala indica la neutralitat i rang òptim de vida. El pH mitjà global de l'oceà era de 8,2 abans de la industrialització, però l'acidesa de l'oceà ha augmentat ja que els oceans han absorbit aquests increments (UNEP, 2010).

Les estimacions (Caldeira i Wickett, 2003) de les tendències futures de l'acidificació de l'oceà es poden fer per als diferents escenaris d'emissions de CO_2, com les publicades per l'IPCC (2007). En base a les taxes actuals d'emissions de CO_2, les projeccions indiquen que per a finals del segle XXI, el pH oceànic mundial disminuirà al voltant de 0,3 punts, el que representa un increment total de l'acidesa del 150% (Caldeira i Wickett, 2003). Si el pH de l'oceà continua disminuint, això podria conduir a la pèrdua d'algunes closques i/o esquelets que formen certs organismes (Royal Society, 2005; Orr et al., 2005; Turley i Findlay, 2009). Amb el temps, els sediments dels oceans aniran esmorteint aquests canvis químics, però la recuperació d'aquests esdeveniments poden tenir desenes de milers de anys (Archer i Brovkin, 2008) mentre que un retorn al *status quo* biològic, podria trigar milions d'anys (Fuqua et al., 2008).

6.2. RETROCÉS DE LA LÍNIA DE PLATJA

La posició de línia de la platja i l'eliminació de grans volums de sorra de les platges estan directament relacionades amb l'increment de temperatura de l'aire, la pujada del nivell del mar i els canvis en les tempestes d'onatge relacionades amb el clima (pendent d'ona, durada de la tempesta i direcció de l'onatge). Qualsevol variació d'aquests paràmetres pot donar lloc a importants pèrdues de terres i hàbitats (Sánchez-Arcilla et al., 2008).

La migració natural de la costa és de caràcter estacional (Sánchez-Arcilla et al., 2011); per exemple: les tempestes més energètiques, actualment s'enregistren a la tardor. Aquestes produeixen règims d'erosió importants i nivells d'aigua més elevats (Mösso et al., 2011). Per tant, la intrusió de l'onatge dins el domini públic marítimoterrestre, que depèn majoritàriament de l'ample de la platja i del seu pendent, variarà en funció dels canvis que esdevinguin del nivell del mar i de l'energia d'ona.

La "Regla de Bruun" és el model més conegut i àmpliament aplicat per valorar aquest procés (Bruun, 1962). Aquest suggereix que la recessió de la costa està compresa en el rang de 50 a 100 vegades l'augment del nivell relatiu del mar (RSLR) i és causat pel desig d'una platja de mantenir en equilibri el seu perfil de platja. S'ha de tindre clar que la "Regla de Bruun" simplifica en gran mesura el comportament de la zona costanera i, en realitat, els nombrosos processos que no estan inclosos a l'ajust del perfil de SLR influiran en el perfil i la posició de la costa. Per tant, se necessita un balanç de sediments complet per a predir de manera precisa la resposta de la costa a la SLR (Stive et al., 2009).

Per mantenir el perfil d'equilibri en presència de la SLR, el sediment es retirat de la línia de costa, ocasionant l'erosió (el grau d'aquest està relacionat amb la magnitud i freqüència de les tempestes costaneres i per tant pot arribar a ser molt variable). Posteriorment es diposita mar endins guanyant certa elevació amb una taxa igual a l'elevació del nivell del mar. A mesura que augmenta el nivell del mar, el perfil de la platja s'ajusta desplaçant-se en sentit ascendent i també cap a terra mitjançant l'eliminació dels sediments de la costa amb el seu dipositament en zones properes a aquesta. Per tant, els volums de material erosionat i dipositats són iguals.

En un estudi realitzat per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2008a) s'utilitzen els escenaris amb tendències a llarg termini de les dinàmiques marines (onatge i marea meteorològica a l'any 2050) i la projecció d'ascens de nivell mitjà del mar global per a l'escenari A1B de l'IPCC (escenari mitjà) per a l'any 2050: 15 cm de pujada. A més, es fa una prognosi per a l'any 2100 per a l'escenari A1B amb un ascens de 40 cm i per a un escenari que s'ha considerat pessimista, el qual consisteix en una sobreelevació del nivell mitjà del mar de 100 cm, analitzant el retrocés mitjà de la línia de costa segons dos factors per separat: el transport longitudinal de sediments (Taula 6.1) i l'augment mitjà del nivell del mar (Taula 6.2).

Retrocés mitjà de la costa per transport longitudinal (m)	15 cm any horitzó 2050	40 i 100 cm any horitzó 2100	m/any
Península del Fangar	-348,30	-753,29	-8,10
Platja de la Marquesa	10,24	22,14	0,24
Platja Riumar i Cap de Tortosa	194,42	420,48	4,52
Platja del Serrallo i platja Migjorn	-120,81	-261,28	-2,81
Platja dels Eucaliptus	-76,97	-166,48	-1,79
Platja del 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

Taula 6.1. Retrocés mitjà de la línia de la costa per transport longitudinal de sediment (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2008a).

Retrocés mitjà de la costa per augment del nivell del mar (m)	15 cm any horitzó 2050	40 cm any horitzó 2100	100 cm any horitzó 2100
Península del Fangar	8,90	23,72	59,31
Platja de la Marquesa	10,25	27,33	68,33
Platja Riumar i Cap de Tortosa	10,15	27,06	67,65
Platja del Serrallo i platja Migjorn	9,70	25,85	64,64
Platja dels Eucaliptus	9,05	24,12	60,30
Platja del 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

Taula 6.2. Retrocés mitjà de la línia de la costa per augment del nivell del mar (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2008a).

Pel que fa als escenaris de l'IPCC (2007) més optimistes (baix nivell d'emissions, baixa sensibilitat climàtica, baixa resposta del nivell del mar), la SLR no ha d'excedir els 25 cm per a finals d'aquest segle. A l'escenari més pessimista de l'IPCC, la SLR podria arribar als 25 cm a 2050 i fins a 60 cm per a l'any 2100 (Hallegatte et al., 2010). A la Taula 6.3 hi han els resultats del retrocés pertinent seguint la simplicitat dels càlculs de les taules de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2008a):

Retrocés mitjà de la línia de la costa per augment del nivell del mar (m)	25 cm any horitzó 2050	60 cm any horitzó 2100
Península del Fangar	14,83	35,60
Platja de la Marquesa	17,08	41,00
Platja Riumar i Cap de Tortosa	16,92	40,60
Platja del Serrallo i platja Migjorn	16,17	38,80
Platja dels Eucaliptus	15,08	36,20
Platja del Trabucador	15,20	36,48
Salines de la Trinitat	15,57	37,36
Punta de la Banya	13,08	31,40

Taula 6.3. Retrocés mitjà de la línia de la costa per augment del nivell del mar (a partir de les projeccions del IPCC (2007).

