

Març 2022

Anàlisi de la situació de transvasament de sorres i propostes de futur del port del Masnou

Anàlisi de la situació de transvasament de sorres i propostes de futur del Port de Masnou



Restitució de la dinàmica litoral al port del Masnou

Anàlisi de la situació de transvasament de sorres i propostes de futur del Port de Masnou

Índex

1	Introducció.....	5
2	Objectius.....	17
3	Metodologia	18
4	Recull històric d'informació	19
4.1	Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya	20
4.2	Projecte de dragatges de ports a Catalunya. Fase 4a: Transvasament	22
4.3	Resultats del projecte Brachmed-e Catalunya.....	23
4.4	Estrategia de actuación en el Maresme	26
4.5	Proyecto de retroalimentación de las playas de el Masnou a levante de su puerto; T. M. de el Masnou (Barcelona)	29
4.6	Estudis addicionals.....	32
4.6.1	2020: Estudi ambiental i estudi batimètric en el marc del projecte de transvasaments de sorres i manteniment de la bocana del port del Masnou.....	32
4.6.2	2021: Estudis previs per a l'estabilització de les platges de Sant Adrià de Besòs, Badalona i Montgat. ECOSOT, LIM-UPC, Barcelona Regional, per encàrrec d'AMB.....	35
4.6.3	2003: Prova pilot per al dragatge de <i>bypass</i> al port del Masnou. SENER per encàrrec de la Direcció General de Ports i Transports, i Gestió d'Infraestructures SA	35
4.6.4	2008: Anàlisi del funcionament de les obres relacionades amb la gestió del sediment en els ports i platges del Maresme, UPC, Víctor García Rodríguez.....	35
5	Síntesi dels estudis anteriors	38
6	Anàlisi de les propostes.....	39
7	Àmbit d'estudi	40
8	Capacitat de transport longitudinal de sediment.....	42
9	Evolució de la línia de costa	47
10	Clima marí.....	55
10.1	Clima a fondàries indefinides	56
10.1.1	C3E 225	57
10.1.2	WANA SIMAR 2111137	60
10.1.3	XIOM Boia del Llobregat	67
10.2	Clima a profunditat de tancament	69

10.3 Selecció del clima de simulació	74
11 Simulació hidrodinàmica i morfodinàmica	75
11.1 Batimetria.....	76
11.2 Característiques sedimentològiques	77
11.3 Malla de càlcul	78
11.4 Condicions de contorn	82
11.5 Resultats morfodinàmics	83
11.6 Resultats hidrodinàmics.....	84
12 Espais protegits.....	87
13 Dinàmica resultant del canvi climàtic	88
13.1 Onatge i marea	89
13.2 Pujada del nivell mitjà del mar	94
14 Conclusions.....	98
15 Propostes d'accions a seguir.....	101
15.1 Síntesi de les conclusions més importants que afecten les actuacions	101
15.2 Proposta d'actuacions.....	101
16 Bibliografia	104

1 Introducció

Resulta totalment innecessari ressaltar la problemàtica de la dinàmica litoral a la comarca del Maresme. La pèrdua de sorres i la desaparició de les platges ha estat un fenomen públic i mediàtic. En l'aspecte més tècnic s'han redactat molts estudis, elaborats amb un gran detall i abast. Tal com es veurà més endavant, en aquest estudi es compila tota aquesta informació i se'n treu profit.

Com a recull d'algunes dades rellevants sobre aquesta problemàtica, es mostra la taula següent, extreta de l'anomenat *Llibre verd* (descriu més endavant) i calculada a partir de la fotointerpretació d'imatges:

Sector	Tram	$\Delta V_{\text{net}} 10^3$ (m ³ /a)
15	P. Blanes-P. Arenys	-173
14	P. Arenys-P. Balís	-151
13	P. Balís-P. Mataró	-39
12	P. Mataró-P. Premià	-48
11	P. Premià-P. Masnou	-151
10	P. Masnou-P. Badalona	-145
9	Ciutat de Barcelona	-66

Figura 1. Increments de volum anual en algunes platges de Barcelona (font: *Llibre verd*).

Aquesta taula mostra la taxa de pèrdua de sorres en cada un dels trams, en què s'ha dividit el Maresme. Les unitats són de milers de metres cúbics l'any, per tant en conjunt es perden quasi 800.000 m³/any. Els trams venen definits per les infraestructures portuàries, fet que ja indica que aquestes infraestructures tindran un paper molt important en la pèrdua de sorres. Els valors de 800.000 m³/any són més alts que en altres resultats, però en qualsevol cas donen una idea del problema.

Una pèrdua de sorra significa que, en comparar platges en anys successius, s'observa una disminució del volum del talús. Això pot voler dir que la sorra ha sortit per un dels extrems de la costa o que, contràriament, ha marxat mar endins.

La dinàmica litoral té a veure amb els moviments de sediment al llarg de la costa. En la majoria de casos, aquest transport està relacionat amb la interacció de l'onatge i els corrents amb la línia de costa i el fons. Això permet, a partir de les dades de clima marí i del coneixement de les batimetries i de la línia de costa, fer una estimació del transport de sediments que té lloc a la costa.

Aquest transport es divideix en dos: la part que viatja de manera paral·lela a la costa i la que viatja en direcció transversal, de terra a mar o en sentit contrari. El transport transversal està associat als temporals d'hivern: buida les platges, però moltes vegades experimenta una certa recuperació, quan la sorra "torna" a la platja des de les barres que s'han format a sota l'aigua. Una part sempre es perd, perquè travessa una frontera anomenada *profunditat de tancament*, una fondària d'on ja no pot

retornar per efecte de les forces naturals: les onades no tenen prou capacitat d'aixecar i arrossegar per a empènyer de nou la sorra a la platja.

Els corrents més paral·lels a la costa no només actuen en els temporals importants, sinó que hi són sempre presents i estan molt subjectes a la direcció de l'onatge. Com és conegut, l'onatge va girant al llarg de l'any, depenent de la direcció del vent i d'altres factors, per tant la direcció del transport de sorres també gira i això vol dir que, quan es parla de transport anual, es fa referència a la suma de totes les contribucions al llarg de l'any, algunes en direccions contràries, que per tant s'anul·len entre si. En general, però, en finalitzar la suma de totes les contribucions, existeix un flux net.

La Figura 2 mostra el càlcul d'aquest balanç anual per a una sèrie d'anys, i el primer que destaca és que tots els balanços de transport són en direcció sud. Per tant, al llarg del Maresme, s'observa que les sorres viatgen en direcció sud. Les unitats de la figura són milers de tones l'any. Les diferències són degudes a les particularitats de cada un dels trams, tant en geografia com en sediments i clima marítim.

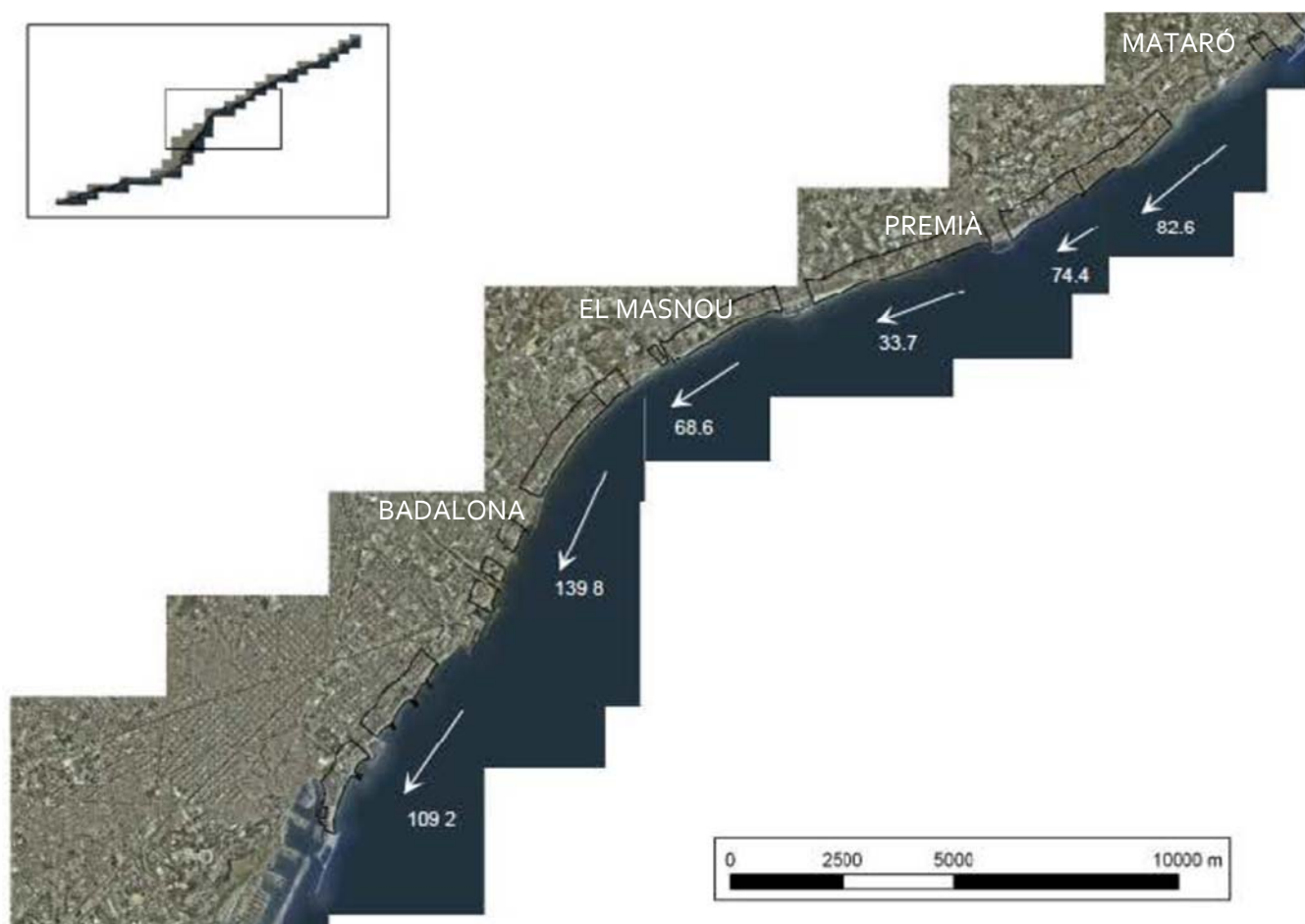


Figura 2. Taxes de transport longitudinal net (en milers de m³/any) estimades amb el model de Kamphuis (font: *Llibre verd*).

Tal com es pot suposar, això només és sostenible en un context en què les sorres són aportades al nord i extretes al sud, amb un flux continu. Aquesta aportació de sorres la fan la infinitat de torrents que aporten sorres i saulons a tot el Maresme, començant pel riu Tordera i acabant per la riera d'en Font (Montgat).

Ja fa anys que les sorres no són capaces d'obeir aquesta dinàmica de transport imposada per les aigües, de manera que tots els trams estan desequilibrats. A la Figura 2 es poden identificar els ports, que marquen l'inici i el final de cada un dels trams i que tenen una gran responsabilitat en aquest problema.

En aquests trams interports, les sorres no entren pel nord i tampoc poden sortir pel sud, per la qual cosa passen a ser compartiments estancs, independents dels altres trams (vegeu la Figura 3). El clima empeny en direcció sud, buidant de sorra el nord dels trams i acumulant les sorres al port, que els tanca el pas al costat sud.

Les sorres, en arribar al tap del sud, acaben anant mar endins per falta d'espai i, una vegada traspassada la profunditat de tancament, no hi ha recuperació natural. Aquesta descripció de la problemàtica del Maresme és comunament acceptada i ha estat estudiada per la comunitat científica en multitud d'ocasions.

A la Figura 1 veiem que la tramificació on s'avalua la pèrdua de sorres és exactament la definida per la posició dels ports del litoral, de nord a sud: Arenys, Balís, Mataró, Premià, el Masnou, Badalona.

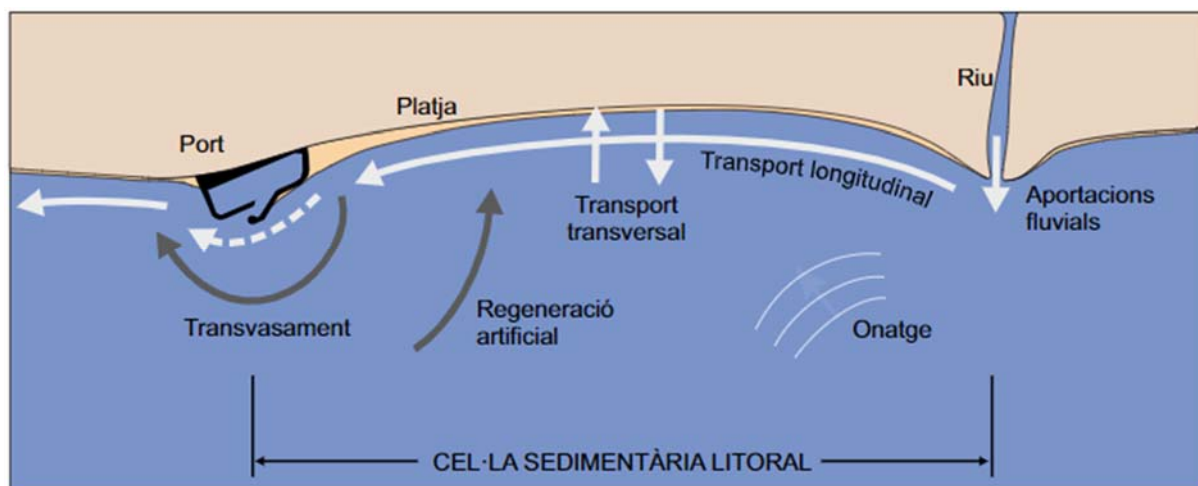


Figura 3. Transport litoral de sediments, esquema de funcionament en àmbits portuaris (font: Guillen *et al.*, 2014).

La Figura 3 mostra esquemàticament el port del Masnou, que és precisament l'objectiu d'aquest estudi que avaluarà l'impacte d'aquesta infraestructura en l'esmentada dinàmica litoral, interrompuda i desequilibrada. Es pot veure que la figura en si ja recull mesures compensatòries, com el transvasament de sorres i la regeneració. El treball de Guillen *et al.* (2014) ja versava sobre aquesta qüestió.

Hi ha un detall quantitatiu important a esmentar. El transport net de sediment recollit a la Figura 2 mostra que, de manera natural, hi hauria un transvasament de sorres des dels trams del nord cap als trams del sud, i que la sortida final seria d'unes 100.000 tones/any. Això significa que, si totes les aportacions de sorres de rius i de la costa nord s'interrompessin, el sistema del Maresme perdria cada any 100.000 tones de sorra. Però l'anàlisi de les configuracions de la costa d'aquests anys (taula de la Figura 1) mostra una pèrdua en el tram del Maresme d'uns 800.000 m³/any, molt superior al transport longitudinal.

En primer lloc, s'ha de dir que les xifres de geomorfologia i morfodinàmica sempre duen associada una gran incertesa. El desequilibri entre el transport i la pèrdua de sorra potser indica que la sorra es perd fonamentalment mar endins, i aquí és on els ports tenen un paper essencial, ja que són l'element que bloqueja i desvia el transport longitudinal i el redirigeix mar endins: els corrents no poden seguir la línia de costa per l'obstacle que suposen els ports. Si sumem tots els transports longitudinals als trams de la Figura 2, veiem que voregen les 500.000 tones/any, que ja és una xifra comparable a la quantitat de sorra perduda, al voltant del 30%. Segurament hi ha una combinació complexa de fenòmens, en què el bloqueig dels ports forma unes platges que, en ser atacades pels temporals, subministren molta sorra que pot ser fàcilment transportada però que mai arriba a la platja següent.

En definitiva, si es considera que els ports són bloquejos totals, això vol dir que totes les pèrdues tindran lloc per transport transversal, potencialment motivat per les grans acumulacions de sorres al nord dels ports. En aquest sentit es pot fer una comparativa dels resultats del balanç sedimentari fet pel CEDEX el 2013 en el context del seu estudi d'estratègies per al Maresme, comentat més endavant. La Figura 4 en mostra el resultat principal. Als ports de Premià i el Masnou es considera transport longitudinal i, com a conseqüència, el transport transversal a la cel·la que hi ha entre tots dos arriba a 51.000 m³/any, que és un valor notablement superior al transport longitudinal, que es quantifica en 35.000 m³/any.

(m ³ /año)		
PERIODO	1995-2002	
TRAMO	Tte longitudinal	Tte Transversal
Mataró (sur)	-775	-1.183
Cabrera de Mar	-49.132	-1.443
S. Juan de Vilassar	-34.133	-41.166
Premià (norte)	0	-2.578
Premià (sur)	-5.327	-51.834
Masnou (norte)	0	-34.725
Masnou (sur)	-35.172	-18.142
Mongat (norte)	-58.771	26.920

Figura 4. Balanç sedimentari al tram de Mataró a Montgat (font: CEDEX, 2013).

Aquest valor es pot comparar amb la pèrdua de sorra definida al *Llibre verd* per al tram Premià-el Masnou (vegeu la Figura 1), on per a la mateixa zona es fixava el valor en 150.000 m³/any. Aquesta

notable diferència entre ambdós estudis ja dona pistes de la incertesa en els càlculs, que pot ser deguda a les formulacions o a les fonts de dades climàtiques.

En cada un dels trams identificats hi ha molts torrents. La Figura 5 recull els més rellevants, entre els quals destaca la riera d'Argentona al sud de Mataró. També s'hi pot veure el riu Besòs, ja fora del tram d'estudi. La dinàmica descrita podria fer pensar que aquestes rieres aporten sediments i alleugen el problema, però no és sempre cert. La dinàmica fluvial responsable d'aquestes aportacions també ha rebut un fort impacte de les infraestructures de la zona.