Altres anàlisis (per exemple, Rahmstorf, 2007; Pfeffer et al., 2008) suggereixen que l'augment global del nivell del mar seria entre 50 i 200 cm per sobre dels nivells de 1990 per a l'any 2100, ja que les projeccions del IPCC no inclouen les contribucions de les capes de desgel dels casquets polars (a causa de les limitacions de les tècniques de modelatge utilitzades). A la Taula 6.4 hi han els resultats obtinguts per als escenaris anteriors.

Retrocés mitjà de la línia de la costa per augment del nivell del mar (m)	**50 cm any horitzó 2050**	**200 cm any horitzó 2100**
Península del Fangar	29,67	118,67
Platja de la Marquesa	34,17	136,67
Platja Riumar i Cap de Tortosa	33,83	135,33
Platja del Serrallo i platja Migjorn	32,33	129,33
Platja dels Eucaliptus	30,17	120,67
Platja del Trabucador	30,40	121,60
Salines de la Trinitat	31,13	124,53
Punta de la Banya	26,17	104,67

Taula 6.4. Retrocés mitjà de la línia de la costa per augment del nivell del mar a partir de les projeccions de Rahmstorf (2007) i Pfeffer et al. (2008).

A partir dels plànols disponibles a l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC, 2013) s'han localitzat tots els punts esmentats de les platges anteriors. A continuació hi ha un recull de les cotes altimètriques màximes per poder contrastar-ho amb les diferents SLR esperades i els amples màxims de platja aproximats. A la Taula 6.5 hi ha la relació de les zones avaluades en les taules anteriors amb els amples i les cotes altimètriques corresponents, mentre que a la Taula 6.6 s'hi pot observar l'avaluació del grau de disminució de l'ample de platja i la seva desaparició en funció de diferents valors de la pujada del nivell del mar.

Zones avaluades	**Amples de platja màxims aproximats (m)**	**cota altimètrica màxima actual (cm)**
Península del Fangar	1260	400
Platja de la Marquesa	120	80
Platja Riumar	277	550
Cap de Tortosa	157	30
Platja del Serrallo	450	40
Platja Migjorn	450	80
Platja dels Eucaliptus	306	140
Platja del Trabucador	127	240
Salines de la Trinitat	1066	50
Punta de la Banya	2361	190

Taula 6.5. Cotes altimètriques màximes actuals (ICC, 2013). Aquestes dades són únicament del paratge natural, no inclou camins ni edificacions.

Zones avaluades	Projeccions de la possible SLR (cm)					
	15	40	50	60	100	200
Península del Fangar	A	B	B	B	C	C
Platja de la Marquesa	B	C	C	C	D	D
Platja Riumar	B	C	C	C	C	C
Cap de Tortosa	C	D	D	D	D	D
Platja del Serrallo	C	D	D	D	D	D
Platja Migjorn	B	C	C	C	D	D
Platja dels Eucaliptus	B	C	C	C	C	D
Platja del Trabucador	B	C	C	C	C	C
Salines de la Trinitat	C	D	D	D	D	D
Punta de la Banya	B	C	C	C	C	D

Taula 6.6. Avaluació dels resultats de la pujada del nivell del mar. On A és una disminució inferior al 10% de l'ample total; B, estat decadent amb amples molt reduïts; C, estat molt decadent on resten petit monticles; i D, desaparició.

6.3. FALCA SALINA

Quan es parla d'aquest terme s'entra en el funcionament del cicle de l'aigua. Quan disminueix el cabal d'un riu, aigües amunt de la seva desembocadura apareix un increment de la salinitat que va avançant en funció també de l'augment del nivell del mar, és a dir, la SLR potenciarà l'existència de la falca salina, en una àrea major i durant més temps. A més, la disminució del cabal fluvial produirà una dilució menor de contaminants i un major temps de permanència d'aquesta falca (Sierra et al., 2004), que fins ara ha estat de caràcter estacional.

El canvi climàtic esdevé visible amb el descens de les precipitacions (Taula 2.2) i la disminució/inexistència del procés de desgel. Aquests paràmetres sumats a la regulació del flux del riu mitjançant embassaments conclouen en la disminució del cabal tot agreujant la situació del temps de permanència de la falca salina. Si a tots aquests indicadors encara s'hi afegeix la SLR, es potenciaria encara més aquest període de permanència.

Al 2008 la falca sobrepassava l'illa de Gràcia al voltant d'un 20% del temps. Preveuen que d'aquí a 100 anys aquesta, sigui del 40 %, i en el pitjor dels casos, l'ocupació sigui del 50% del temps (PDUSC, 2005). Al llarg del 2008 i durant un 10% del temps a l'any mitjà no existia falca salina (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2008a). Actualment el 50% del temps roman en els 20 km últims (Sierra et al., 2004; Mösso et al., 2011).

Sobre la presència i permanència de la falca salina també s'hi parla a l'informe titulat Avaluació crítica del Pla Hidrològic Nacional i proposta per a una gestió sostenible de l'aigua del Baix Ebre (Prat i Ibáñez, 2003), on enumera resultats per a tres casos:

A. Quan el flux del riu és inferior a 100 m^3/s, llavors la falca salina arriba a 32 km de la desembocadura.
B. Amb cabals d'entre 100 i 300 m^3/s, la falca pot arribar a l'illa de Gràcia.

C. Quan el cabal és superior a 400 m^3/s, la falca comença a desaparèixer.

A partir d'un estudi de seguiment de la presència i permanència de la falca salina des d'una altra font, conclou en que el límit superior de cabal del riu per a l'existència de falca salina és de 600 m^3/s, i en descriu dos escenaris en funció del percentatge del temps de permanència un per a l'horitzó 2100, quan es preveu que la falca arribarà a la illa de Gràcia un 40% de temps d'un any mitjà, i en un 50% del temps, en l'escenari pessimista (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2008c).