A la Figura 6 podem veure l'endegament de la riera d'Arenys a Arenys de Mar. Es pot comprovar la gran dimensió de la llera artificial, capaç d'un gran transport de sediments de muntanya a mar. A la Figura 7 podem veure l'estat de gran erosió del tram de la riera d'Arenys aigües amunt, per tant és evident que cada any molts metres cúbics viatgen de la serra a mar, però aquests sediments veuen interromput el seu viatge i no arriben a les platges. La raó d'aquest bloqueig la trobem en la infraestructura ferroviària, que segueix la línia de platja i que imposa una restricció molt important a totes les rieres que hi arriben.

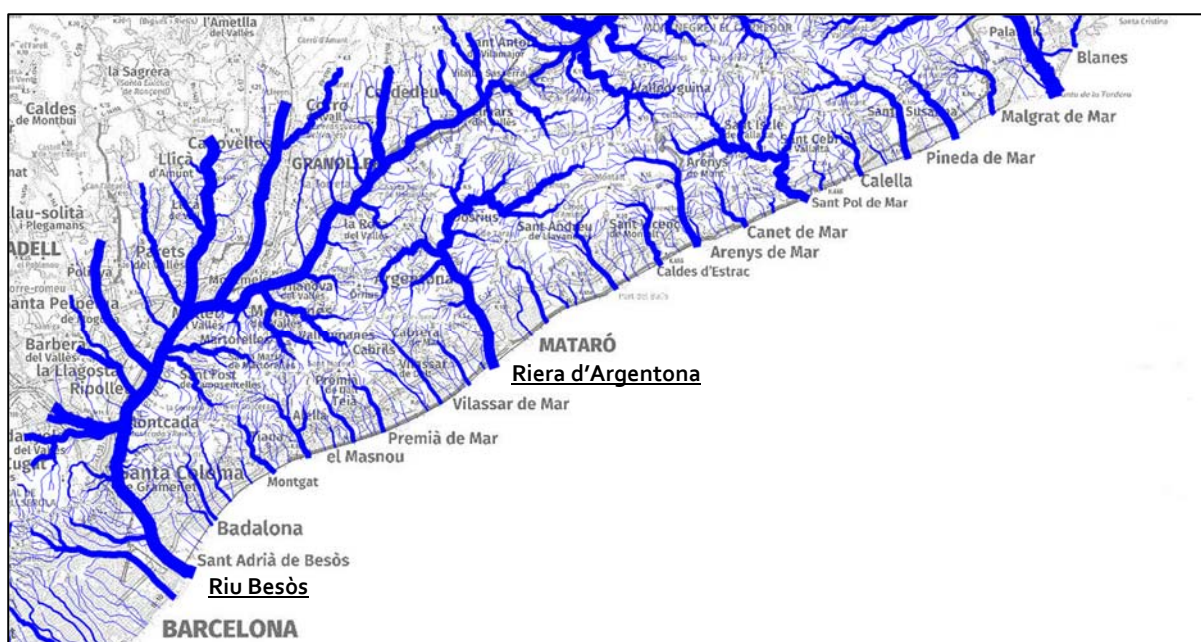


Figura 5. Rieres identificades al llarg del Maresme (font: elaboració pròpia).

La plataforma ferroviària costanera no assoleix prou alçada com per a no interferir sobre la dinàmica fluvial. La seva alçada sobre el territori força les rieres a passar-hi per sota, de manera que es troben que, en el tram final, arribant a mar, han de fer baixar la llera a una cota molt propera a la del mar per a creuar la via, pràcticament amb pendent nul, i sortir directament a mar, ja sense força a causa del tram pla per sota de les vies.

Aquest canvi de pendent forçat per al pas sota via provoca que una part molt important dels sediments quedi atrapada sota la plataforma del ferrocarril, cosa que origina un tap de sediment que bloqueja el pas de l'aigua i provoca inundacions.



Figura 6. Endegament de la riera d'Arenys (font: Mgclapé).

Per tant, trobem una situació paradoxal en què:

- Les urbanitzacions a muntanya del Maresme han incrementat molt notablement els cabals de les rieres.
- Aquests cabals incrementats originen erosions i inestabilitats, amb arrossegaments molt importants.
- L'efecte de la via del ferrocarril redueix el pendent de les rieres en arribar al mar, la qual cosa provoca una sedimentació molt important.
- Aquest tap de sediments afavoreix les inundacions al municipis.
- La sorra no arriba a mar i ha de ser extreta per mitjans mecànics i portada a l'abocador a causa del contingut de fangs contaminats i residus orgànics.



Figura 7. Estat erosiu de la riera d'Arenys a Arenys de Munt (font: Sergi Alcázar Badia).

A la Figura 8 es pot veure l'estat de la desembocadura de la riera d'Arenys a la platja. La foto està feta de mar mirant cap a muntanya i correspon al pont del ferrocarril arran de mar. S'hi pot apreciar que el calaix de l'endegament està totalment reblert de sediments: es pot comparar amb la Figura 6, que mostra el mateix calaix. La dinàmica de la berma de la platja contribueix a omplir el calaix amb el sediment que baixa de la muntanya i forma un tap de grans dimensions que puja aigües amunt i arriba a obstruir totalment l'endegament i a provocar alguns trams a pressió en els punts on esdevé un calaix tancat.

Tenint en compte aquest problema, de tant en tant es fa una campanya de buidat del canal per tal de garantir la seguretat de la població. La Figura 9 mostra el moment d'execució d'una d'aquestes actuacions de manteniment del calaix de la riera. Una vegada més, s'hi veu l'obstrucció completa.

Tal com s'ha comentat, el clavegueram unitari de les poblacions fa que l'acumulació de sediments que es produeix presenti uns continguts de contaminants que no permeten el seu ús directe com a sorra de reposició de platja, amb la qual cosa perden la seva funció original i obliguen a fer-ne un tractament o a enviar-los a l'abocador.

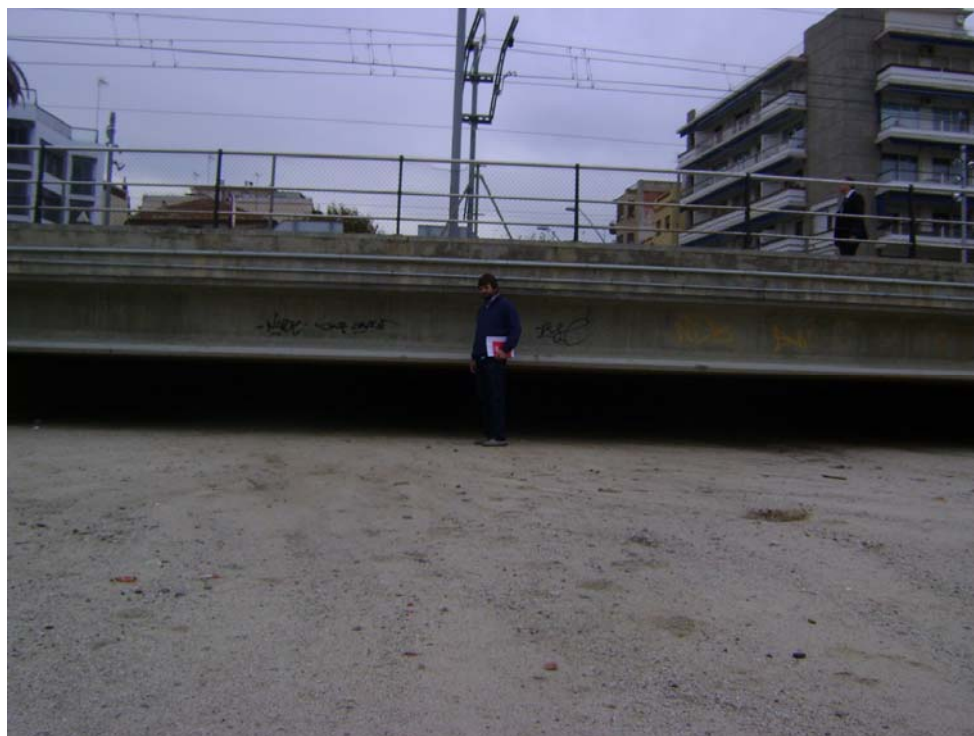


Figura 8. Imatge de l'endegament de la riera d'Arenys a la seva sortida a la platja després d'un temporal (font: autoria pròpia).



Figura 9. Neteja de la desembocadura de la riera d'Arenys (font: E. Ferran, *El Punt*, 8 d'octubre de 2015).

Hi ha més exemples d'aquest tap que forma la infraestructura ferroviària. A la Figura 10 en trobem un altre: s'hi veu l'arc de sota via que queda totalment soterrat per les sorres que hi arriben. Però no tots els casos són així. Com a contraexemple trobem la riera d'Argentona, una de les més importants del Maresme.



Figura 10. Exemple de pas sota via taponat pel transport de sorres (font: Font et al., 2014).

La Figura 11 mostra el pont ferroviari de la seva desembocadura. S'hi pot veure la plataforma situada a una cota prou alta per a permetre el pas de la riera per sota. També s'hi pot veure una quantitat de sediments important, principalment sorres.

D'altra banda, les dimensions de la infraestructura no suposen un coll d'ampolla per al pas de sediments. Tot això podria fer pensar que es tracta d'una zona on la platja gaudeix de bona salut sedimentològica, però no és cert. Es tracta d'un dels trams on s'ha perdut completament la platja. La Figura 12 en mostra la zona. Es veu la dimensió de l'obra de drenatge, així com les esculleres de protecció que hi ha. Clarament s'ha perdut la platja i és indubtable que la nova configuració, tot i l'escullera, és menys dissipativa i possiblement és capaç d'endur-se les sorres que hi arribin mar endins. A la banda sud de la imatge es veuen aportacions sorrenques per sobre de l'escullera, fins i tot és possible que n'existixin alguns dipòsits subaquàtics, però el talús de la platja no aflora.

D'altra banda, també hi ha la possibilitat que, tot i haver-hi aportacions significatives de sorres de la riera, la forta dinàmica litoral, tan deficitària en sediments, sigui capaç de transportar-ho tot en direcció sud.

No s'han trobat fonts bibliogràfiques que aportin valors quantitius per al transport de sediments a la riera d'Argentona. De fet, el document fluvial per excel·lència, el Pla d'espais fluvials, elaborat per l'ACA, sembla que no està disponible per a les rieres del Maresme, per tant no hi ha un estudi morfodinàmic específic.



Figura 11. Desembocadura de la riera d'Argentona (font: dafont, Wikiloc).



Figura 12. Vista aèria de la riera d'Argentona a la seva desembocadura. S'hi pot apreciar la cota de la plataforma ferroviària i les esculleres de protecció litoral (font: GeovirtualGlintner).

Tractant de buscar una resposta per a justificar aquestes diferències respecte d'altres rieres, s'ha fet una anàlisi del pendent, comparant la riera d'Arenys amb la d'Argentona, i s'ha trobat que la primera riera, la d'Arenys, té uns pendents a la part final que fàcilment arriben al 3,5%. El cas d'Argentona és molt diferent: els pendents oscil·len entre l'1,5 i el 2,0%, percentatges clarament inferiors als anteriors i per tant amb una capacitat de transport menor.



Figura 13. Comparació de la riera d'Argentona l'any 1946 (esquerra) i en l'actualitat (dreta) (font: elaboració pròpia).

La

Figura 13 mostra una comparació entre l'estat de la llera el 1946 i en l'actualitat. Segurament el pont ferroviari és el mateix, però es pot veure el gran canvi que ha experimentat la llera. En l'antiguitat era una llera amb gran quantitat de sorra, que semblava bastant activa, amb braços i barres. Potser la configuració morfològica era de riu trenat, característic dels àmbits on el riu diposita sediments provinents de la muntanya.

En l'actualitat sembla quasi completament recoberta de vegetació, que probablement redueix notablement el transport de sediments, i només s'hi veu una petita llera amb sediments. Aquesta estabilització es pot deure a diversos motius, potser una aportació de nutrients importants de l'agricultura, alguna depuradora d'aigües, etc. En qualsevol cas, la configuració actual mostra una llera molt reduïda en sorres i unes planes d'inundació fortament vegetades.

Com a comentari final d'aquest apartat, cal dir que la primera regeneració artificial de platges a l'Estat espanyol es va fer al Maresme l'any 1986. Des de llavors, s'han abocat gairebé 15 milions de metres cúbics de sorra per alimentar les platges del Maresme (Guillén, 2008).

De tot el que s'ha esmentat anteriorment en aquest apartat, queda clar que la dinàmica litoral natural de la zona del Maresme s'ha perdut i que es troba en una situació de desequilibri permanent.

2 Objectius

En l'apartat anterior s'ha fet un recordatori i una descripció de la problemàtica del Maresme i la seva dinàmica litoral desequilibrada. Aquest estudi se centra en un punt concret, el port del Masnou, i en les mesures de correcció de dinàmica litoral que s'hi poden aplicar. Es tracta del concepte conegut com a *bypass*, on el que es busca és que l'estructura sigui "transparent" en termes de dinàmica litoral. En general no és possible aconseguir aquest efecte amb una actuació puntual, sinó que es requereixen actuacions de manteniment programades.

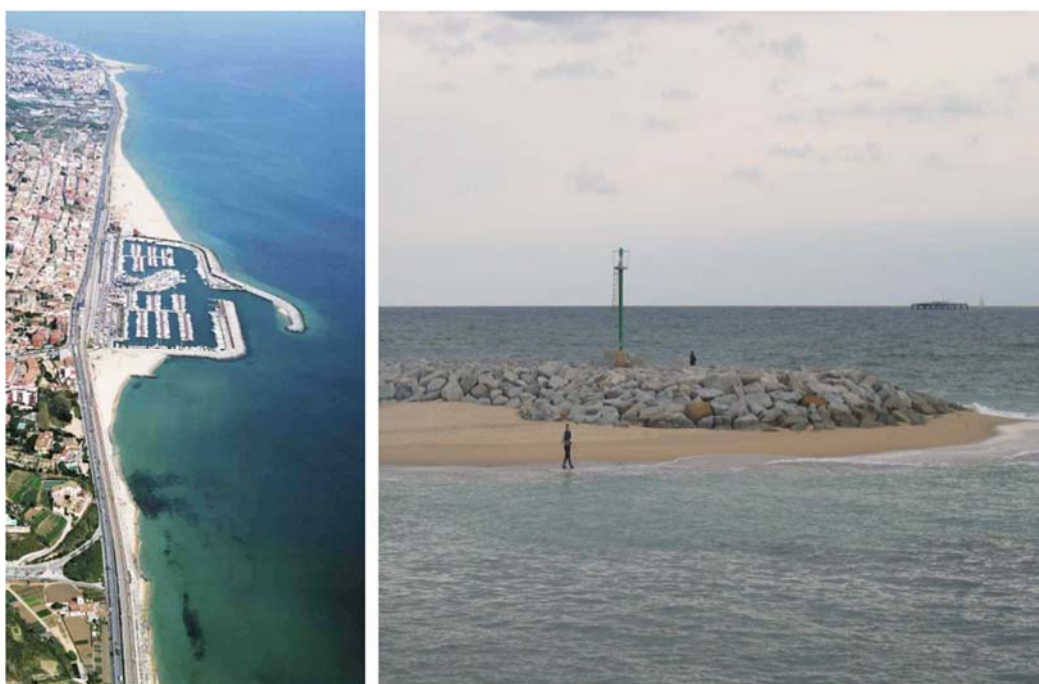


Figura 14. Vista de sud a nord del port del Masnou, on s'identifica el bloqueig de sediments. A la dreta es pot veure que la bocana del port està totalment plena de sorres (font: García, 2008).

La Figura 14 mostra el port en el seu context i com actua de barrera per a la dinàmica litoral. A la part dreta es pot veure com els sediments transportats envolten completament el dic del port i provoquen un aterrament important a la bocana.

Com a alternativa a aquest enfocament del *bypass*, existeix l'estratègia de compartimentar la costa, que busca fer cel·les tancades d'on el sediment ja no pot fugir i on es dona per finalitzat el corrent paral·lel a la costa. Aquest tipus d'actuació és molt comuna i dona lloc als característics dics, que es poden observar a platges com les de Barcelona, Sitges o Vilanova.

De la mateixa manera que el Maresme, el port del Masnou ha estat subjecte de múltiples estudis per a analitzar-ne l'impacte en el conjunt de la dinàmica sedimentària de la costa. Fins i tot s'hi han fet proves pilot per a avaluar diverses mesures correctores. Més endavant s'inclou un apartat específic on es fa una descripció detallada de l'àmbit.

3 Metodologia

Fins ara s'ha fet una descripció global de la problemàtica del Maresme, on està encabint l'àmbit de l'estudi, descrit més endavant i que comparteix els mateixos problemes que la resta de la comarca. Tal com s'ha comentat, existeix molta informació prèvia relativa a la l'estudi que aquí es desenvolupa. Part d'aquesta feina s'ha fet amb uns recursos i un abast molt més amplis que els aquí disponibles, per tant es considera imprescindible fer un recull i una anàlisi de tota la informació disponible, per a no repetir tasques ni malbaratar esforços.

Tot això ha portat a definir el següent procediment:

- Recull i anàlisi de tota la informació prèvia existent.
- Síntesi de les propostes concretes ja elaborades i definides que corresponguin al port del Masnou i al transvasament de sorres.
- Realització d'una batimetria per a tenir una fotografia actual de les sorres.
- Definició de temporals excepcionals per la seva durada i capacitat d'erosió. Es pretén veure els escenaris més extrems que ha d'afrontar l'estratègia de gestió dels sediments.
- Simulació d'aquests temporals erosius sobre el fons actual.
- Anàlisi de resultats i complement de les propostes prèvies.

Els estudis anteriors tenen un paper clau i es complementen amb un estudi morfodinàmic adaptat a la climatologia actual, amb una capacitat extraordinària de mobilització de sediment i destrucció de platja.

En la part de simulació, potser la diferència fonamental respecte a estudis anteriors és el fet que s'han adaptat les condicions de clima a temporals de llarga durada, tal com es viuen en l'actualitat. A més a més, s'han fet servir models estrictament adaptats al càlcul de transport de sediments en platges.

A partir de l'ús d'aquests temporals sintètics es pretén identificar i quantificar la resiliència dels donants de sediments (port del Masnou i talús d'Ocata).

4 Recull històric d'informació

En tots els apartats anteriors es fa referència a la quantitat d'informació prèvia disponible. No és possible fer un estudi que ignori tota aquesta informació, ja que una bona part s'ha desenvolupat en el marc de projectes importants, amb un grau de detall que el present estudi no permet. Per tant, s'ha de processar tota la informació fent-ne una anàlisi crítica i tractant de convergir en unes conclusions sòlides i consensuades entre els diferents autors del estudi.

1. 2008. LLIBRE VERD DE L'ESTAT DE LA ZONA COSTANERA A CATALUNYA. Laboratori d'Enginyeria Marítima de la Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Conegut com el *Llibre verd*.
2. 2010. PROJECTE DE DRAGATGES DE PORTS A CATALUNYA. FASE 4A: TRANSVASAMENT. Litoral Consult. SENER. Direcció General de Ports, Aeroports i Costes.
3. 2011. RESULTATS DEL PROJECTE BRACHMED-e CATALUNYA. ICM-CSIC. INTERREG IIIC-Sud
4. 2014. ESTUDIOS DE DINÁMICA LITORAL, DEFENSA Y PROPUESTAS DE MEJORA EN LAS PLAYAS CON PROBLEMAS EROSIVOS, CONSIDERANDO LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO: ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN EN EL MARESME. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
5. 2018. PROYECTO DE RETROALIMENTACIÓN DE LAS PLAYAS DE EL MASNOU A LEVANTE DE SU PUERTO; T. M. DE EL MASNOU (BARCELONA). MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. Demarcación de Costas en Cataluña. MARCIGLOB. Maritime & Civil Global Consultancy Solutions.
6. 2018, 2019 i 2020. ESTUDI AMBIENTAL I ESTUDI BATIMÈTRIC EN EL MARC DEL PROJECTE DE TRANSVASAMENTS DE SORRES I MANTENIMENT DE LA BOCANA DEL PORT DE MASNOU. Promociones Portuarias, S.A. i Tecnoambiente.

4.1 Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya

Es tracta d'un dels documents fonamentals sobre l'estat de la costa a Catalunya. Es va fer a partir d'un conveni signat per la Generalitat de Catalunya, a través del Departament de Política Territorial i Obres Públiques, el Departament de Medi Ambient i Habitatge, i el Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, amb el Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners de la UPC (CIIRC-UPC), el 2008.

Conté tots els aspectes rellevants en termes de dinàmica litoral, i identifica les característiques físiques i geomorfològiques de les platges, així com els fenòmens morfodinàmics en termes d'erosions i transports de sediments. La Figura 15 mostra un dels resultats calculats a la zona d'estudi, corresponent a les erosions lineals de platja.

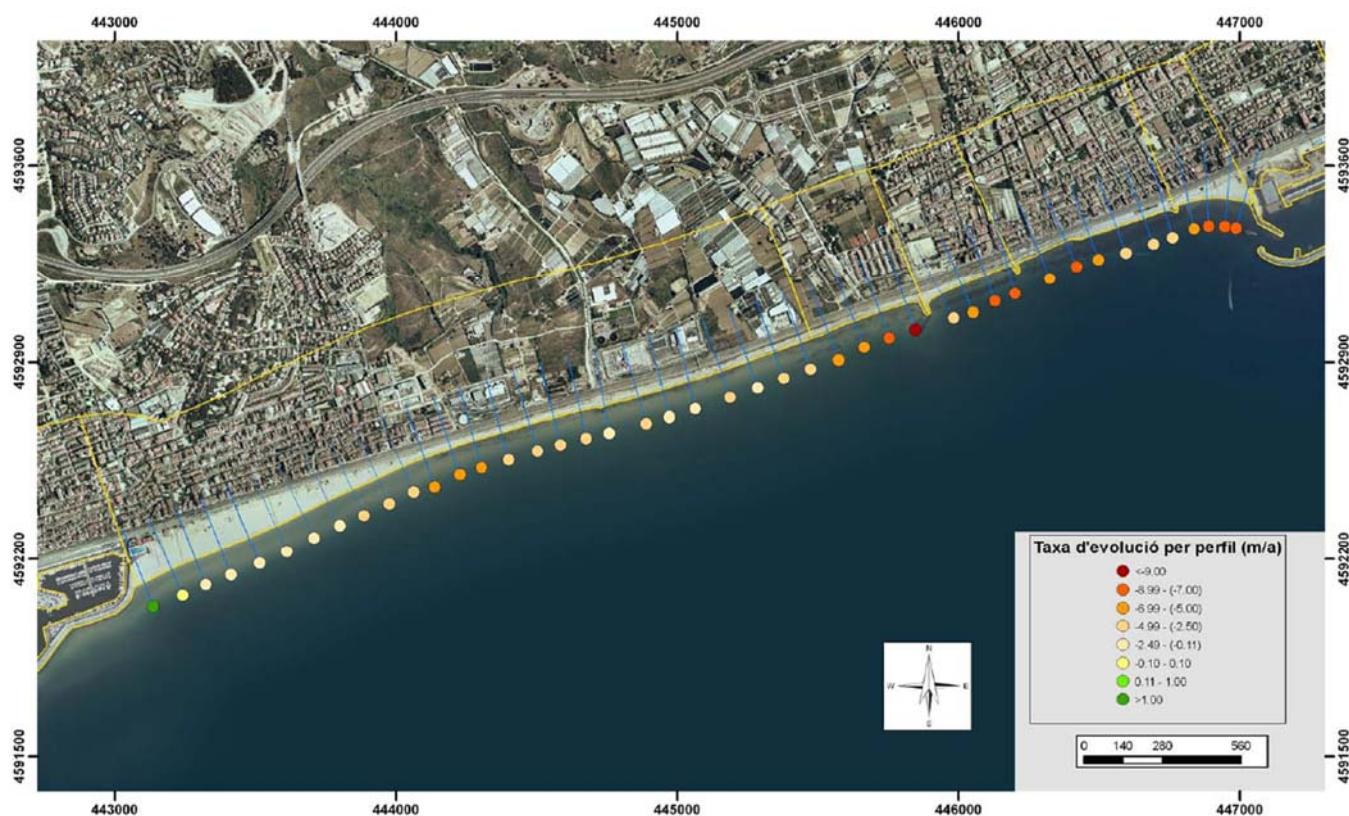


Figura 15. Taxes d'erosió lineal calculades en el tram entre els ports de Premià i del Masnou (font: *Llibre verd*).

A la imatge es pot veure que tot l'àmbit està en erosió excepte la part sud, que toca al port del Masnou, on apareix un indicador en verd. A les parts vermelles, les taxes d'erosió arriben a ser extremadament altes.

A la Figura 16 es pot veure la mateixa informació per al tram al sud del port del Masnou. De nou, tots els indicadors apareixen en vermell, amb un certa millora a la banda sud, on hi ha certes acumulacions de sorres. S'hi pot veure que l'espigó de Montgat fa un efecte similar al dels ports, amb un bloqueig significatiu dels transports de sorres.

Aquest estudi va analitzar de manera quantitativa tot el que estava passant al litoral català, i en particular a la costa del Maresme, i va corroborar el que ja s'observava de manera quantitativa en relació amb la pèrdua de platges.

A banda de l'extens estudi sedimentari, també disposa d'una anàlisi climàtica important, en condicions ordinàries i extrems, i ha estat una de les fonts d'informació més rellevants en tots els estudis que s'han dut a terme posteriorment.

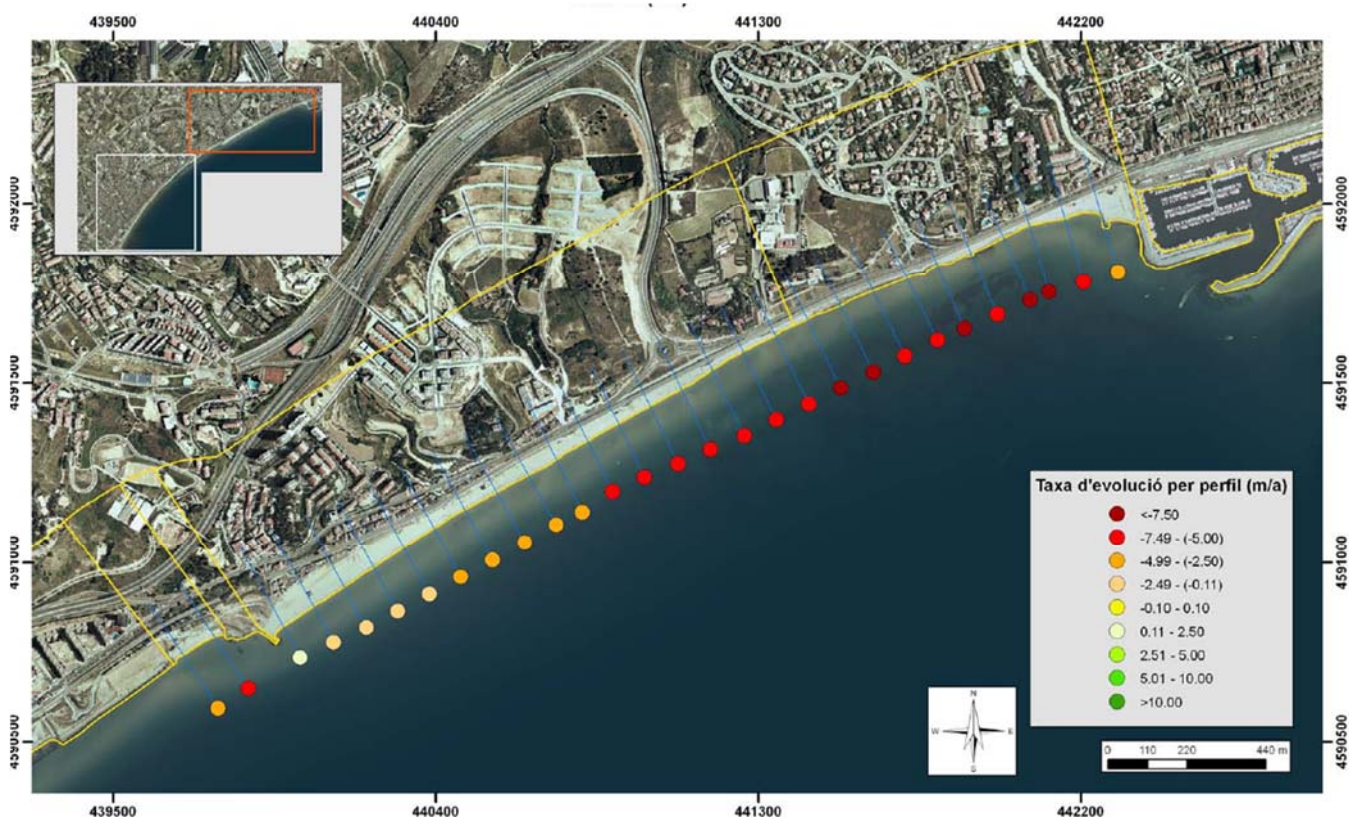


Figura 16. Erosions lineals al tram entre el port del Masnou i l'espigó de Montgat (font: *Llibre verd*).

4.2 Projecte de dragatges de ports a Catalunya. Fase 4a: Transvasament

Es tracta d'un projecte en què es defineixen els transvasaments i els dragatges que s'han de fer en 15 ports de Catalunya. Aquest projecte consta de diverses fases, des de la fase 1A (2006) fins a la 4A (2010), recollida en el títol del capítol i que és l'última de la qual es té constància.

Es tracta de dragatges que es van dur a terme, sempre buscant l'efecte *bypass*, per a alleugerir la pressió sobre les platges a ponent dels ports.

Per al cas particular del port del Masnou, la fase 4A proposa el dragatge de 90.000 m³/any, amb un transvasament del dic exterior a la platja situada a ponent del port (vegeu la Figura 17). Al port de Premià, situat al nord, es parla de 70.000 m³/any.

A les fases anteriors, al port del Masnou els dragatges van ser els següents:

- Fase 1A, se'n van extreure 91.000 m³ en dues campanyes.
- Fase 2A, se'n van treure 111.000 m³ en dues campanyes.
- Fase 3A, s'havia previst treure'n 90.000 m³, però finalment no ha estat executat per la Generalitat.



Figura 17. Zones d'actuació als voltants del port del Masnou, amb dragatge al dic exterior i abocament a la platja del Masnou (font: SENER, 2010).

4.3 Resultats del projecte Brachmed-e Catalunya

Es tracta d'un projecte europeu de la convocatòria INTERRED IIIC-Sud, en què el *partner* científic va ser l'ICM-CSIC i l'*stakeholder*, el Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya. Els objectius principals eren:

- La recuperació del cicle sedimentari, concretada en la valoració de l'eficàcia de les activitats de transvasament de sorra als ports de Catalunya i la seva millora.
- La identificació i la valoració de nous dipòsits potencials de sediment per a recuperar les zones erosionades.
- La valoració de la viabilitat d'un observatori interregional per a la defensa de les costes mediterrànies.

El lloc on es van avaluar aquests objectius va ser el port del Masnou. Els dragatges que es van analitzar van ser precisament els efectuats en el context del PROJECTE DE DRAGATGES DE PORTS A CATALUNYA. FASE 1A, comentat en l'apartat anterior. La conclusió més rellevant de l'estudi és, textualment:

"...que el Projecte de dragatges havia estat eficaç per al cas particular del port del Masnou: l'acumulació, a l'entorn del port, d'un volum de sorra equivalent al necessari per regenerar les platges confrontants, així com la ràpida recuperació de la zona dragada, van demostrar que era justificat el dragatge periòdic del sediment acumulat al port."

Per tant, la quantitat dragada, d'uns 90.000 m³/any, era perfectament sostenible per a la dinàmica sedimentària del port. Al marge de tots els estudis anteriors i posteriors, es va determinar que el transport de sediments que calia transvasar al port del Masnou era de 70.000 m³/any.

A la Figura 18 es pot veure un esquema general de la proposta. No es tracta d'un funcionament de *bypass*, perquè la sorra no s'envia a la cel·la del port del Masnou-Montgat-port de Badalona, sinó que es transvasa a la mateixa cel·la d'on ve. Aquesta proposta difereix de l'executada en la fase 1A, en què la sorra dragada va passar a la cel·la següent, en concret a la platja del Masnou

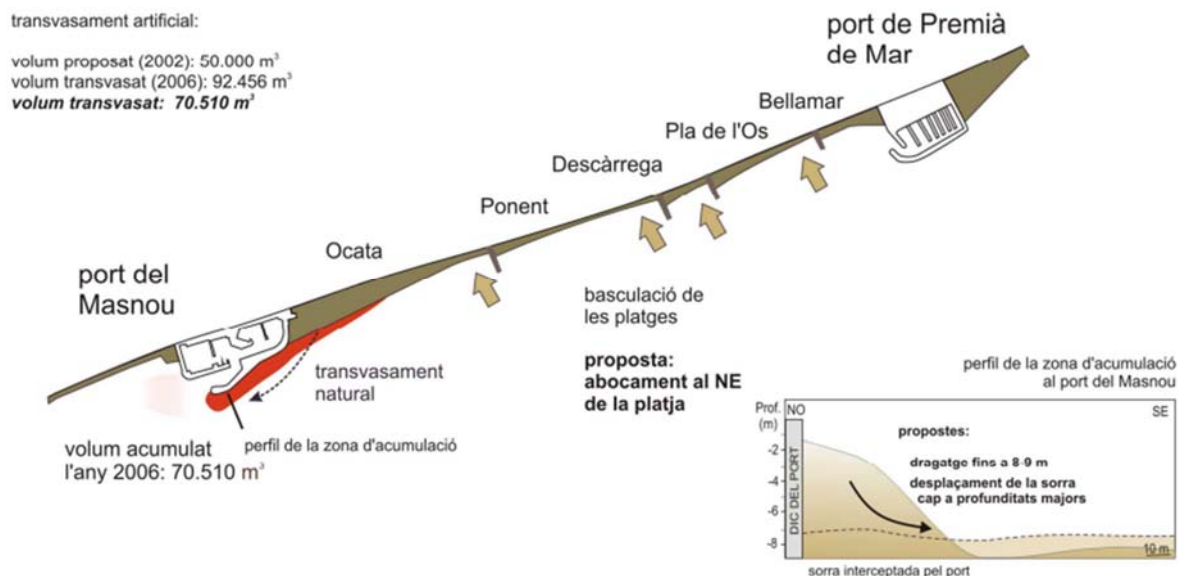


Figura 18. Diagrama de propostes d'actuació al tram entre el port de Premià i el port del Masnou (font: ICM-CSIC, 2011).

D'aquest estudi també resulta molt interessant la comparació entre els models numèrics d'erosió i la realitat mesurada. Els models emprats són els mateixos que es fan servir en els altres estudis aquí descrits.

La Figura 19 mostra el resultat d'erosió i sedimentació obtinguts a partir de les batimetries realitzades entre 2006 i 2007. S'hi pot veure que es formen zones de sedimentació important al voltant del dic del port del Masnou i a peu de platja en alguns punts. Les acumulacions a peu de platja són conseqüència dels temporals i corresponen al retrocés de platja. També es veuen erosions importants a les platges de llevant, sobretot a la de la Descàrrega.

La Figura 20 mostra els resultats obtinguts amb els models numèrics del SMC (*sistema de modelado costero*), emprats en quasi tots els estudis que s'han fet. S'hi pot veure que les erosions i sedimentacions són diferents als real. Els moviments es concentren en alguns punts i potser el més destacable és que el model no és capaç de identificar l'acumulació de sediment en el dic d'abric del port. Ni tan sols es veuen efectes d'aterrament a la bocana del port.