Actualment, la proliferació del fitoplàncton per un excés de nutrients (eutròfia) ja és molt important en el període càlid, la qual cosa comporta una forta acumulació de matèria orgànica en la falca salina que implica un consum important d'oxigen. Aquesta situació pot arribar a causar un esgotament total de l'OD (anòxia) en la falca salina, excepte a la zona propera a la desembocadura, la qual cosa implica una desaparició total de la fauna i la vegetació aquàtica (Ibáñez et al., 1995). La detracció de cabals podria perllongar aquesta situació de falta d'oxigen a períodes més llargs que en l'actualitat. A més, s'hauria d'estudiar la possibilitat d'alliberar cabals de l'ordre de 400 m^3/s com a mínim per a eliminar la falca salina després de períodes llargs d'anòxia, amb la finalitat de millorar l'estat ecològic de l'estuari (Ibáñez, 2000).

7. Proposta de mesures de mitigació i/o adaptació

A l'hora de parlar de mesures, com ja s'ha vist en els apartats anteriors, es poden dividir en dos grups: mesures de mitigació i mesures d'adaptació; i aquesta última en dos subgrups, segons el tipus d'aplicació pot ser: reactiva o anticipatòria. L'adaptació reactiva es produeix quan els efectes inicials del canvi climàtic ja són evidents, mentre que l'adaptació anticipatòria es produeix abans de que els impactes es manifestin.

Hi ha una sèrie d'eines disponibles per ajudar a la presa de decisions sobre quines tecnologies a emprar i quan i on s'han de posar en pràctica. Aquestes inclouen anàlisi cost-benefici, l'anàlisi de cost-efectivitat i l'anàlisi multicriteri.

Sempre que es pugui, cal prioritzar la utilització de defenses toves, com serien les dunes. Aquestes no malmeten l'ecosistema, protegeixen l'hàbitat i continuen deixant pas a l'accés de persones per a poder gaudir de la natura i de totes les funcions recreatives que ofereix la platja. És una grata mesura d'adaptació, no ofereix un resultat tangible instantàniament, però té un menor cost econòmic i ambiental en comparació a les defenses dures.

Per a protegir la zona de costa a mar obert de la plana deltaica, com seria tota la costa exterior des de Lo Tamarit, passant per l'Aluet i fins a Riumar, s'hauria d'actuar per a poder restaurar totes les zones humides intermareals. El traçat de camins esporàdics no legalitzats entre la línia de costa i els marjals, ha reduït aquest tram a més de dessecar-lo. Restaurar-ho significaria l'afavoriment de la dissipació de l'energia, amb la reducció de l'alçada d'ona incident i la disminució de l'efecte de les marees en el *backshore*. Un cop recuperats els marjals també afavoririen diferents processos naturals com ara la provisió d'hàbitat, producció d'aliments i la millora de la qualitat de l'aigua (Linham i Nicholls, 2010), a més de produir beneficis econòmics millorant la productivitat de les aigües costaneres per a la pesca i el marisqueig.

Un altre mètode de defensa tova a proposar és la creació de noves dunes i la rehabilitació de les existents. Els beneficis obtinguts anirien des de l'obtenció de zones de protecció de l'hàbitat (mentrestant es podria continuar accedint als recursos ambientals i recreatius) fins a la creació d'àrees que potenciarien la mitigació de marees meteorològiques i tempestes d'onatge. Una solució en mesures d'adaptació, que a més seria estètica ja que a diferència d'una mesura dura, no causaria impacte visual. Es podria invertir en la rehabilitació i la creació de dunes des del la Punta de la Banya passant pel Tamarit fins a la Costa de Fora, al terme municipal de Sant Carles de la Ràpita, també a la zona de la Punta del Fangar, a Deltebre. En canvi, a la Barra del Trabucador es podria aprofitar el traçat de la línia elèctrica existent per a crear una duna en el mateix recorregut, que permetria aprofitar i marcar la seva posició fixa evitant el desplaçament transversal de la barra, mentre que les torres podrien aprofitar-se de trampa-barrera de sediments. La solució també seria l'adequada en les dues úniques urbanitzacions més exposades a temporals extrems i a la SLR, Els Eucaliptus al terme municipal d'Amposta i Riumar, a Deltebre. Es podria evitar la construcció de grans infraestructures enginyerils per a protegir la població mitjançant la creació d'una duna artificial als Eucaliptus i la pertinent rehabilitació i/o manteniment de les dunes existents a la platja de Riumar, davant la urbanització amb el mateix nom. Aquestes

mesures d'adaptació ajudarien a protegir el gran nombre de cases baixes que conformen ambdues urbanitzacions.

Una altra proposta per a combatre l'erosió seria recórrer a l'alimentació i regeneració de platges després de cada llevantada que desprovisi la costa de sediments i també per a sanejar les platges que han utilitzat defenses dures, com ara espigons mal dissenyats, que fins ara han aconseguit un èxit limitat en la retenció de material de platja com serien totes les platges urbanes dels municipis de Sant Carles de la Ràpita i de l'Ampolla. Aquest procés requeriria una font adequada de sediments en un proximitat suficient al lloc d'aliment per a evitar elevats costos de transport ja que la disponibilitat de sediments és molt variable depenent de la zona on s'actua. És imprescindible que el tamany i el color de l'àrid aportat mantingui les mateixes característiques del perfil de platja existent. Una possible font esdevindria del dragatge de manteniment i ampliació de nous ports i aportar els sediments adequats, però s'ha de tindre en compte que les dragues del port poden contindre alts nivells de contaminants que han de ser monitoritzats acuradament.

Actuar sobre els patrons de manteniment de les estructures existents de protecció de la costa, com ara dics i espigons, seria una mesura de conservació de les mesures d'adaptació actuals. Aquest abandonament és degut a l'elevat cost de manteniment d'un dic sumat a costos que no són significatius de mercat i esdevenen una barrera per a actuar-hi deixant-ho en un estat de deterioració. Essent que l'exposició a les inundacions augmentarà independentment del nivell de protecció i les conseqüències de la fallada o col·lapse d'aquests sistemes incrementaran amb la SLR (Hallegatte et al., 2010) cal realitzar un manteniment impecable i serà un factor important a tindre en compte en matèria anticipatòria.