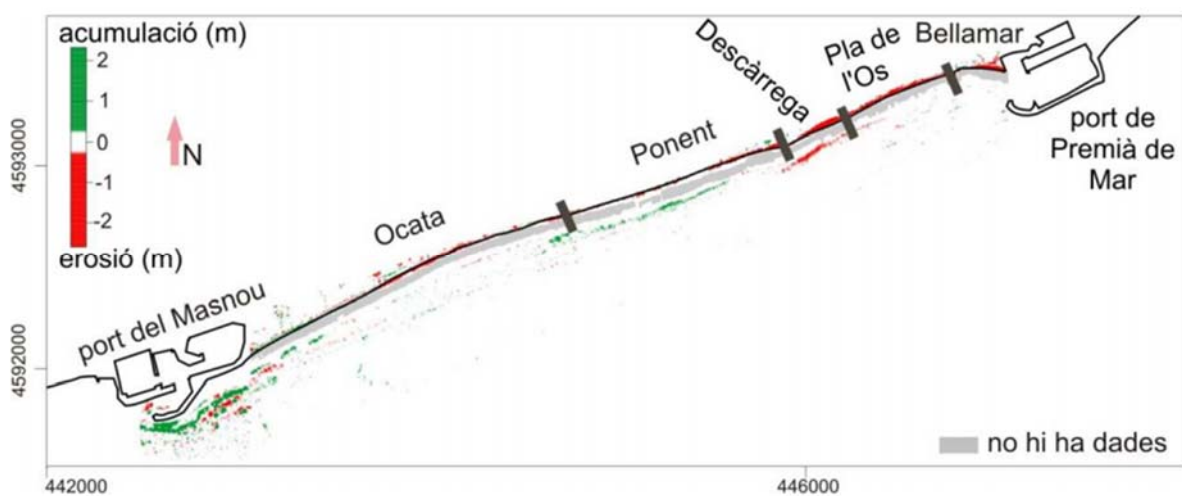


Figura 19. Dades reals d'erosió i sedimentació obtingudes per batimetries entre 2006 i 2007 (font: ICM-CSIC, 2011).

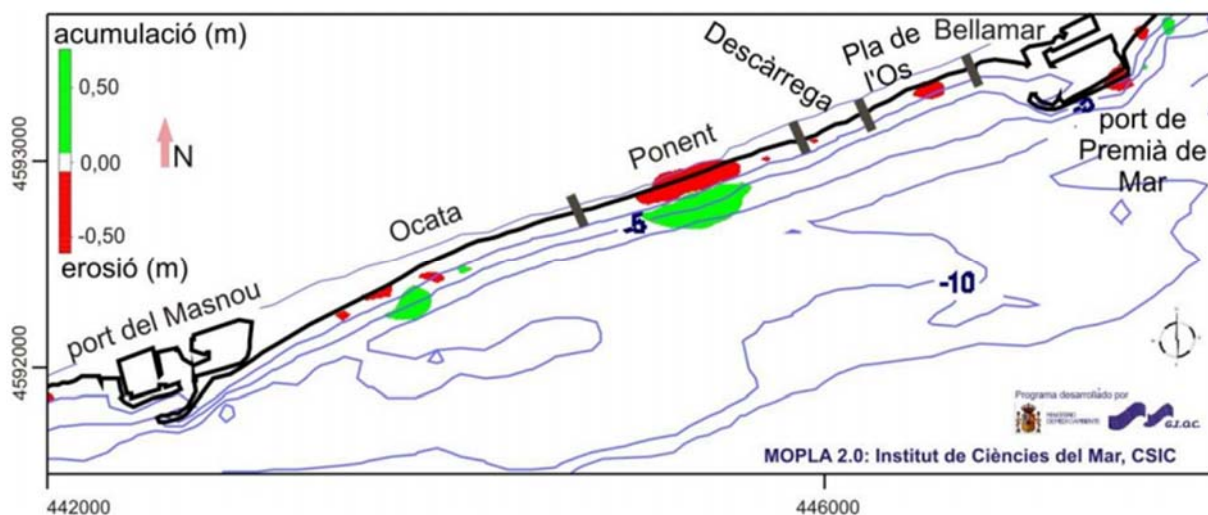


Figura 20. Resultats d'erosió i sedimentació obtinguts amb els models numèrics (font: ICM-CSIC, 2011).

4.4 Estrategia de actuación en el Maresme

Aquest estudi que va dur a terme el CEDEX per al Ministeri de Foment defineix un pla d'actuació ambiciós. Estableix una estratègia comú per a tractar tot el litoral del Maresme. Tot i que es va aprovar el 2015, encara no s'ha executat cap de les actuacions que preveu i no és clara l'acceptació política que té per part dels ens locals.

Aquest estudi fa una anàlisi important de tota la informació prèvia existent, per tant, ja en si mateix, constitueix un resum de referència important. Aquesta anàlisi de la informació prèvia es va entregar en un document independent anomenat "PARCIAL" el 2013. Fa ús de dades provinents tant dels estudis del mateix CEDEX com d'estudis de la Generalitat de Catalunya. Defineix tres alternatives d'actuació per al litoral:

- Estanquitat completa amb construcció d'espigons i dics.
- Reposició contínua de sorra a les platges en dèficit, sense execució d'obres.
- Dics parcials que no arribin a profunditat de tancament i reposició diferida de sorres en cas necessari.

Tot el litoral situat entre Blanes i Barcelona es divideix en tres trams, que s'analitzen individualment. Són els següents:

1. Riu Tordera-port d'Arenys de Mar
2. Port d'Arenys de Mar-port de Mataró
3. Port de Mataró-espigó de Montgat

El tram que aquí interessa és el 3, on queda integrat el port del Masnou. De les dades de l'informe, destaca l'inventari d'actuacions ja executades per part del ministeri en anys anteriors per tal de recuperar les platges. Al tram 1, 2.300.000 m³. Al tram 2, 3.500.000 m³ i al tram 3, 3.600.000 m³.

Per a l'alternativa 2 d'actuació, sense obres estructurals, els càlculs apunten que a la banda del tram 3 que va de Premià al Masnou seria necessària una restitució inicial de 1.500.000 m³ i una aportació anual mitjana de 65.000 m³. Entre el Masnou i Montgat caldrien aproximadament 1.000.000 m³ i posteriorment, 100.000 m³/any.

La Figura 21 recull les diferents solucions proposades per al port de Premià i el port del Masnou en estudis successius. S'hi pot veure que l'estudi inicial del CEDEX, del 2002, proposava espigons en diversos punts, corresponents a una alternativa 3 de dics parcials. L'estudi de SENER de 2010 és el corresponent a Ports de la Generalitat.

A partir de tota la informació recopilada i de les noves anàlisis, en aquest estudi es fa la proposta d'actuacions recollida a la Figura 22 i a la Figura 23 i que combina transvasaments de sorres amb l'execució de dics parcials en forma de L. El mateix estudi considera que a les cel·les definides pels dics s'ha de vigilar que les amplades de platja no siguin inferiors a 30 metres i, en cas que sigui així, retroalimentar-les. Després de la restauració, les amplades haurien d'estar al voltant dels 60 m.

En volums de sorra, la restauració suposaria 1.500.000 m³, amb la construcció de quatre espigons en forma de L. Hi ha una actuació complementària, identificada amb el número 6 a la Figura 22, que

correspon a un esperó recolzat al dic del port del Masnou, que tindria com a finalitat evitar la pèrdua de sorres pel perímetre del port.

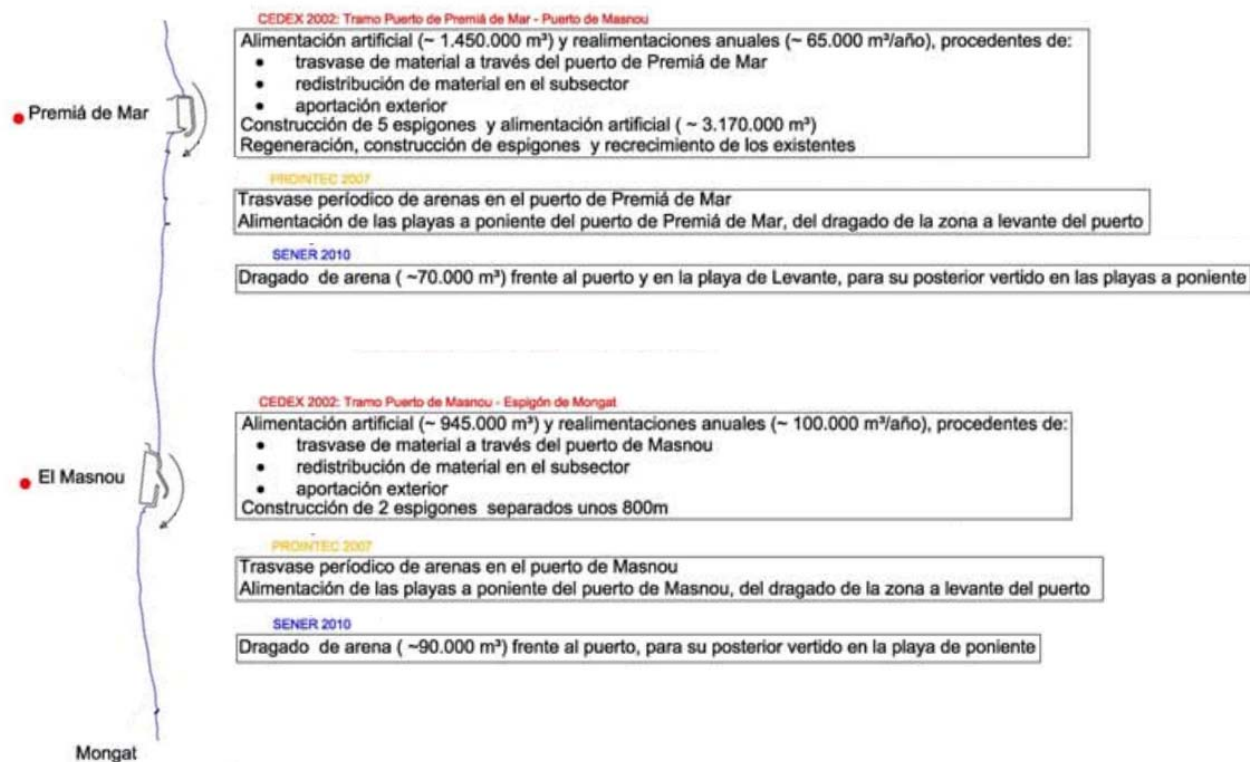


Figura 21. Recopilació de mesures proposades en estudis anteriors (font: CEDEX, 2015).



Figura 22. Proposta d'actuacions en el tram de costa situat entre els ports de Premià i el Masnou (font: CEDEX).

L'estudi del CEDEX inclou una prioritització de les actuacions. Dels tres trams identificats, el tram 3, de Mataró a Montgat, és el que presenta més actuacions de prioritat alta, amb grans aportacions de sorra. Aquest fet dona fe la urgència i la necessitat d'actuar en l'àmbit del port del Masnou i voltants.



Figura 23. Actuacions entre el port del Masnou i l'espigó de Montgat.

Per acabar, cal dir que les dades de transport longitudinal establertes en aquest estudi, visibles a la Figura 24, són relativament semblants a les obtingudes al *Llibre verd* i en estudis posteriors, tot i que sempre cal tenir en compte que aquests càlculs duen associada una gran incertesa.



Figura 24. Resum de les dades de transport longitudinal establertes a l'estudi d'estratègia de gestió del Maresme (font: CEDEX, 2015).

4.5 Proyecto de retroalimentación de las playas de el Masnou a levante de su puerto; T. M. de el Masnou (Barcelona)

Es tracta del projecte constructiu que materialitza part de les actuacions proposades al document "Estrategia de actuación en el Maresme", descrit en l'apartat anterior (vegeu la Figura 22).

Aquest projecte va acompanyat d'altres que van ser adjudicats en el mateix concurs, que duia per títol "Asistencia Técnica para la redacción del 'Proyecto de actuaciones en el Maresme; TT.MM. de El Masnou – Premià de Mar (Barcelona)"". Els projectes inclosos són els següents:

- Estabilización de las playas de Premià de Mar a poniente de su puerto, T. M. de Premià de Mar (Barcelona).
- Retroalimentación de las playas de El Masnou a levante de su puerto, T. M. de El Masnou.
- Construcción de un dique de apoyo en la playa de Ocata, T. M. de El Masnou (Barcelona).

En aquests tres projectes hi ha molts elements comuns relatius a clima i a dinàmica i, per tant, les dades s'extreuen només d'un d'ells.

La Figura 25 mostra els dos fronts principals d'actuació en el projecte aquí descrit, amb un transvasament de sorres que busca el trasllat de sorres de la part propera al port del Masnou (esquerra) a la part propera al port de Premià (dreta). El projecte correspon a les actuacions etiquetades com a 5 i 6 a la Figura 22.

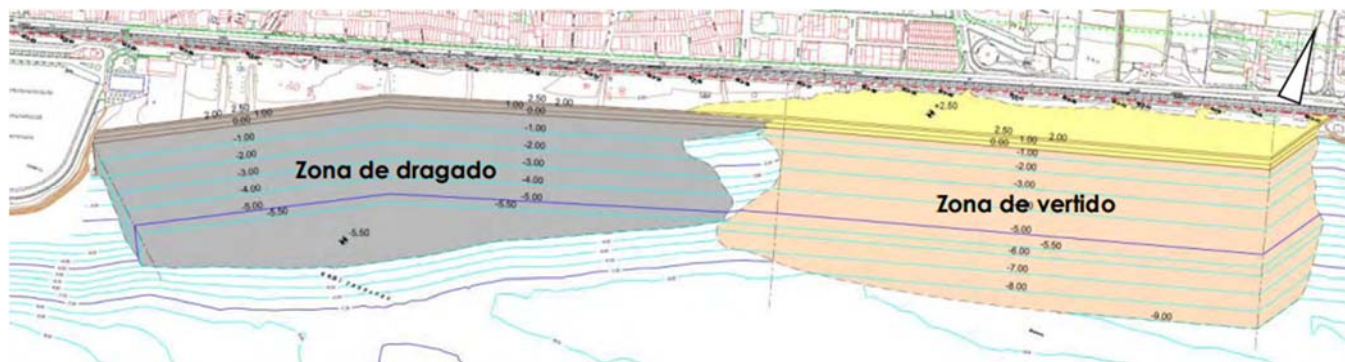


Figura 25. Definició de la zona d'extracció de sorres i d'abocament (font: MARCIGLOB, 2018).

Per tal de donar un caràcter permanent a aquest repartiment, es proposa la construcció d'uns dics en L, que fan de tancament de les diferents zones on s'actua i que es poden veure representats a la mateixa figura on s'indiquen les actuacions. A la Figura 26 es pot veure un detall del projecte d'aquests dics.

Aquest projecte és del 2018 i s'hi duu a terme una sèrie de càlculs rellevants per a l'estudi aquí desenvolupat. Es fa una anàlisi detallada de la dinàmica litoral, amb climes mitjans, morfodinàmics i extrems. El procediments aplicats són perfectament vàlids i, per tant, aquest estudi es fa pròpies les conclusions d'aquest treball.

Per a l'anàlisi climàtica es prenen dades de les boies físiques i virtuals existents:

- Boia física Llobregat de la XIOM.
- Boia física Barcelona II (port de Barcelona).
- Boia virtual SIMAR 2068051.
- Boia virtual WANA 2114138.

Per tal de poder aplicar les dades de clima a la dinàmica de la platja es fa una propagació des de profunditats indefinides fins a aigües somes. Aquesta propagació es fa amb les dades climàtiques morfodinàmiques i amb les corresponents al temporal d' H_{512} , que és el que té 12 hores de durada i que comunament s'assimila al període de retorn d'1 any.

Les característiques del clima anomenat *morfodinàmic* fan que transporti la mateixa energia que tot el cicle anual. És a dir, es tracta d'un clima mitjà en termes d'energia. Normalment es considera que el transport de sediments depèn d'aquesta energia, per tant és apta per a avaluar la dinàmica litoral.



Figura 26. Imatge d'un dels dics en L projectats (font: MARCIGLOB, 2018).

Com a recull de dades significatives sobre el clima morfodinàmic, a la Figura 27 es pot apreciar que les llevantades són els temporals més importants en alçada d'onada. Les onades provinents d'E-NE tenen tendència a refractar cap a l'E quan s'acosten a la platja. L'onada constant al llarg de l'any, que transporta la mateixa energia que el clima real, té una alçada d'aproximadament 1 metre.

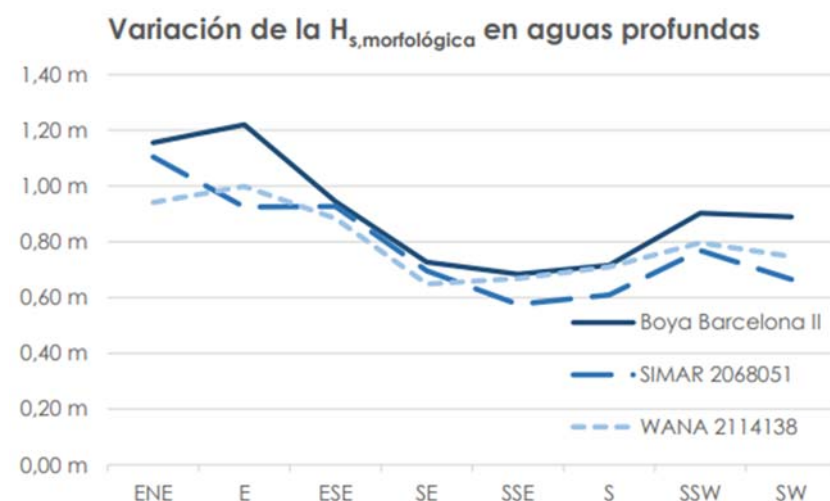


Figura 27. Alçada significativa d'onada per al règim morfodinàmic (font: MARCIGLOB, 2018).

És important ressaltar que aquestes dades es corresponen a profunditats indefinides, és a dir, no afectades per la batimetria costera. Són onades que, en acostar-se a la platja, experimenten molts canvis, entre ells el fet que es trenquen en onades de menor alçada. El mateix procediment s'aplica als temporals considerats d'1 any de període de retorn i els resultats dels quals es mostren a la Figura 28. S'hi pot apreciar que, de nou, les direccions E i ENE són les més importants, amb alçades properes als 5 metres. S'ha de tenir en compte que el transport de sediments és proporcional a l'energia i que aquest, a profunditats indefinides, depèn d' H_s^2 , per tant creix de forma quadràtica amb l'onatge. En els resultats obtinguts numèricament en aquest projecte, pràcticament un 27% de la taxa de transport longitudinal anual a la platja prové del temporal de 12 hores, per tant en 12 hores es transporta un 27% del total de sediment mobilitzat en un any (vegeu la Figura 29).

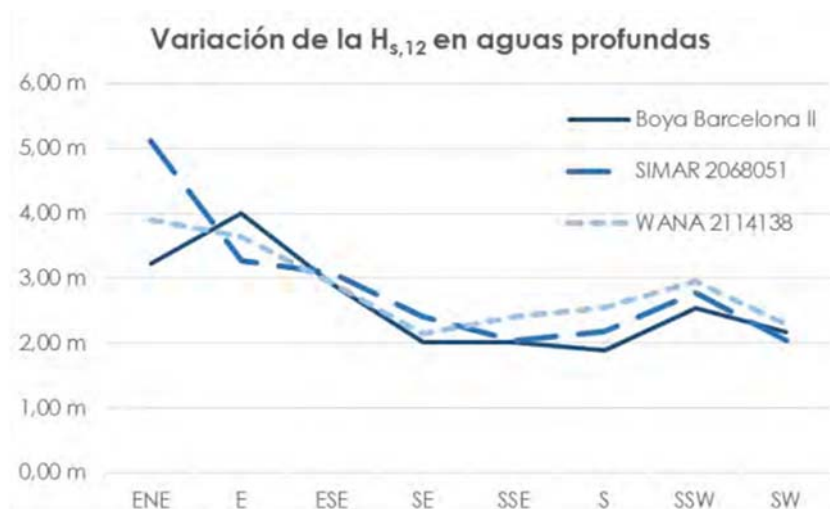


Figura 28. Alçada significativa d'onada per al règim corresponent al temporal de 12 hores de durada $H_{s,12}$ (font: MARCIGLOB, 2018).

En aquest mateix projecte, l'anàlisi de clima extremal a profunditats indefinides es fixa en 5,73 metres per a un període de retorn de 67 anys, estipulat per la ROM per al tipus de projecte en curs. Els períodes de pic són de 11,4 segons i direccionalment es determina que els temporals de llevant (E, ENE) són els

més desfavorables. Aquestes onades extremals experimenten una forta reducció en acostar-se a la platja.

L'estudi de transport longitudinal de sediment dona uns valors de 35.000 m³/any a prop del port del Masnou, a la banda de Premià. Aquests valors són semblants als del *Llibre verd* i lleugerament inferiors als de l'estudi "Estrategia de actuación en el Maresme".

Oleaje	Transporte neto		
	Perfil I	Perfil II	Perfil III
Morfológico	16.000 m ³ /año (NE-SW)	21.000 m ³ /año (NE-SW)	0 m ³ /año
Excedido 12 h/año (H ₅₁₂)	6.000 m ³ /año (NE-SW)	8.000 m ³ /año (NE-SW)	2.000 m ³ /año (NE-SW)

Figura 29. Transport anual de sediment al llarg de la costa (font: MARCIGLOB, 2018).

La sorra perduda al port del Masnou per efecte del dic s'estima en 2.000 m³, una xifra relativament petita. De la mateixa manera, els modelatges numèrics fets amb el model MOPLA no recullen una pèrdua de sorra mar endins per moviments transversals a la platja. Tot i així, en l'estudi s'apunta que sí que existeix aquesta pèrdua de sorra.

En conjunt, les xifres obtingudes per al transport de sediments en aquest estudi queden lluny de poder justificar les pèrdues globals de sorra observades al llarg d'aquests anys a les platges. És possible que això sigui perquè els càlculs amb el model numèric preveuen l'efecte del clima mitjà i l'efecte del temporal d'un any de període de retorn. Segurament, aquests darrers anys la principal destrucció de les platges s'ha produït en episodis concrets de períodes de retorn elevat, que arrossegueu les sorres mar endins i fan que els corrents longitudinals siguin molt més eficaços en el transport i que les sorres ja no quedin disponibles per a la recuperació estiuenca. De la mateixa manera, els valors baixos de transport transversal obtinguts amb el modelat numèric ja indiquen que potser aquest fenomen no està ben recollit.

4.6 Estudis addicionals

Al marge de tots els estudis particulars recollits a l'apartat anterior, n'hi ha d'altres que pel fet de no ser exactament de la zona d'interès o ser de menor entitat, es recullen a continuació, en un apartat diferent.

4.6.1 2020: Estudi ambiental i estudi batimètric en el marc del projecte de transvasaments de sorres i manteniment de la bocana del port del Masnou

Es tracta d'un estudi elaborat per Tecnoambiente per a l'avaluació ambiental del dragatge del port del Masnou, que va haver de sotmetre's a un dragatge d'emergència quan va quedar inoperatiu després del Glòria per la presència de sediments. Al marge d'aquest escenari excepcional, de manera periòdica es fa un dragatge del port.

Els volums previstos i executats en aquestes campanyes de dragatge estan al voltant dels 45.000 m³/any, però es limiten a garantir la navegabilitat, per tant tenen un objectiu operatiu i no ambiental. Les zones d'extracció es van definir en un projecte anomenat "Proyecto de dragado plurianual para el

mantenimiento de la bocana y canales de acceso del Puerto de Masnou", d'Enginyeria Reventós, el 2020. Aquestes zones estan representades a la següent figura.

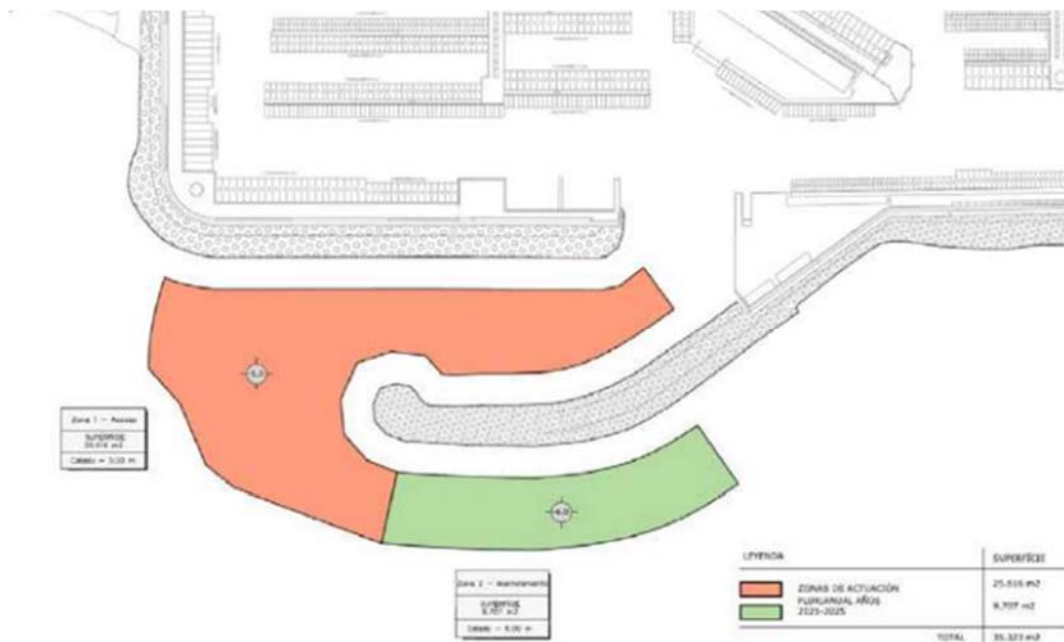


Figura 30. Zona de dragatge i superfícies (font: Reventós, 2020).



Figura 31. Zona d'extracció i abocament (font Tecnoambiente, 2020). Es pot veure que la zona d'abocament està situada en una platja ja totalment erosionada i sense condicions de contorn a ponent del port.

El projecte de dragatge del port del Masnou s'ha consultat en les seves versions de 2018, 2019 i 2020, i en totes elles la quantitat dragada està al voltant dels 45.000³ esmentats.

El punt d'abocament de la sorra se situa aigües avall del port, a la platja ja erosionada i en aigües obertes.

L'extracció i l'abocament es duen a terme amb una draga petita, de fins a 40 m³, que transvasa els 45.000 m³ en continu. Es pot veure en els documents que, per efecte dels treballs, hi ha una acumulació sedimentària d'entre 0,1 i 0,75 m en la zona d'abocament.

Donada la configuració de la platja, aquest abocament no sembla tenir l'efecte desitjat de regeneració, degut a la manca de confinament de la platja i a la situació de total regressió.

En resum, l'actuació de dragatge i *bypass* del port del Masnou que s'ha efectuat els darrers anys, amb un dragatge anual d'uns 45.000 m³ i l'abocament en una zona de mar obert, no compleix una funció efectiva de *bypass*, ja que la sorra no regenera la platja a ponent del port. Sí que compleix la funció d'evitar l'aterrament de la bocana.

4.6.2 2021: Estudis previs per a l'estabilització de les platges de Sant Adrià de Besòs, Badalona i Montgat. ECOSOT, LIM-UPC, Barcelona Regional, per encàrrec d'AMB.

Aquest estudi és molt complet i elaborat tècnicament, però fa referència a l'àmbit comprès entre Sant Adrià i Montgat, per tant no agafa el port del Masnou. Tot i això, conté dades interessants per a la contrastació.

El balanç sedimentari efectuat en aquesta cel·la dona unes taxes d'erosió naturals d'uns 56.000 m³/any (assumint que les pèrdues de sorra observades a les platges són el resultat de la dinàmica natural menys les aportacions de sorres), mentre que el *Llibre verd* n'estipula 141.000 m³/any, per tant estariem al voltant del 30%. Per contra, els valors de transport de sediments longitudinals són semblants, al voltant de les 100.000 tones/any.

L'estudi de clima és molt complet i s'hi fan simulacions representatives de sèries de temps llargues per a avaluar clima i transport de sediments.

4.6.3 2003: Prova pilot per al dragatge de *bypass* al port del Masnou. SENER per encàrrec de la Direcció General de Ports i Transports, i Gestió d'Infraestructures SA

Es tracta d'un projecte per a una prova pilot real al port del Masnou per a valorar l'efectivitat dels dragatges. Es van mobilitzar 13.600 m³ de sorra en una rasa de dragatge i es va determinar que en 6 mesos s'havia reomplert quasi totalment, i que en un any ja no era visible.

Els resultats tenen una influència important en els dragatges planificats al port del Masnou.

4.6.4 2008: Anàlisi del funcionament de les obres relacionades amb la gestió del sediment en els ports i platges del Maresme, UPC, Víctor García Rodríguez

Es tracta d'una tesina d'especialitat —equivalent en l'actualitat a una tesi de màster— desenvolupada a la UPC. Aquest document es va redactar amb el suport de Ports de la Generalitat i conté un recull molt elaborat de tota la cronologia d'actuacions en el litoral per a recuperació de platges.

Es fa referència als primers estudis de costes, dels quals se citen els següents:

- "Trasvase de arenas en los puertos deportivos de Masnou, Premià de Mar, Mataró y El Balís. Maresme". Realitzat per INTECSA, el juliol de 1992.
- "Estudio de dragado y *bypass* de la arena de levante a poniente de la ampliación del Puerto de Premià". Realitzat per PROSER el juny de 1993.
- "Informe sobre el transvasament de sorres als ports del Maresme". Realitzat per PROSER.
- "Draga autopropulsada polivalente para la regeneración de playas del litoral catalán". Realitzat per SPRA, S.A.
- "Mecanismos de aterramiento en mares micromareales. Análisis de puertos del litoral catalán". Article publicat per Agustín Sánchez Arcilla, Francesc Xavier Gironella, José A. Jiménez i Francisco Rivero. Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

- “Estudio de la dinámica litoral en la costa peninsular mediterránea y onubense”. Realitzat pel MOPU (1979).

Amb aquest punt de partida, el 2002 es desenvolupà l’“Estudi, definició i dimensionament del Servei de Dragatges de Catalunya”, que era el document seminal de la creació del Servei de Dragatges de Catalunya, i que duu associada la següent cronologia ambiental:

Taula 1. Actuacions per part de la Generalitat de Catalunya (font: García, 2008).

ESTUDI	DATA
Estudi, definició i dimensionament del Servei de Dragatges de Catalunya	Juny 2002
Projecte constructiu de la prova pilot al port del Masnou	Febrer 2003
Execució de la prova pilot al port del Masnou juny 2003	Juny 2003
Estudi d’evolució de la prova pilot al port del Masnou	Febrer 2004
Projecte constructiu fase 1A: Transvasament	Març 2004
Execució d’obres fase 1A: Transvasament	Gener - maig 2006
Projecte d’obra executada fase 1A: Transvasament	Juny 2006
Projecte constructiu fase 2A: Transvasament	Juny 2006
Declaració d’emergència	Maig 2007
Obres fase 2A: Transvasament	Juny - octubre 2007
Projecte d’obra executada fase 2A: Transvasament	Octubre 2007

El conjunt d’operacions dutes a terme pel Servei de Dragatges de Catalunya està recollit a la taula següent:

Taula 2. Actuacions del Servei de Dragatge de Catalunya (font: García, 2008).

Data	Volum	Zona de dragat	Zona d’abocament
Agost i Novembre 2002	6.500 m ³	Port de El Masnou	Platja d’Alella
Juny, Octubre i Desembre 2003	41.600 m ³	Port de El Masnou	Platja d’Alella
Abril - Maig 2004	22.700 m ³	Port de El Masnou	Platja d’Alella
Juny - Juliol i Novembre 2005	38.000 m ³	Port de El Masnou	Platja d’Alella
Gener - Febrer i Maig - Juny 2006	42.000 m ³	Port de El Masnou	Platja d’Alella
Febrer i Agost 2007	30.201 m ³	Port de El Masnou	Platja d’Alella

I finalment, el llistat d’operacions dutes a terme al Masnou per la Direcció General de Costes del Ministeri de Medi Ambient:

Taula 3. Operacions de la Direcció General de Costes del Ministeri de Medi Ambient (font: García, 2008).

DATA	VOLUM	ZONA DE DRAGATGE	ZONA D'ABOCAMENT
Octubre 1988	635.995 m ³	El Masnou i Premià de Mar	Platja de la Mar Bella (BCN)
Octubre 1988	268.522 m ³	El Masnou i Premià de Mar	El Masnou i Premià de Mar
Gener 1993	500.000 m ³	Premià de Mar	El Masnou
Abril 1993	478.699 m ³	Premià de Mar	El Masnou – Montgat
2006	96.287 m ³	El Masnou	Platja de la Barceloneta
2007	44.181 m ³	El Masnou	Platja del Bogatell

Al marge de tot el recull d'accions de restauració, en aquest estudi també es fa un càlcul de les taxes de transport longitudinal a la costa, amb una anàlisi elaborada i l'ús de models numèrics, que es compara amb l'evolució mesurada de la costa per a calibrar els models. Com a dada més rellevant, cal dir que per al tram situat entre el port del Masnou i el port de Premià s'estima una erosió de 183.000 m³/any, mentre que al *Llibre verd* es fixava en 151.000 m³/any. Per al tram situat entre el port de Premià i el port de Mataró es calculen 241.000 m³/any, mentre que el *Llibre verd* n'indica només 49.000 m³/any, una diferència bastant notable tot i les metodologies similars emprades en ambdós càlculs.

5 Síntesi dels estudis anteriors

El problema d'aterrament que pateixen els ports del Maresme i el problema de pèrdua de sorres a les platges són dues cares d'una mateixa moneda. Des del punt de vista competencial poden tenir diferents aproximacions, perquè l'Administració responsable de l'operació dels ports no és la mateixa que l'Administració responsable de les platges i el seu estat, però és indubtable que les dues administracions desenvolupen estratègies per a afrontar el problema.

A banda de les dades concretes obtingudes en cada un dels estudis, a grans trets es poden definir dues línies d'actuacions, una a càrrec del CEDEX i l'altra, de Ports de la Generalitat. Fins a un cert punt, les propostes estan lligades i limitades pels àmbits competencials d'ambdós actors.

1. La línia provinent dels estudis del CEDEX apunta a una redistribució de la sorra acumulada a la platja d'Ocata, a llevant del port del Masnou, pel tram situat entre el port del Masnou i el port de Premià. Aquesta distribució es complementa amb l'execució d'uns dics per a estabilitzar el tram. D'aquesta manera es minimitza el manteniment anual. També s'apunta un préstec de sorra davant de les platges.
2. La línia definida per Ports de la Generalitat apunta a dragar la sorra que s'acumula als voltants del dic d'abric del port del Masnou i de la seva bocana, i a emprar-la per a recuperar les platges de ponent del port.

Les sorres acumulades al port del Masnou provenen del llevant, de la cel·la situada entre el port de Premià i el port del Masnou. La lògica indica que es poden adoptar dos enfocaments contraposats:

- a) Intentar mantenir la sorra confinada a l'interior de les cel·les d'origen, com si els ports fossin uns grans dics de tancament.
- b) Fer un *bypass* de sorra cap a la següent cel·la, en aquest cas port del Masnou-Montgat-port de Badalona.

A dia d'avui, les cel·les estan totalment aïllades perquè no existeix el transvasament de sorres entre elles. Posar en marxa el *bypass* obligaria a aplicar-lo en continu a totes les cel·les per a garantir que cap d'elles no subministrés sorra a la de ponent sense rebre'n a canvi.

Com a dades concretes, es podria dir que el tram situat entre el port de Premià i el port del Masnou requeriria una aportació anual d'entre 65.000 i 90.000 m³/any. Per contra, el següent tram, situat entre el port del Masnou i Montgat, requeriria 100.000 m³/any. Aquests valors estan calculats amb les dinàmiques actuals de dragatge dels ports i de pèrdua de sorres de les platges. Si es fes una construcció dels dics parcials, tal com proposa el CEDEX, totes aquestes xifres s'haurien de revisar, molt probablement a la baixa, i en qualsevol cas al port del Masnou hi arribaria molta menys sorra de la que actualment hi arriba.