En el cas de noves execucions de defenses dures, s'ha de tindre especial cura de l'ús del sòl i els plans d'urbanització per a evitar que cap actiu sigui exposat a risc; a més, aquests han de ser projectats per tècnics entesos. L'experiència passada demostra que la modernització de les estructures de defensa costanera és un procés llarg que requereix visió de futur i una planificació adequada. S'hauria d'actuar en l'adaptació a llarg termini de les ciutats costaneres d'avui, fins i tot si els riscos del canvi climàtic no són imminents. Tota la planificació i les noves inversions en infraestructures hauran de tindre en compte el risc durant tota la vida útil de la inversió per a reduir els costos de reposició de capital innecessari (Hallegatte et al., 2010). El canvi climàtic i la SLR s'han de combatre mitjançant mesures anticipatòries i això requeriria projectar les defenses d'una manera que permetin flexibilitat constructiva, ja que podrien esdevenir resultats majors als esperats i haurien de permetre una ràpida actualització i adaptació als nous paràmetres.

De caràcter més específic focalitzant al Delta de l'Ebre, un altre factor clau sobre el qual s'hi pot intervenir és la regulació del flux de tota la conca hidrogràfica del riu Ebre. Aquesta interfereix en l'aportació natural de sediments al Delta, és a dir, actuar sobre la conca i el seu cabal podria considerar-se una mesura anticipatòria.

Es podrien dur a terme actuacions en algun dels seixanta embassaments esmentats en al *Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca Hidrográfica del Ebro* (MAAMA, 2013a) dels quals 45 tenen un volum superior a $1hm^3$, o sobre els innumerables sistemes i canals de reg, on 5 dels quals, estan situats només a la zona del Baix Ebre amb tres sistemes de canalització d'aigua: el transvasament a Tarragona

amb dos cabals d'impulsió, el canal de la Dreta de l'Ebre i el canal de l'Esquerra de l'Ebre, 87 km de grans canals i una superfície regada de 15.170 ha al marge dret i 12.690 ha al marge esquerra i totes les seves derivacions (MAAMA, 2013a). A Catalunya la construcció de moltes d'aquestes infraestructures de canalització daten d'abans del 1960. El PNR estima que 119.345 ha són abastides mitjançant un sistema de sèquies en terra (Figura 7.1), mentre que un total de 20.534 ha ho són mitjançant conduccions de formigó en mal estat (Figura 7.2) (MAPA, 2001). És a dir, segons el PNR la xarxa de distribució té deficiències serioses amb sistemes infradotats, i no només Catalunya sinó tota la Conca Hidrogràfica de l'Ebre.

Figura 7.1. Sèquia pertanyent al terme municipal de Deltebre (Anadon i Simon, abril 2013).

Com s'ha esmentat anteriorment, una mesura important és millorar l'eficiència de la distribució d'aigua on s'actuaria per a consolidar i millorar el sistema actual d'explotació del reg, adoptant modalitats de distribució que facilitin la utilització dels sistemes de reg, a més d'esdevindre una grata mesura per a evitar filtracions, trencaments accidentals de canalitzacions i canonades (pel mal estat de conservació, manca de manteniment i/o simplement que s'han quedat obsoletes) (MAAMA, 2013b).

Figura 7.2. Sèquia de formigó pertanyent al terme municipal de Sant Jaume d'Enveja (Anadon i Simon, juliol 2011).

Seguint amb aquesta línia d'actuacions en el sistema d'aportació d'aigua dolça al delta s'ha d'evitar tot tipus de transvasaments i noves barreres de regulació del flux del riu Ebre. Una proposta molt atrevida seria la obligatorietat de la construcció de plantes desalinitzadores a tots aquells macrocomplexos turístics construïts o per a construir i/o altres sectors d'oci, com ara camps de golf, ja que la majoria d'aquests busca la proximitat a la costa. Tots aquests que no es puguin abastir per proximitat o per mancança, haurien d'estar obligats a obtindre la seva pròpia aigua potable.

El cas de l'Ebre és un dels més greus pel que fa a la retenció de sediments fluvials, estimant-se que els gairebé 200 embassaments existents en la conca retenen més del 99% dels sediments que el riu transportava originalment (Guillén i Palanques, 1992; Ibáñez et al., 1996). Una proposta interessant podria estar en considerar-se l'habilitació de diferents zones en la llera del riu que permetessin grans avingudes en dies de crescuda del cabal, així podrien arrossegar sediments procedents de les platges fluvials i/o dels sotaboscos dels boscos de ribera, per exemple. Aquestes zones on el cabal circularia mitjanament "descontrolat" captaria sediments que serien els adequats per a poder aportar-los al Delta de l'Ebre, no en quantitat però sí en qualitat.

La proposta anterior aniria íntimament lligada a la reforestació del bosc de ribera ja que també contribuiria a l'actuació. Poc a poc s'ha anat destruint i ha estat substituït en moltes zones per conreus o per traçats de carreteres, camins i vies verdes, entre altres. A la Figura 7.3 s'hi pot observar una zona de bosc de ribera de l'Ebre d'amples molt reduïts. Aquesta mesura contribuiria tant en aspectes d'adaptació com de mitigació.

Figura 7.3. Riu Ebre a l'alçada de la ciutat de Tortosa. (Simon, setembre 2012)

Pel que fa a les infraestructures portuàries s'hauria de plantejar una actuació per a incrementar l'alçada de les cotes de coronació dels dics que protegeixen els ports. En el cas que les alçades d'ona i el nivell del mar s'incrementessin en gran mesura s'hi hauria d'intervenir de manera immediata, ja que se suposa que un dic sobrepassat és totalment ineficaç per a controlar inundacions costaneres però, en el cas de ser rebassat, si no falla completament pot limitar la quantitat d'aigua que entra a la ciutat, i per tant, pot reduir la zona inundada. Intervenir en aquests paràmetres hauria de ser de manera anticipatòria, ja que com major és el desatre més elevades són les pèrdues de producció en un punt donat en el temps, i d'altra banda, un desastre més gran condueix a un període de reconstrucció més llarg i, per tant, les pèrdues de producció serien durant un període de temps major. S'hauria de realitzar una avaluació per a conèixer si són més grans el costos d'inversió per protegir o els costos deguts a la recuperació i la pertanyent reconstrucció.