Els estudis de dragatge d'aquest port indiquen que a dia d'avui el volum mínim de dragatge per a mantenir operatiu el port és de 45.000 m³/any, el que determina un límit inferior de cara a quantificar els volums a dragar.

Actualment aquests dragatges s'estan efectuant, però des de la visió d'aconseguir l'operativitat del port i no pas de mantenir el balanç sedimentari i sobretot regenerar la platja a ponent. La sorra abocada en aigües obertes no regenera la platja i es perd per a aquest fi.

6 Anàlisi de les propostes

Tots els estudis anteriors defineixen unes actuacions particulars per tal de substituir la dinàmica litoral natural del Maresme, a dia d'avui irrecuperable. Les actuacions proposades són vàlides en el sentit tècnic i en certs aspectes poden ser complementàries, mentre que en d'altres poden ser contraposades. Potser es pot buscar una sinergia entre les aproximacions del Ministeri i les de Ports de la Generalitat. Les sorres a dragar en la proposta del Ministeri provenen de les acumulacions a llevant dels ports, per tant es treuen d'una part de la platja per a posar-les en una altra de diferent. La proposta de Ports de la Generalitat insta a dragar les sorres de les acumulacions que dificulten les operacions del port i passar-les a la següent cel·la. Combinant ambdues coses es pot aportar sorra a les platges dels dragatges realitzats només a l'interior dels ports i les bocanes, sense haver de reduir les platges a ponent dels ports.

D'altra banda, les dics en L proposats pel Ministeri podrien estabilitzar la solució i evitar que els dragatges dels ports haguessin de ser freqüents, cosa que reduiria els costos de manteniment. El mateix estudi del CEDEX reconeix que pot haver-hi tres alternatives diferenciades: una estanquitat total de les platges, una reposició continua o una tercera aproximació de protecció parcial per dics i una restauració de platges menys freqüent.

Aquesta tercera aproximació és la seleccionada, amb uns dics que no arriben a profunditat de tancament, de manera que no impedeixen el transit de sediments entre espigons. L'esperó del port del Masnou per a evitar la pèrdua de sorres mar endins sembla que podria ser d'utilitat, ja que confina les sorres en una zona on la retroalimentació és més senzilla.

Potser la decisió estratègica més important és decidir si volem fer *bypass* per a restablir el flux general de sorra o bé mantenir-la confinada en els trams definits pels ports. La pega del *bypass* és que comença amb les aportacions del riu Tordera i a dia d'avui no és clar que pugui aportar totes les sorres requerides. L'estudi titulat "Planificació de l'espai fluvial de la conca de la Tordera", elaborat per l'ACA conté un estudi morfodinàmic que fixava les aportacions del riu Tordera al mar entre 19.000 i 34.000 m³/any, per tant molt lluny dels valors requerits per al transport longitudinal a les platges.

És possible que en el passat les altres rieres incrementessin les aportacions fins als quasi 100.000 m³/any requerits per a la dinàmica natural, però a dia d'avui aquestes aportacions estan pràcticament extingides, tal com s'ha comentat en la introducció de l'estudi. **Això ens porta a posar en crisi la idea del *bypass* com a única opció.**

També volem remarcar que l'acció de dragatge i abocament actual del port aconsegueix l'objectiu de manteniment de l'operativitat del port, però l'acció d'abocament de la sorra, a mar obert, a la zona immediata al port, té un cost econòmic mínim però presenta una manca d'efectivitat en la regeneració de la platja i una pèrdua neta de la sorra per a aquest fi.

El complement fonamental a aquesta estratègia és definir uns indicadors d'estat de les platges que permetin desencadenar nous transvasaments de sorra, dragatges i reposició de platges.

7 Àmbit d'estudi

Tal com s'ha vist al llarg de les seccions prèvies, aquest estudi se centra en els temes de dinàmica litoral al voltant del port del Masnou. Es tracta d'una infraestructura emmarcada en el Maresme i que fa de frontera entre dues de les cel·les principals, la que va cap a llevant fins al port de Premià i la que va cap a ponent fins a l'espigó de Montgat o el port de Badalona. A la Figura 33 es mostra una imatge de les unitats identificades per part del Ministeri de Medi Ambient a través del CEDEX. S'hi veu que el port del Masnou crea els subsectors 3.2 i 3.3.

Tota la problemàtica general del Maresme i les seves platges ha estat extensament descrita en els apartats anteriors, així que es fa innecessari reproduir-la de nou.

La Figura 32 mostra la situació del port del Masnou en el context de la costa propera.

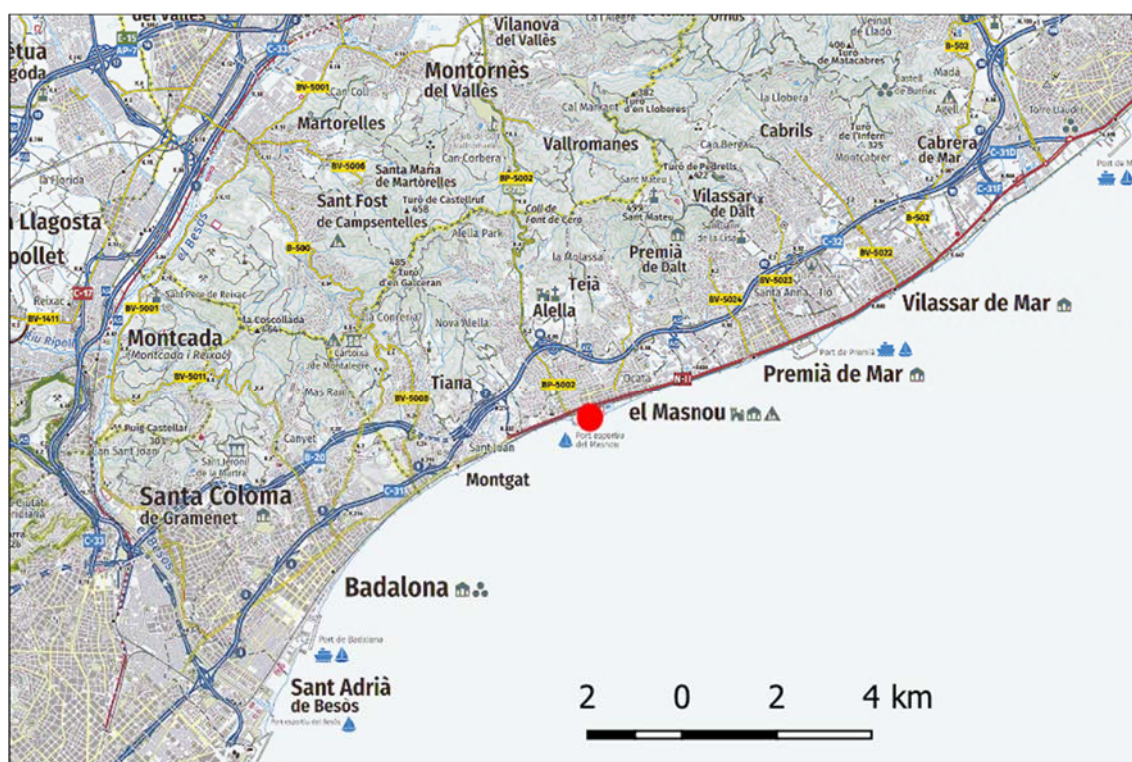


Figura 32. Mapa de situació de la zona d'estudi.

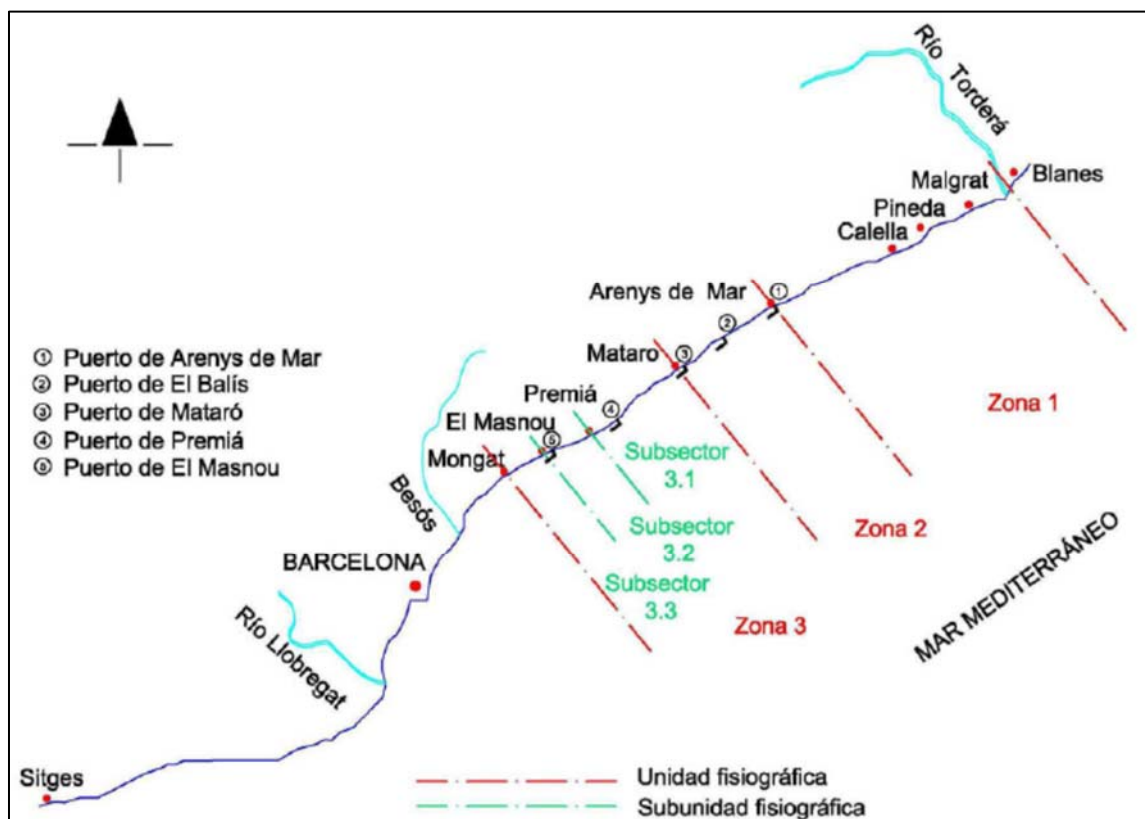


Figura 33. Zonificació dels trams de costa segons l'estudi del CEDEX de novembre de 2013 (font: CEDEX).

La Figura 34 mostra el port del Masnou en una fotografia aèria. S'hi aprecia clarament l'efecte d'acumulació a llevant i la d'erosió a ponent, on la platja s'aprima considerablement. De la mateixa manera, es pot observar la bocana, que ha estat objecte de moltes incidències d'aterrament i que es draga anualment.



Figura 34. Imatge del port del Masnou.

8 Capacitat de transport longitudinal de sediment

En els apartats anteriors s'ha fet un repàs de diversos estudis que incloïen quantificacions del transport de sediment litoral. En aquest sentit, l'estudi de referència més significatiu per al conjunt de Catalunya és el *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya*. En aquest apartat es fa un recull del mètode emprat per al càlcul analític, així com dels resultats obtinguts en l'estudi per a la zona. En el següent apartat, de manera alternativa, es presenten els resultats del mètode gràfic i s'actualitzen amb imatges recents.

L'estudi de la dinàmica litoral, entesa com a evolució de platja a llarg termini, es pot abordar de dues maneres: a partir de la fotointerpretació o a partir de l'aplicació d'equacions de transport de sediment paral·lel a la costa, també anomenat *longitudinal*. Indubtablement, la primera aproximació resulta més realista, perquè es basa en evidències fenomenològiques i no requereix calibratge. Per contra, és un mètode que no té capacitat predictiva. Si les condicions canvien, no és capaç de predir els resultats.

D'altra banda, el mètode analític a partir de les equacions de transport sí que és capaç de predir i capturar l'efecte dels canvis, ja sigui en clima o en usos. No obstant això, presenta algun problema d'incertesa, amb ús sistemàtic de coeficients de correcció i calibratge. Pot usar-se de manera estrictament analítica o integrat dins d'un model numèric hidrodinàmic. En el primer cas es tractarà d'equacions relacionades amb variables característiques de la platja i de la condició de clima, en el segon cas es tractarà d'equacions de transport relacionades amb les variables locals que resol el model numèric en cada una de les cel·les de la seva malla.

Entre els models analítics, en primer lloc destacariem el model del CERC (US Army Corps of Engineers, 1984). Aquest model posseeix una llarga tradició i és una de les referències més sòlides. En aquest document es proposa un model que estima el transport de sorra paral·lel a la costa Q_l . Aquest model es recull en la següent equació,

$$Q_l = \frac{K}{(\rho_s - \rho)(1-n)} \frac{1}{16} \rho \sqrt{gh_b} H_b^{2.5} \sin(2\alpha_b) \quad (1)$$

on n és la porositat de la sorra, ρ la densitat del agua, ρ_s la densitat del sediment, H_b l'alçada d'ona en el trencament, h_b la profunditat en el trencament, g la gravetat i α_b l'angle d'incidència del trencament. La lletra K representa un paràmetre de calibratge amb valors que oscil·len entre 0,45 i 1,15, cosa que evidencia la incertesa en el càlcul, amb variacions del 100%.

Kamphuis (1991) proposa una formulació alternativa, on el període de pic, T_p , i el diàmetre del gra, D_{50} , substitueixen funcionalment el paràmetre de calibratge:

$$Q_l = 0.00079 \left(\frac{1}{1-n} \right) \left(\frac{g}{2\pi} \right)^{1.25} H_b^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} D_{50}^{0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (2)$$

A partir d'aquestes formulacions es pot establir que existeix una dependència clara d'unes certes variables, fonamentalment l'alçada de l'ona en trencar, H_b , i el seu angle d'incidència respecte a la costa, α_b . En incrementar-se l'onatge o l'angle, el transport augmenta de manera significativa. És sabut que l'onatge, per efecte de la refracció, tendeix a orientar-se cap a la costa i, per tant, a minimitzar el transport longitudinal.

Poder arribar a definir aquestes variables no és senzill. Les dades preses en una boia a profunditats indefinides no seran d'aplicació directa, sinó que cal traslladar-les mitjançant una propagació per aigües baixes fins al punt de trencament per a poder obtenir l'alçada significativa en trencament.

En segon lloc, l'onatge direccional mesurat a la boia pateix una refracció molt important en el seu viatge a la platja, ja que gira i s'enfronta a la platja. Per tant, cal de nou una propagació per a estimar aquest gir.

Es pot concloure que els models de transport potencial de sediment paral·lel a la costa requereixen una propagació de l'onatge. Donada la dificultat tècnica i computacional de la propagació fins a aigües baixes, no es pot fer de manera indiscriminada, amb sèries temporals prou llargues, així que s'han de triar episodis concrets.

L'elecció dels episodis és crucial, ja que cadascun dels termes de l'equació posseeix uns exponents diferents. Així, quan trobem que l'ona en trencament està elevada a 2,5 m, això significa que els onatges majors contribueixen de manera notable al transport. Tanmateix, es tracta d'episodis de molta menor durada. Això fa que al final els valors seleccionats vagin molts orientats al clima mitjà, essent el més adequat el valor que dona l'energia mitjana d'onatge, tant en alçada d'ona com en direcció. L'energia depèn de l'alçada d'ona al quadrat, que no és molt diferent de l'exponent del transport de sediments vist.

Se seleccionen diversos climes mitjans amb temporals de diferent origen. Això dona lloc a un valor de transport litoral que pot tenir direccions diferents. Finalment es fa un balanç conjunt de tots els escenaris per a arribar a la taxa neta.

En l'elaboració del *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya* per part del Departament de Territori i Sostenibilitat, el 2008 es van dur a terme aquests càlculs de la manera aquí descrita. Els valors de transport de sediment en el tram 10 es presenten a la Figura 35. La platja a llevant del port és la d'Ocata, que té el codi MAMS055. La platja a ponent del port és la del Masnou, amb codi MAMS054 (la Figura 35 presenta la codificació de les diferents platges).

Les dades de transport de sediments per a la platja del Masnou (MAMSo54) són:

Erosió (m/a) = -7,0

Acreció (m/a) = 0,0

Net (m³/a) = 55.000

Brut (m³/a) = 287.000

A ponent (m³/a) = 171.000

I per a la platja d'Ocata (MAMSo55):

Erosió (m/a) = -2,9

Acreció (m/a) = 1,6

Net (m³/a) = 26.000

Brut (m³/a) = 249.000

A ponent (m³/a) = 137.000

Els valors bruts són la suma de tots els transports, independentment de la seva direcció. Els valors nets són la suma tenint en compte la direcció i, per tant, n'hi ha d'oposats. Els transports nets són sempre positius en direcció a ponent, per tant les platges tenen un pèrdua de sorres sempre cap als veïns situats a llevant. Tal com indicaven les roses dels vents, existeixen dos temporals fonamentals, un de llevant i un de sud. Aquesta polarització dona lloc a dos transports de sediments molt contraposats, en què, en el balanç final, sempre és el component de nord a sud el que domina el transport.

En el cas de la platja d'Ocata, el valor que dona el *Llibre verd* la situa com una platja erosiva, tot i que l'evolució observada a partir de fotografies aèries mostra una amplada important, per tant una platja amb disponibilitat notable de sorra.

Ja fa anys que aquesta platja està estabilitzada en una amplada molt important, per tant la tendència ja sembla que sigui a oscil·lar en aquest entorn d'equilibri o de complet atterrament. No creix més perquè la dimensió del dic del port és limitada.