Un cop els temporals extrems esdevinguessin més freqüents i perillosos per a la població civil, s'hauria d'iniciar un nou traçat del DPMT. L'adequació d'aquest a les previsions de risc d'augment del nivell del mar s'hauria de fer en coordinació amb les administracions competents, l'adaptació i redefinició dels límits dels àmbits que compten amb figures de protecció. S'haurien d'incorporar nous criteris constructius que considerin els efectes potencials derivats del canvi climàtic a les normes de construcció d'infraestructures públiques. Una proposta seria l'abandonament dels habitatges que hi ha a primera línia de costa, ja que podrien arribar a patir greus inundacions, erosió dels fonaments, i en el pitjor dels casos col·lapse de l'estructura i ensorrament.

Dintre de l'exposició de la població als possibles riscos del canvi climàtic s'hauria d'avaluar els traçats de la xarxa viària. A diferència de molts altres punts del litoral català, no hi han línies ferroviàries a primera línia de costa. La xarxa viària més important que podria estar greument exposada a esdeveniments extrems a la zona del

Delta de l'Ebre seria la N-340, que recorre una part del terme municipal de Sant Carles de la Ràpita vorejant la costa. La construcció d'una variant seria una bona opció, així s'evitaria actuar davant el retrocés de la línia de costa mitjançant una mesura rigiditzadora que, com s'ha resumit l'apartat 3.2.2.1, pot tindre greus repercussions en el transport longitudinal de sediments. La zona desallotjada podria transformar-se en una nova i àmplia zona lliure que facilitaria la migració de l'hàbitat natural cap a l'interior.

Per a concloure, s'ha d'atendre a que el fracàs sempre és possible i tot i les actuacions previstes, s'han de millorar els plans d'emergència i d'evacuació i els sistemes d'alerta per a poder protegir a la població en cas de desastre natural (Hallegatte et al., 2010).

8. Conclusions i treball futur

Està clar que tots els canvis produïts a la costa, en general, han estat conseqüència de l'acció de l'home, o bé directament amb la destrucció del litoral amb la construcció d'infraestructures i edificis a primera línia de mar i amb mesures inadequades de protecció d'aquest *backshore*, o bé indirectament a través de la contaminació i la destrucció de la capa d'Ozó.

La regressió de la costa és imminent. Totes les polítiques de reducció de les emissions de CO_2 i altres gasos d'efecte hivernacle afavoriran poc o molt en la mitigació del canvi climàtic, com ara incentivacions i greus penalitzacions a les gran empreses potencialment contribuïdores d'aquestes emissions i generadores d'incomptables tones de residus. A nivell de la població, la mateixa actuació podria reduir o minimitzar el consum de productes derivats del petroli, com ara potenciar la reutilització i el reciclatge.

L'acidificació dels oceans ja és també una realitat. Hi ha moltes raons per estar preocupats per aquest procés i el seu impacte futur a nivell d'espècies i d'ecosistemes. Si l'acidificació dels oceans continua actuant sobre la cadena alimentària, és molt probable que impactes directes i indirectes recaiguin sobre nombroses espècies, amb el consegüent risc per a la seguretat alimentària mundial. La destrucció de l'hàbitat, la sobrepesca, el canvi climàtic i la contaminació podrien arribar a afectar significativament productes derivats del mar i encara més l'economia nacional i la seguretat alimentària. La mitigació d'aquests impactes requereix una acció coordinada entre països, estats, autonomies i polítics, per a salvaguardar la salut de la població i del medi ambient.

La tardança en la reducció de las emissions restringeix considerablement les oportunitats d'atènyer uns nivells d'estabilització més baixos i incrementa el risc d'impactes més greus del canvi climàtic. Encara que els beneficis de les mesures de mitigació, en termes de canvi climàtic evitat, trigarien encara decennis en materialitzar-se, les mesures de mitigació empreses a curt termini evitarien l'obligació d'utilitzar infraestructures i vies de desenvolupament duradores i molt depenents del carboni, reduirien la rapidesa d'esdevenir del canvi climàtic, i minvarien la necessitat d'adaptar-se degut a un escalfament major.

Un cop ja no es pugui tornar enrere, quedarà reduir l'afectació dels impactes però la manca de recursos econòmics, l'escassa cooperació internacional (entre institucions del mateix nivell o entre sectors) i l'existència de grans incerteses al voltant dels impactes i la vulnerabilitat en front de les alteracions del clima, constitueixen importants obstacles per al desenvolupament de dites estratègies.

Hi ha incomptables treballs que podrien sorgir d'aquest, com ara l'afectació en les estructures portuàries existents. Es podria realitzar un cens de cotes de coronació (F_c) dels ports catalans i portar a terme un estudi de com afectaria una alçada d'ona major en termes d'operativitat, tant en el cas de no realitzar cap tipus d'actuacions per a contrarestar, com en termes econòmics, saber quan s'hauria d'invertir per a contraresta-ho i en quant es comptabilitzarien les pèrdues en cas de no actuar-hi.

També relatiu a les zones portuàries, s'hauria d'estudiar com afectaria la variació de l'onatge (H,θ,T), analitzant els possibles patrons de difracció i l'agitació i el resultat en termes d'operativitat i pèrdues econòmiques. Això s'hauria de fer amb una avaluació dels efectes indirectes corresponents a pèrdues en la forma de producció i la pèrdua de llocs de treball, la durada de la reconstrucció i el retorn a la normalitat de les funcions portuàries.

Un altre dels possibles treballs futurs seria la ubicació i la comptabilització dels metres lineals de sistemes de reg obsolets existents al Delta de l'Ebre. Amb una presentació de propostes per a la rehabilitació o substitució d'aquests, acompanyat per un manual a seguir de les pautes de manteniment i bona praxis per al correcte funcionament i prolongació de la vida útil de sistema de reg.

De cara a protecció del *backshore*, s'hauria de realitzar un anàlisi de totes les mesures dures existents i si aquestes han estat executades o no per un tècnic competent. S'haurien d'enumerar totes les que han estat construïdes sense coneixements sobre aquest tipus d'infraestructures i sotmetre-les a un control periòdic per a conèixer si compleixen en els seus objectius esperats i no posen en risc a la població.

Un possible treball futur, seria l'afectació de la pujada del nivell del mar al tram de N-340 que discorre des del terme municipal de Sant Carles de la Ràpita fins al terme municipal de Benicarló, amb un anàlisi de riscos de l'eficàcia de la protecció contra inundacions costaneres, inclosos els canvis de vulnerabilitat a causa del canvi climàtic i l'augment del nivell del mar.

També es podria estudiar si a partir del dragatge dels embassaments es podria arribar a obtenir un increment de sediments arrossegats pel riu Ebre, realitzant un estudi del material que hi ha al fons dels embassaments i saber en certesa si són àrids adequats per a sedimentar o llims i argiles, i censar-ho en tots els embassaments de la Conca hidrogràfica de l'Ebre.

Finalment com a últim treball futur es podria efectuar una valoració econòmica, tant del cost de les mesures enumerades a l'apartat 7, com dels costos que tindria no dur-les a terme.

Agraïments

Aquest projecte és fruit de l'amor per una terra. Qui no hagi viscut mai en un entorn com el del Delta de l'Ebre no podrà valorar tota la riquesa que aporta a la zona, ja sigui per ser rica en paratges entranyables com de gent sorprenentment hospitalària.

Jo he pogut compartir la meua terra en una persona molt especial, una persona que ha estat al meu costat ajudant-me en tot moment i durant tot el procés d'aquesta tesina, m'ha acompanyat en la realització de les visites pels diferents municipis que comprenen el Delta i també ha estat en mi durant hores intempestives a lo llarg de la recerca d'informació, estudi i posterior redacció. És lo meu millor amic i company de vida.

En segon lloc, vull agrair als meus pares el seu suport incondicional. Ells sempre han estat aquí i m'han recolzat en els bons i en mals moments.

També voldria anomenar al senyor Pere Quintana de l'Observatori de l'Ebre, a qui vull agrair que dediqués el seu temps transmetent-me tots els seus coneixements.

I per últim, vull donar les gràcies als meus tutors, César Mösso i Joan Pau Sierra, per introduir-me en el marc del canvi climàtic, un terreny pantanós i ple d'incerteses. Avui m'hi han guiat ells, però espero poder contribuir transmetent als meus i els meus als seus per a poder fer d'aquest món un món millor.

Referències

- Archer D. i Brovkin V. (2008) The millennial atmospheric lifetime of anthropogenic CO2.. Climate Change, 90, 283–297. 17.
- Bird, E. (2005) Appendix 5: Glossary of Coastal Geomorphology in Schwartz, M.L. (ed.). Encyclopedia of Coastal Science. The Netherlands: Springer, 1155-1192.
- Bruun, P. (1962) Sea level rise as a cause of shore erosion. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of Waterways and Harbors Division, 88, 117-130.
- Caldeira K. & Wickett M.E. (2003) Anthropogenic carbon and ocean pH. Nature, 425, 365. 3.
- Casas-Prat M. i Sierra J.P. (2012) Trend analysis of wave direction and associated impacts on the Catalan coast, Climatic Change 115, 667-691.
- Chadwick, A., Morfett, J. i Borthwick, M. (2004) Hydraulics in Civil and Environmental Engineering, 4th ed. London: Spon Press.
- Cooper, N.J. i Harlow, D.A. (1998) Beach replenishment: implications for sources and longevity from results of the Bournemouth schemes in Hooke, J. (ed.). Coastal Defence and Earth Science Conservation. London: Geological Society of London, 162-177.
- DARPAMN (2009) Parc Natural del Delta de l'Ebre. Parcs de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. Disponible a: www.gencat.cat/parcs/delta_ebre/ [Accés: 12/10/2012]
- Dean, R.G. and Dalrymple, R.A. (2002) Coastal Processes with Engineering Applications. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dean, R.G. (2002) Beach Nourishment Theory and Practice. Singapore: World Scientific Publishing.
- Edge, B.; Ewing, L.; Erickson, K.M. i Magoon, O. (2003) Application of coastal engineering in coastal zone management in Mohan, R.K., Magoon, O. i Pirrello, M (eds.). Advances in Coastal Structure Design. Virginia: ASCE.
- FEMA (Federal Emergency Management Agency) (2007) Selecting Appropriate Mitigation Measures for Floodprone Structures. Washington DC: US Dept. of Homeland Security. Disponible a: www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=2737 [Accés: 21/07/10].
- FEMA (Federal Emergency Management Agency) (2008) Floodplain Management Bulletin: Historic Structures. Washington DC: US Dept. of Homeland Security. Disponible a: http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=3282 [Accés: 21/07/10].
- FEMA (Federal Emergency Management Agency) (2010) Wet Floodproofing. Washington DC: US Dept. of Homeland Security. Disponible a: www.fema.gov/plan/prevent/floodplain/nfipkeywords/wet_floodproofing.shtm [Accés: 21/07/10].
- French, P.W. (1997) Coastal and Estuarine Management. London: Routledge.
- French, P.W. (2001) Coastal defences: Processes, Problems and Solutions. London: Routledge.
- Fuqua L.M., Bralower T.J., Arthur M.A., Patzkowsky M.E. (2008) Evolution of Calcareous Nannoplankton and the Recovery of Marine Food Webs After the Cretaceous-Paleocene Mass Extinction. Palaios, 23, 185-194.
- Gabinet Tècnic del DPTOP (2007) Inventari de les intal·lacions nàutiques del litoral, Capítol 3 del Pla de Ports de Catalunya 2007-2015, Capítol 3, Pla de Ports de Catalunya 2007-2015, Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya. Disponible a: http://www20.gencat.cat/portal/site/territori/menuitem.2a0ef7c1d39370645f13ae92b0c0e1a0/?vgnextoid=7c16e78857b2c210VgnVCM2000009b0c1e0aRCRD&vgnextchannel=7c16e78857b2c210VgnVCM2000009b0c1e0aRCRD&vgnextfmt=default [Accés: 21/11/12].
- Goda, Y. (2000) Random Seas and Design of Maritime Structures. Singapore: World Scientific Publishing.