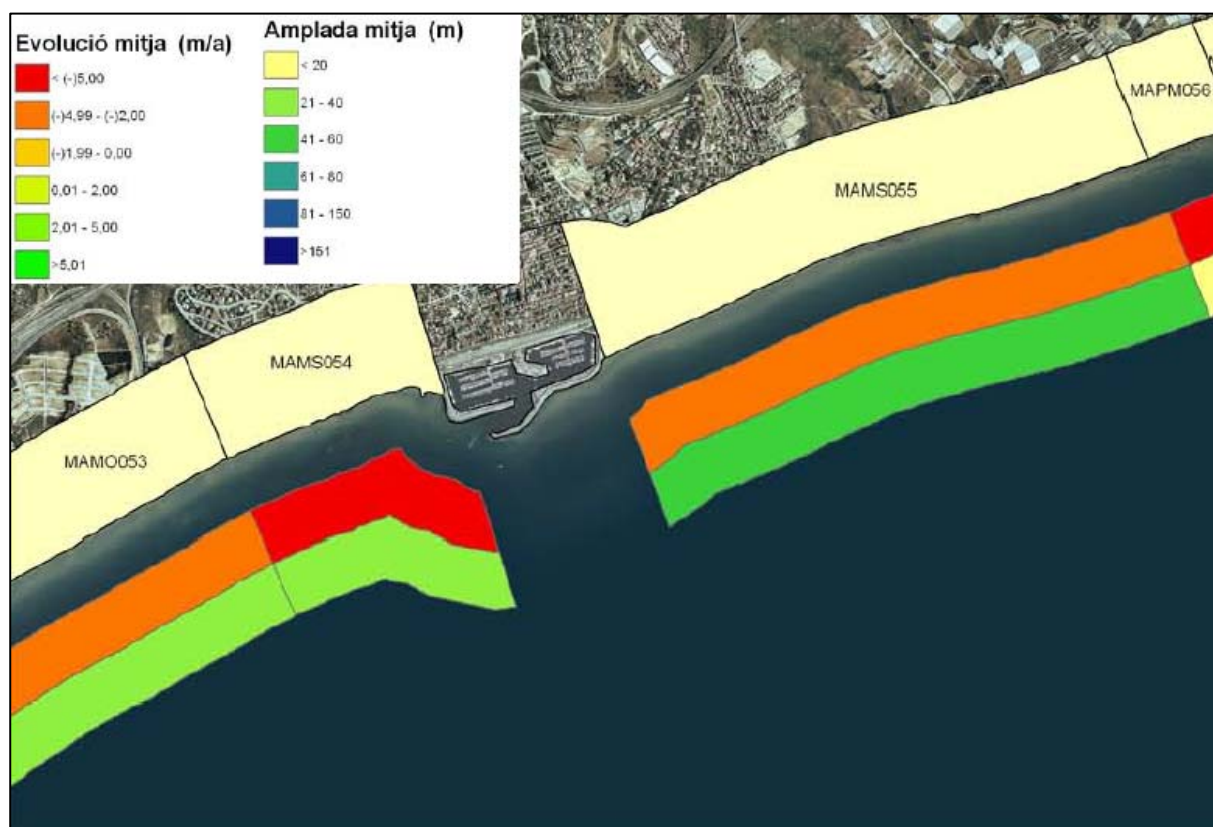


Figura 35. Codi de platges del tram 10 segons el *Llibre verd*.

La Figura 36 presenta tres imatges rellevants de les platges situades al voltant del port del Masnou. La superior és la condició normal de la platja. La inferior esquerra es correspon amb l'estat després d'un temporal de SE i s'hi pot veure el gir provocat a la platja. La situada a ponent no ha patit un retrocés visible, però la de llevant ha perdut sorra i s'ha descobert parcialment el dic d'abric del port.

Aquest tipus de temporal que fa perdre la platja i la sorra del dic és el que se simularà en situació excepcional d'intensitat i durada.

La imatge de baix a la dreta representa la mateixa platja sota l'efecte d'un temporal de E (llevant), on es pot observar un gir diferent a l'anterior: la platja de llevant ha crescut, torna a cobrir parcialment el dic del port. S'hi observa que l'onatge trenca, cosa que indica la presència de dipòsits de sorra al llarg del dic.

Resulta també molt il·lustratiu veure l'impacte que la llevantada ha tingut en la bocana del port, ja que ara s'aprecia el trencament de les onades, cosa que indica que s'ha produït un aterrament molt important, que possiblement interfereix amb les activitats del port.



9 Evolució de la línia de costa

Tal com s'ha recollit en l'apartat anterior, al marge del mètode analític tenim l'evolució de la línia de costa basada en la interpretació de les fotografies aèries. En aquest cas han de ser fotografies corregides perquè puguin funcionar com a ortofotomapes. El procediment és senzill, es delinea una línia de costa sobre cadascuna de les fotografies, finalment es comparen entre elles i sobre aquesta base es fan els mesuraments.

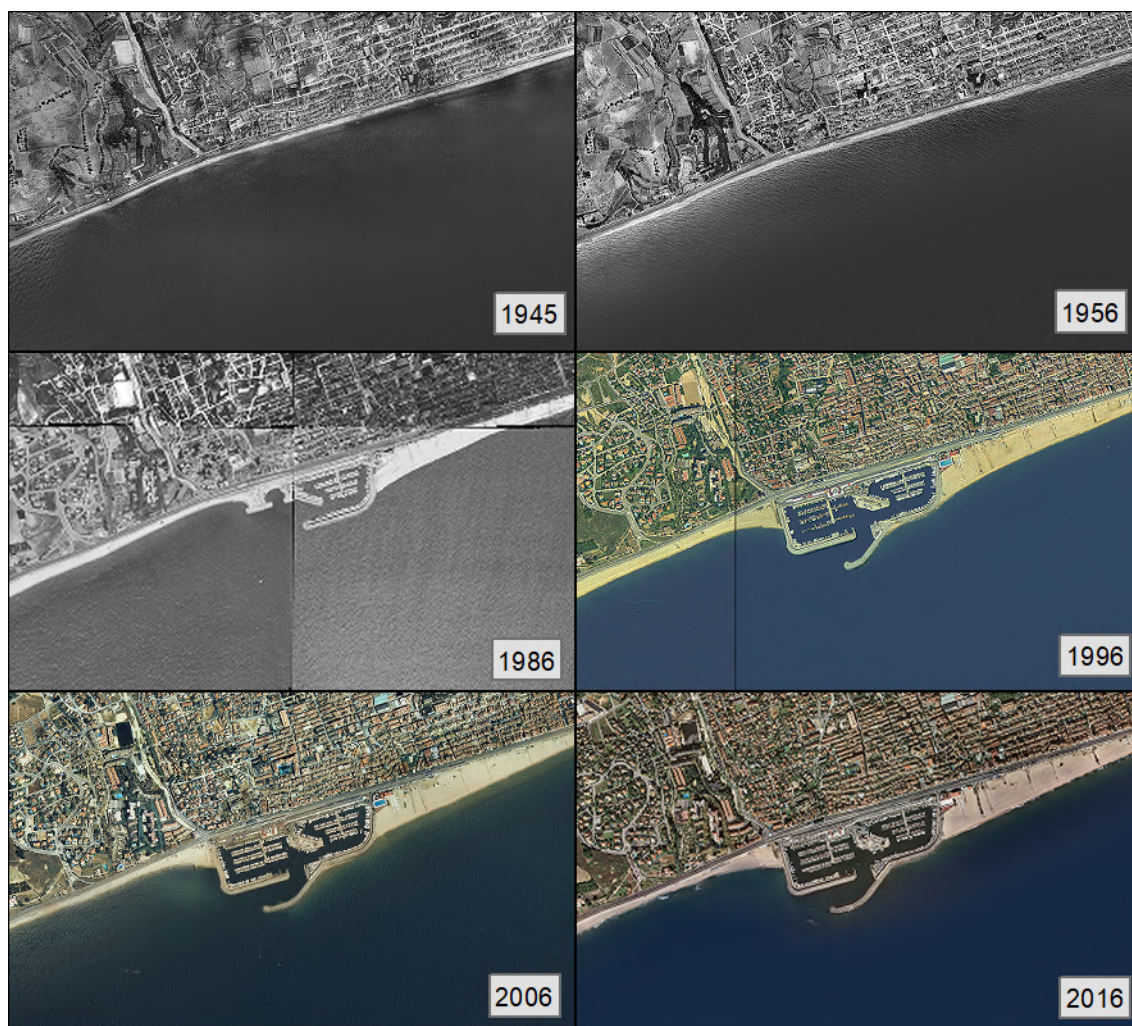


Figura 37. Evolució de la costa al nord del port de Premià.

Aquest treball s'ha dut a terme múltiples vegades en el litoral català. A la Figura 37 es pot veure el punt de partida. Són una sèrie d'ortofotomapes que representen la línia de costa en la zona d'estudi. Les imatges estan representades a una escala d'1:30.000. En les imatges de 1945 i 1956 pot apreciar-se que el port del Masnou encara no existia, però a la corresponent a 1986 ja apareix, tot i que en una configuració diferent de l'actual. Es pot apreciar la presència d'algun dic exempt que forma una barra a ponent del port. A l'any 1996 ja apareix modificat i ampliat.

Respecte a la morfologia, es pot veure que ja el 1945 les platges de la zona apareixen notablement reduïdes. S'ha de recordar que la línia de Mataró és la més antiga de Catalunya, del 1845, per tant a la primera foto ja feia 100 anys que el sediments del riu estaven interceptats pel tren i les seves infraestructures.

En el cas dels ortofotomapes antics, la resolució de les imatges no permet una precisió similar a la que tenen els ortofotomapes moderns. D'altra banda, existeix un problema addicional: al llarg dels últims anys s'han realitzat una sèrie de campanyes posteriors a grans temporals de costa, per això els resultats de la línia de costa poden deure's a reculades relacionades amb temporals extrems i no representatius d'una dinàmica mitjana, que és el que persegueix aquesta anàlisi.

Seguint el fil relatiu a l'evolució de les platges, en primer lloc es presenten els resultats obtinguts l'any 2008 en el context de l'estudi del *Llibre verd*. La Figura 38 presenta la gràfica d'amplés de platja en una campanya duta a terme el 2004 per a tot el litoral de Barcelona. En color negre apareixen les mesures d'ample mitjanes, en color vermell els amplituds màxims. Els números vermells indiquen els trams.

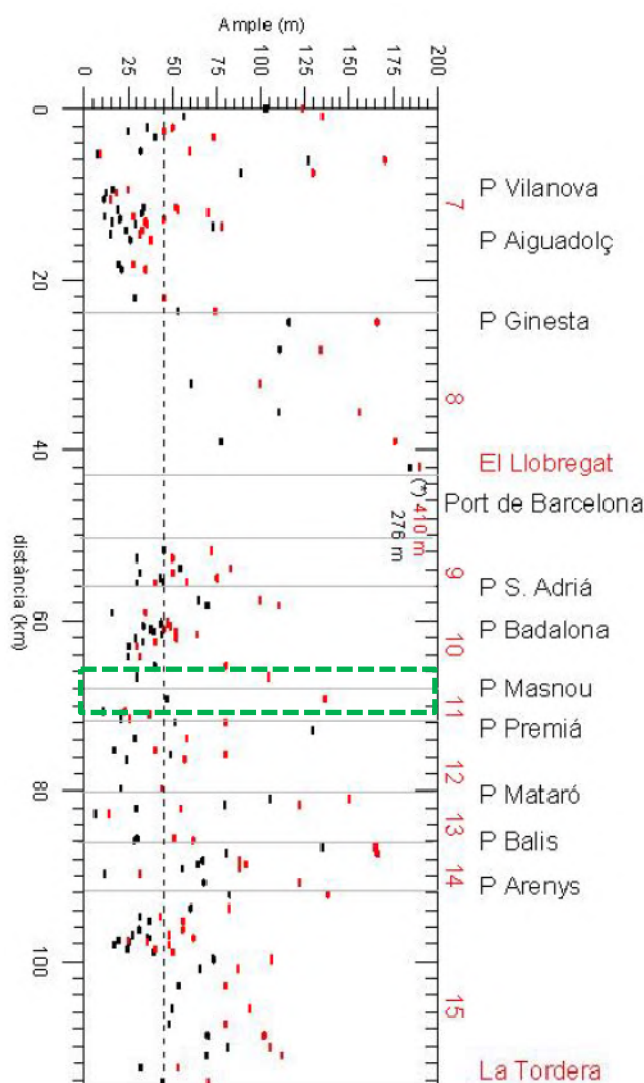


Figura 38. Amplària mitjana de les platges
(font: *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya*, període 1995-2004).

En aquest estudi, la platja del Masnou, a ponent del port, presentava una amplada mitjana de 30 metres, amb puntes de 100 i mínims de 3 m, per tant extremadament variable i en alguns trams fins i tot inexistent. Pel que fa a la d'Ocata, presenta mitjanes de 50 metres, amb puntes de 140 m.

Més enllà d'aquests valors puntuals, a partir de la fotointerpretació es pot analitzar la dinàmica de l'evolució i s'arriba als resultats recollits en la Figura 39. Les unitats de la figura són m/any i el més rellevant és la tendència general a la reculada (color vermell en la figura). Per a la platja del Masnou s'indiquen els valors recollits, que són a l'entorn dels 7 metres d'erosió per any. En el cas de la platja d'Ocata, els valors superen els 2 metres d'erosió per any, però aquesta xifra enganya una mica, ja que pel fet de ser una platja a llevant d'un port, intercepta molta sorra. Per tant, s'observa que oscil·la al voltant d'un estat d'equilibri en què pràcticament ocupa l'extensió màxima que pot, donada la presència del port.

Aquestes xifres sempre s'han de prendre amb molta prudència, ja que presenten una variància important, a més d'estar fortament condicionades per les campanyes de mesuraments que es duen a terme, a més de provenir d'un ajust lineal a un element que no presenta un comportament lineal. Sembla evident que existeix una reculada generalitzada de molts trams. No obstant això, la velocitat d'aquesta reculada és dubtosa.

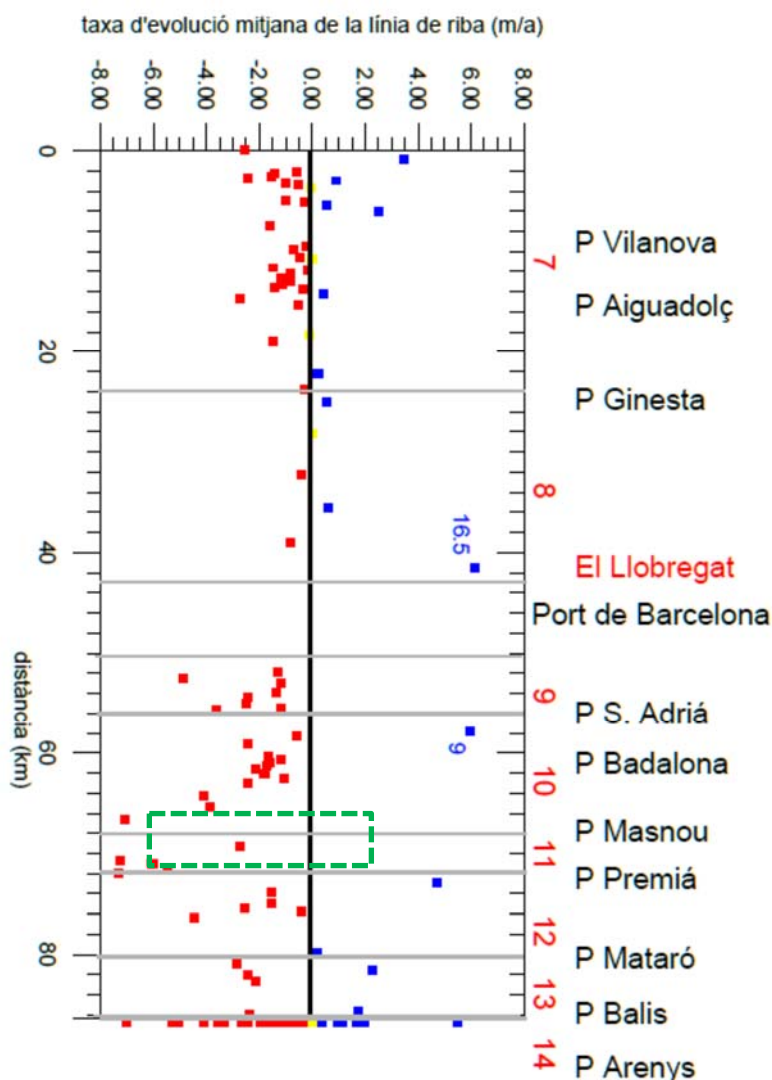


Figura 39. Erosió de les platges
(font: *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya*, període 1995-2004).

Per això, en aquest estudi es realitza un nou ajust en el qual intervenen més dades, mesurades després de la finalització del *Llibre verd*. La Figura 44 presenta el punt seleccionat a la platja d'Ocata per a realitzar-hi els mesuraments de l'evolució sobre la fotografia aèria. La posició d'aquest punt és fonamental, ja que si està prop del dic del port llançarà creixements i si per contra està en l'extrem oposat farà visible l'erosió general de la platja.

Com que es tracta d'un ajust de la velocitat d'erosió, no és important el punt des del qual s'inicia la mesura, l'important és l'evolució en la distància a la mar. El punt seleccionat apareix en color vermell i és un punt fàcilment identificable en les diferents fotos de diferents èpoques.

La Figura 41 presenta l'ajust realitzat en aquest estudi a partir de les dades dels diferents anys, entre l'any 1945 i l'actualitat. S'hi pot veure una dispersió important, però hi ha una tendència generalitzada molt suau a l'erosió i a la reculada de platja. El coeficient de reculada és d'1,17 m/any, molt menor al que s'indica al *Llibre verd*, però en qualsevol cas sostingut. És molt probable que la secció seleccionada en el *Llibre verd* per a representar aquesta platja sigui molt diferent, al centre de la platja i no a prop del port, com aquí.



Figura 40. Punt seleccionat per a mesurar l'evolució de l'ample de platja per a la platja del Masnou.

Per a entendre el perquè de valors tan dispersos per a la taxa de pèrdua de platja, es pot analitzar l'ajust anterior, contingut en el *Llibre verd*. La Figura 42 presenta aquest ajust. S'hi pot veure que es disposa de menys dades, més antigues, i que únicament s'usen les últimes per a la regressió. El document no detalla el punt de mesura de l'ample, que indubtablement deu ser diferent al del present estudi.