- Guillén, J. (2008) Els riscos litorals a Catalunya. RISKCAT 2008. Disponible a: http://www15.gencat.net/cads/AppPHP/images/stories/publicacions/informesespecials/2008/els_riscos_litorals_a_catalunya.pdf [Accés: 02/04/2013]
- Guillén, J. y Palanques, A. 1992. Sediment dynamics and hydrodynamics in the lower course of a river highly regulated by dams: the Ebro river. Sedimentology 39: 567-579.
- Hallegatte S., Ranger N., Mestre O., Dumas P., Corfee-Morlot J., Herweijer C., Wood R.M. (2010) Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: a case study on Copenhagen. [Online DOI 10.1007/s10584-010-9978-3]
- Ibáñez C. (2000) El impacto ambiental de los trasvases: el caso de l'Ebro. Disponible a: http://congreso.us.es/ciberico/archivos_acrobat/porto2carlesibanez.pdf [Accés: 24/04/2013]
- Ibáñez, C., Rodrigues-Capitulo, A. y Prat, N. 1995. The combined impacts of river regulation and eutrophication on the dynamics of the salt wedge and the ecology of the lower Ebro River, en A. Fergurson y D. Harper (eds.), Ecological Basis for River Management, John Wiley & Sons, 105-114.
- Ibáñez, C., N. Prat y Canicio, A. 1996. Changes in the hydrology and sediment transport produced by large dams on the lower Ebro river ans its estuary. Regulated Rivers 12: 51-62.
- ICC (2013), Institut Cartogràfic de Catalunya, Generalitat de Catalunya. Disponible a: http://www.icc.cat/vissir3/ [Accés 23/04/2013]
- IEEE (2000), Informe especial del IPCC. Escenarios de emisiones. The Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponible a: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf [Accés: 17/04/2013]
- IPCC 2007, Climate Change (2007): The physical science basis. Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report. The Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponible a: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf [Accés: 06/03/2013]
- IPCC CZMS (1990) Strategies for Adaptation to Sea Level Rise. Report of the Coastal Zone Management Subgroup, Response Strategies Working Group of the Intergovernmental Panel on Climate Change. The Hague: Ministry of Transport, Public Works and Water Management.
- Klein, R.J.T. i Nicholls, R.J. (1998) Coastal Zones in Feenstra, J.F. et al. (eds.). Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies. Kenya: UNEP, chapter 7.
- Klein, R.J.T., Aston, J., Buckley, E.N., Capobianco, M., Mizutani, N., Nicholls, R.J., Nunn, P.D., Ragoonaden, S., Bartlett, D.J., Boyd, J.G., Lecomte, E., Loizidou, X.I., Volonté, C.R. i Niang-Diop, I. (2000) Coastal Adaptation Technologies in Metz, B., Davidson, O., Martens, J., Van Rooijen, S. i Van Wie Mcgrory, L. (eds.). Methodological and Technological Issues in Technology Transfer. Cambridge: Cambridge University Press.
- Klein, R.J.T., Nicholls, R.J., Ragoonaden, S., Capobianco, M., Aston, J. i Buckley, E.N. (2001) Technological options for adaptation to climate change in coastal zones. Journal of Coastal Research, 17 (3), 531-543.
- Kraus, N.C., Hanson, H. i Blomgren, S.H. (1994) Modern functional design of groin systems. Disponible a: http://journals.tdl.org/icce/index.php/icce/article/view/5036/4716 [Accés:02/04/13]
- Linham, M.M. i Nicholls, R.J. (2010) TNA Guidebook Series: Technologies for Climate Change Adaptation, Coastal Erosion and Flooding. Denmark: UNEP Risø Centre on Energy, Climate and Sustainable Development
- MAAMA (2006) Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. Disponible a: [Accés: 07/09/2012]
- MAAMA (2012) Objetivos, actuaciones y proyectos en Tarragona, febrero 2012. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible a: http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/el-litoral-zonas-costeras/objetivos-actuaciones-y-proyectos/obras_43_tarragona.aspx [Accés: 07/04/13]

- MAAMA (2013a) SAIH Ebro, Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca Hidrográfica del Ebro. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. Disponible a: http://195.55.247.237/saihebro/index.php?url=/datos/mapas/tipoestacion:E/mapa HG http://195.55.247.237/saihebro/index.php?url=/datos/canales [Accés: 04/03/2013]
- MAAMA (2013b) SAIH Ebro, Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca Hidrográfica del Ebro. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. Disponible a: http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=2141&idMenu=2232 [Accés: 04/03/2013]
- MAPA (2001) Plan Nacional de Regadíos: Horizonte 2008. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Dirección General de Desarrollo Rural. Disponible a : http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-sostenible-de-regadios/apartado4-2_tcm79781.pdf [Accés: 07/04/13]
- Mösso, C.; Sánchez-Arcilla, A. i Sierra, J.P. (2011) Biogeophisical and social vulnerability indicators; Coastal case studies information sheet: Gulf of Valencia, Spain.
- Mösso, C., Mestres, M., Sierra, J. P. Sánchez-Arcilla, A. i Goodess, C. (2009) Waves and surges in the Valencia Gulf. Variability rather than climate change. Journal of Coastal Research, 56 SI, 248-251.
- Nakičenovič, N. y Swart R. (2000): Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos, págs. 599.
- Nicholls, R.J. i Klein, R.J.T. (2005) Climate change and coastal management on Europe's coast in Vermaat, J.E. et al. (eds.). Managing European Coasts: Past, Present and Future. Berlin: Springer-Verlag, 199-225.
- Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V.R., Codignotto, J.O., Hay, J.E., McLean, R.F., Ragoonaden, S. i Woodroffe, C.D. (2007a) Coastal systems and low-lying areas. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden i C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315-356.
- Nicholls, R.J.; Cooper, N. i Townend, I.H. (2007b) The management of coastal flooding and erosion in Thorne, C.R. et al. (Eds.). Future Flood and Coastal Erosion Risks. London: Thomas Telford, 392-413.
- Nordstrom, K.F. i Arens, S.M. (1998) The role of human actions in evolution and management of foredunes in The Netherlands and New Jersey, USA. Journal of Coastal Conservation, 4, 169-180.
- PEIN (2006) Pla d'Espais d'Interés Natural. Departament de Territori i Sostenibilitat. Medi Ambient i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya. Disponible a: http://www20.gencat.cat/portal/site/mediambient/menuitem.198a6bb2151129f04e9cac3bb0c0e1a0/?vgnextoid=9b03ac9cbed47210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextchannel=9b03ac9cbed47210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextfmt=default [Accés: 12/10/2012]
- Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2008a) Sèrie d'estudis de base per a la posterior definició d'una estratègia de prevenció i adaptació al canvi climàtic de Catalunya. Estudi de base N1: Delta de l'Ebre. Document de síntesi. Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya. Disponible a: http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/Ladaptacio%20al%20canvi%20climatic/Estudi%20del%20delta%20de%20lEbre/ebre_cat.pdf [Accés: 10/10/12].
- Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2008b) Sèrie d'estudis de base per a la posterior definició d'una estratègia de prevenció i adaptació al canvi climàtic de Catalunya. Estudi de base N1: Delta de l'Ebre. Capítol 2: Descripció del medi físic. Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya. Disponible a: http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/Ladaptacio%20al%20canvi%20climatic/Estudi%20del%20delta%20de%20lEbre/descripcio.pdf [Accés: 01/04/13].

- Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2008c) Sèrie d'estudis de base per a la posterior definició d'una estratègia de prevenció i adaptació al canvi climàtic de Catalunya. Estudi de base N1: Delta de l'Ebre. Capítol 7: Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya. Disponible a: http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/Ladaptacio%20al%20canvi%20climatic/Estudi%20del%20delta%20de%20lEbre/ebre_cat.pdf [Accés: 10/10/12].
- Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2012) Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàti (ESCACC). Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya. Disponible a: http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Actualitat/docs/ESCACC.pdf [Accés: 15/12/12].
- Orr J.C., Fabry V.J., Aumont O., Bopp L., Doney S.C. et al. (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. Nature 437, 681-686. 10.
- Pilarczyk, K.W. (1990) Introduction to coastal protection in Pilarczyk, K.W. (ed.). Coastal Protection. Rotterdam: A.A. Balkema, 1-14.
- Pilarczyk, K.W. i Zeidler, R.B. (1996). Offshore breakwaters and shore evolution control. A.A. Balkema. Rotterdam, Netherlands.
- Pfeffer WT, Harper JT, O'Neel S (2008) Kinematic constraints on glacier contributions to 21st-century sea level rise. Science 321:1340–1343
- Prat, N. i Ibàñez J.C. (2003). Avaluació crítica del pla hidrològic nacional i proposta per a una gestió sostenible de l'aigua del Baix Ebre. Institut d'Estudis Catalans, Secció de Ciències Biològiques. Disponible a: http://books.google.es/books?id=v_bxN79UQfsC&pg=PA41&lpg=PA41&dq=Quan+el+flux+del+riu+%C3%A9s+inferior+a+100+m3/s&source=bl&ots=jOVGAhs8rh&sig=C9gdxPev5KuU8IirJdAUohFyUyA&hl=ca&sa=X&ei=129YUYjJNdS5hAf0pYHADQ&ved=0CCsQ6AEwAA#v=onepage&q=100%20m3%2Fs&f=false [Accés: 31/03/2013]
- Rahmstorf S (2007) Sea-level rise a semi-empirical approach to projecting future. Science 315:368–370. Disponible a: Online DOI: 10.1126/science.1135456
- Royal Society (2005) Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide. Policy document 12/05. Royal Society,London. The Clyvedon Press Ltd, Cardiff.
- Sánchez-Arcilla, A.; Jiménez, J.A.; Valdemoro, H.I. i Gracia, V. (2008). Implications of climatic change on Spanish Mediterranean low-lying coasts: the Ebro delta case. Journal of Coastal Research, 24(2), 306–316.
- Sánchez-Arcilla, A, Mösso, C., Sierra, J. P. i Casas M. (2011). Information Sheet on Future Climate and impacts in the coastal case studies: Gulf of Valencia, Spain.
- Sierra J.P., A. Sánchez-Arcilla, P.A. Figueras, J. González del Río, E.K. Rassmussen i C. Mösso (2004). Effects of discharge reductions on salt wedge dynamics of the Ebro river. River Research and Applications, 20 (1), 61-77.
- Stive, M.J.F., Cowell, P. and Nicholls, R. J. (2009) Beaches, cliffs and deltas in Slaymaker, O., Spencer, T. and Embleton- Hamann, C. (eds.). Geomorphology and Global Environmental Change. Cambridge: Cambridge University Press, 158-179.
- Syvitski, J.P.M., Kettner, A.J., Overeem, I., Hutton, E.W.H., Hannon, M.T., Brakenridge, G.R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L. i Nicholls, R. J. (2009) Sinking Deltas. Nature Geoscience, 2, 681-689.
- Turley C.M. i Findlay H.S. (2009) Ocean Acidification as an Indicator of Global Change. In: Letcher T (Ed.) Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth, 21, 367-390, Elsevier.
- UNEP (2010) UNEP Emerging Issues: Environmental Consequences of Ocean Acidification: A Threat to Food Security. United Nations Environment Program. Disponible a: http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Ocean_Acidification.pdf [Accés: 16/04/13].
- UNEP (2013). United Nations Environment Programme environment for development. Disponible a: http://www.unep.org/ [Accés 15/02/2013]

- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (1999) Coastal Adaptation Technologies. Bonn: UNFCCC. Disponible a: http://unfccc.int/resource/docs/tp/tp0199.pdf [Accés 01/07/10].
- USACE (United States Army Corps of Engineers) (2003) Coastal Engineering Manual – Part V. Washington DC: USACE. Disponible a: http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em1110-2-1100/PartI/PartI.htm [Accés: 27/08/10].
- Van Koningsveld, M.; Mulder, J.P.M.; Stive, M.J.F.; VanDerValk, L. i VanDerWeck, A.W. (2008) Living with sea level rise and climate change: A case study of the Netherlands. Journal of Coastal Research, 24 (2), 367-379.
- Varela, J.M.; Gallardo, A. i López de Velasco, A. (1986). Retención de sólidos por las presas de Mequinenza y Ribarroja. Efectos en los aportes al delta del Ebro. Pp 203-219: M. Mariño (ed.), El sistema integral del Ebro: cuenca, delta y ambiente marino.
- Vellinga, P. (1983) Predictive Computational Model for Beach and Dune Erosion during Storm Surges. Delft Hydraulics Laboratory, Publication No. 294.
- Vicente-Serrano, S. M. i Cuadrat, J. M. (2007). North Atlantic oscillation control of droughts in north-east Spain: evaluation since 1600 A.D. Climatic Change 85, 357-379.
- PDUSC (2005), Pla Director Urbanístic del Sistema Costaner. Secretaria per a la Planificació Territorial. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Generalitat de Catalunya. Disponible a: http://ptop.gencat.cat/rpucportal/AppJava/cercaExpedient.do?reqCode=veureDocument&codintExp=207964&fromPage=load [Accés: 22/10/12].