La Figura 42 també mostra l'ajust realitzat en el *Llibre verd* per a la platja en estudi. La línia discontinua indica els punts usats per a l'ajust. Totes les dades en conjunt indiquen la reculada. És probable que a la secció seleccionada aquí hi hagi present un cert resguard per la presència de la plataforma i que en els temporals de SE o S acumuli suficient sorra per a evitar la reculada. Per això el valor de 7 m/any que dona el *Llibre verd* pot ser més representatiu del conjunt de la platja, i que n'indiqui la patologia.

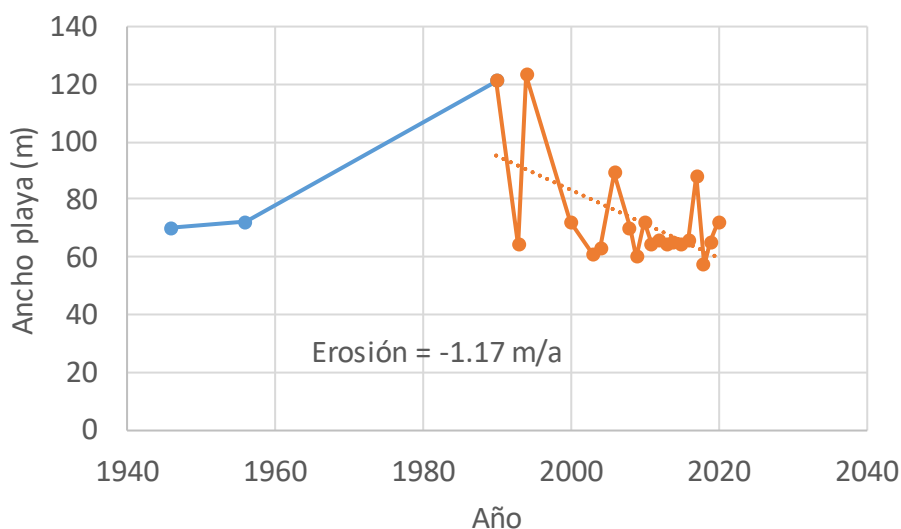


Figura 41. Grandària de la platja en el punt de control per a la platja del Masnou en el període 1945-2019.

Les fotos aèries del conjunt de la platja mostren un ample molt limitat en alguns punts situats cap a la meitat de la seva longitud. En la Figura 42 observem la modificació de l'ample de la platja del Masnou. S'observa un increment de l'ample entre els anys 1985 i 1995, derivat de la construcció del port. Tanmateix, la platja presenta una erosió important entre els anys 95 i 2007.

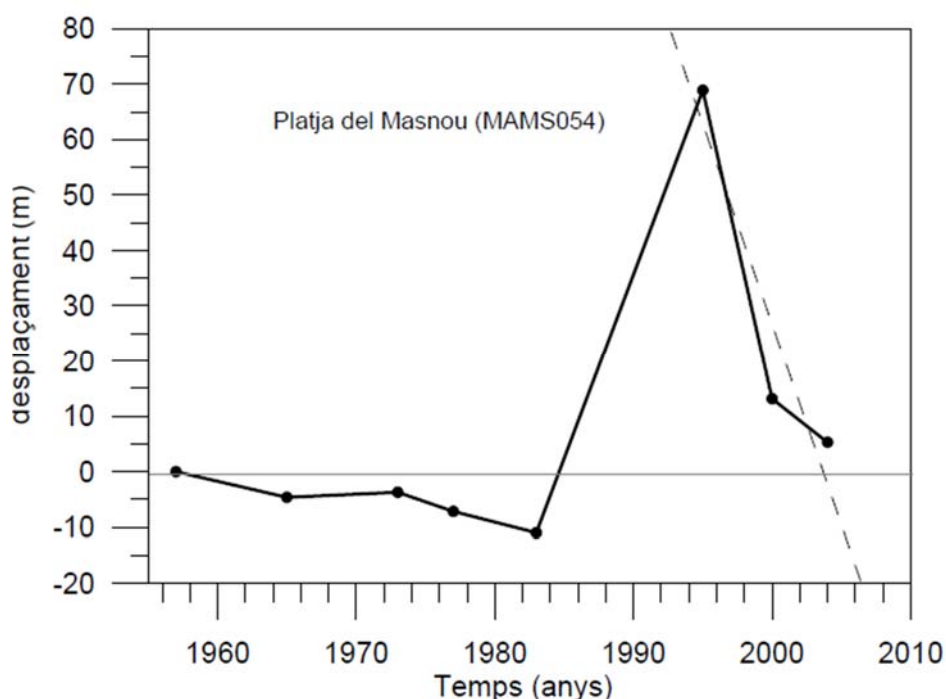


Figura 42. Ajust utilitzat per a la reculada de platja en el Llibre verd per a la platja del Masnou.

Al document "Estudis previs per a l'estabilització de les platges de Sant Adrià de Besòs, Badalona i Montgat", elaborat per BR, LIM-UPC i Ecosost, hi ha una anàlisi de detall de la platja a ponent del port del Masnou. La Figura 43 mostra els resultats de l'anàlisi de les fotografies aèries en les seccions més properes al port. La línia vermella és l'ajust de les dades a partir del 2004 i la línia blava, l'ajust a les dades des de 1994.

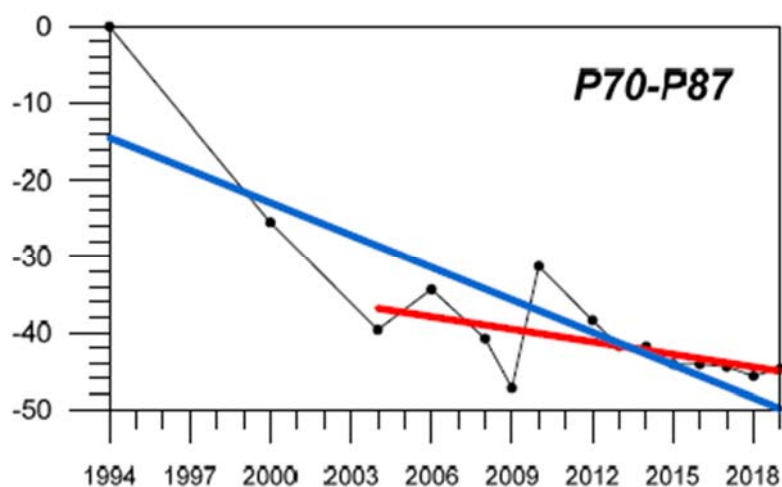


Figura 43. Evolució de la línia costanera a ponent del port del Masnou segons el document "Estudis previs per a l'estabilització de les platges de Sant Adrià de Besòs, Badalona i Montgat.

Els valors numèrics calculats a l'estudi són de -1,3 m/any (1994-2019) i -1,02 m/any (2004-2019), cosa que mostra una semblança important amb els valors aquí calculats, de -1,17 m/any.

Per a analitzar l'evolució de la platja d'Ocata se selecciona la secció presentada a la Figura 42. Se situa en la zona ampla de la platja propera a la infraestructura portuària.



Figura 44. Punt seleccionat per a mesurar l'evolució de l'amplada de platja.

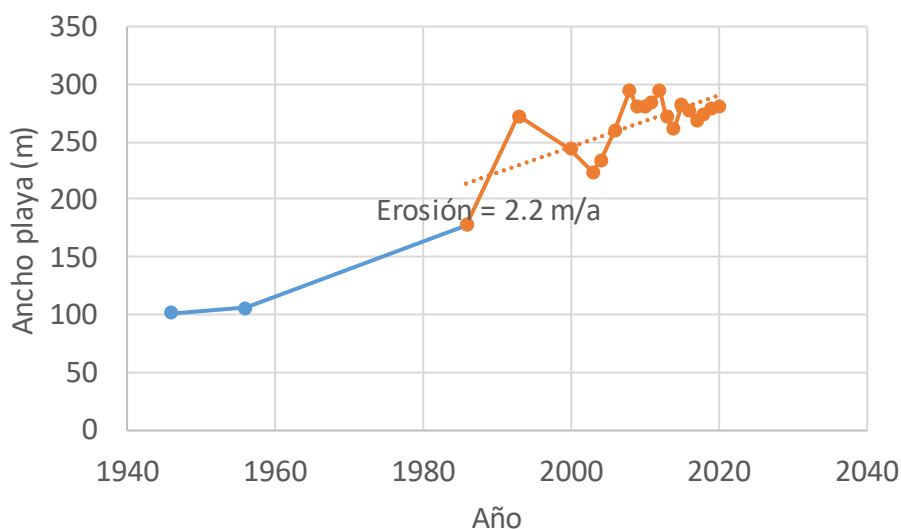


Figura 45. Mida de la platja en el punt de control durant el període 1945-2019.

La Figura 45 mostra els resultats de l'anàlisi de les fotos aèries. S'hi pot veure que la tendència és d'una acreció de 2,2 metres per any, molt superior a la recollida en el *Llibre verd*, de -2 metres per any. La Figura 46 mostra l'ajust del *Llibre verd*, que es va fer a un nombre de punts limitat.

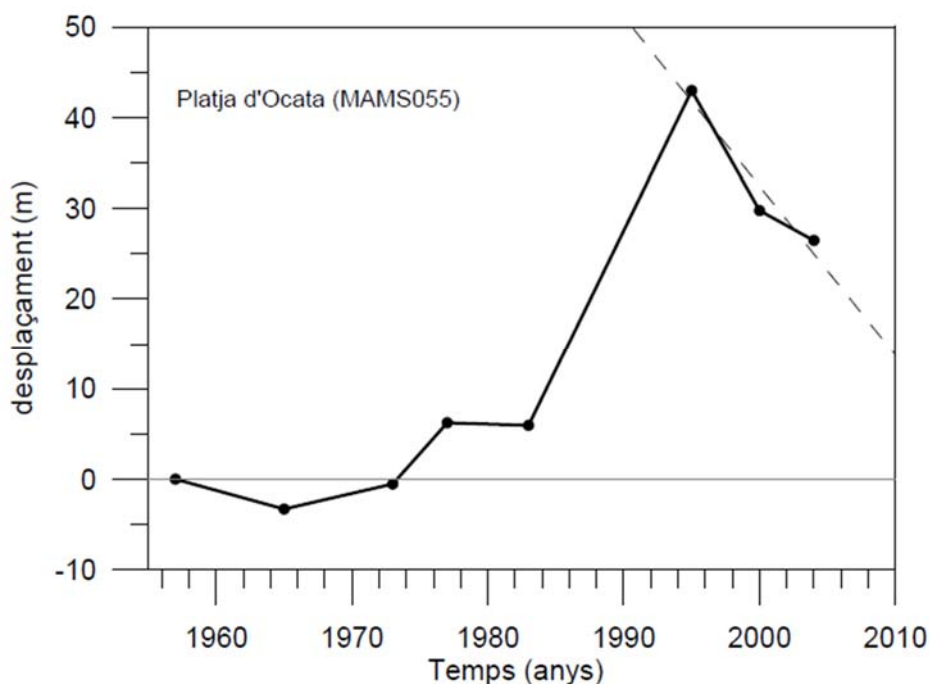


Figura 46. Ajust utilitzat per a la reculada de platja en el *Llibre verd* per a la platja d'Ocata.

Potser el factor més sorprenent és el fet que la dinàmica identificada amb les fotos noves és de creixement, coincidint amb la construcció del port i els seus efectes, però la dinàmica anterior era d'erosió, una dinàmica erosiva que s'ha tornat a recuperar des de l'any 1995.

Tal com s'ha comentat anteriorment al document, ara aquesta platja sembla estar en una situació d'equilibri, perquè no pot créixer més, ja que ha sobrepassat el dic del port del Masnou.

10 Clima marí

El clima marí constitueix el principal motor de l'evolució de la platja. La seva anàlisi ens proporciona les condicions de contorn per a les simulacions de l'estudi. Se n'analitzen principalment dos elements, en primer lloc el clima en profunditats indefinides i posteriorment el clima a profunditats de tancament.

Tots els estudis citats i analitzats en els apartats anteriors disposaven d'un estudi de clima més o menys elaborat, però, en qualsevol cas, el fet d'haver de fer una sèrie de simulacions en el projecte actual ens obliga a incloure de nou una justificació del clima.

A profunditats indefinides, l'onatge encara no s'ha vist pertorbat per la batimetria. Això resulta especialment útil per al registre de dades climàtiques, ja que són representatives d'una àmplia zona. Recollim els valors de clima mitjà, relatius a l'estadística d'esdeveniments ordinaris, i les dades de clima extremal. El clima mitjà ens dona informació sobre l'evolució mitjana de la platja, així com una descripció de tots els fenòmens ordinaris de l'onatge. Els fenòmens d'evolució mitjana i evolució estacional s'extreuen de l'anàlisi del clima mitjà. Els valors de clima extremal ens permeten analitzar els transitoris extrems.

A profunditat de tancament, l'onatge ja ha sofert importants pertorbacions per part de la batimetria, per això requereix la propagació per part de models adequats. Entre les eines més habituals per a realitzar aquesta propagació hi ha les següents: SWAN (Booij *et al.*, 1999), OLUCA (González *et al.* 2007) i REF-DIF (Kirby & Dalrymple, 1983). Per a poder ser útil en la propagació de l'onatge des de profunditats indefinides fins a aigües baixes, un model ha de ser capaç de reproduir l'efecte de la refracció, és a dir, com la batimetria altera la direcció de l'onatge.

Per a la propagació dins de les aigües baixes fins a la costa es requereixen molts altres processos, com la difracció, el trencament d'ona, la fricció de fons...

Pel que fa a les condicions analitzades, es poden considerar el clima mitjà i l'extremal. Per a qüestions com l'evolució a llarg termini de la costa, s'imposa l'ús del clima mitjà, però per a les reculades de platja s'han d'estudiar les condicions extremes. En aquest sentit, la referència legal a "els màxims temporals coneguts" s'interpreta en clau de període de retorn de 50 anys.

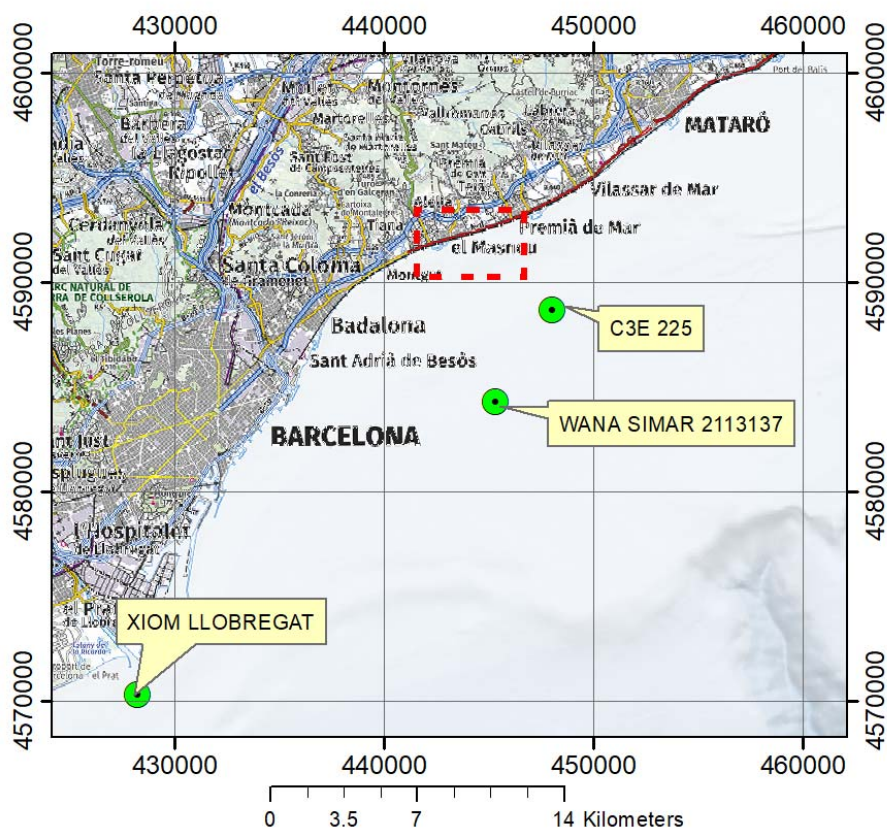


Figura 47. Punts amb dades d'onatge a profunditats indefinides.

10.1 Clima a fondàries indefinides

La primera pregunta rellevant sobre el clima a profunditats indefinides gira entorn de les dades a utilitzar. Tradicionalment, les dades provenien de boies físiques, que podien ser escalars (magnituds) o vectorials (direcció i magnitud). La seva disponibilitat era limitada i l'accés a sèries temporals llargues era complex.

Amb l'adveniment dels models numèrics es va produir un canvi important: la millora en la fiabilitat d'aquests models va permetre inventar el concepte de "boia virtual", que no és més que un node de la malla de càlcul. Les dades provinents de les boies reals i estacions meteorològiques s'usen per a alimentar models que cobreixen un ampli territori i que permeten "extrapolar" a punts de malla.

L'existència d'aquestes eines va permetre alimentar-les amb sèries històriques i es van obtenir sèries llargues de dades per a les boies virtuals. Existeixen diverses bases de dades disponibles amb boies virtuals. La Figura 47 mostra les boies disponibles: les de les xarxes WANA SIMAR de Ports de l'Estat i C3E d'HCantabria són virtuals, i la de la xarxa XIOM és física. Amb la finalitat de contrastar la informació, se n'agafa una de cadascuna de les xarxes de dades:

- De Ports de l'Estat, la "WANA SIMAR 2113137", que és la que té les dades estadístiques que es mostren a continuació. La sèrie temporal de càlcul va des de 1958 fins a 2017.
- De la xarxa XIOM de la Generalitat de Catalunya, la boia del Llobregat, amb dades de la sèrie històrica 1984-2007.
- De la xarxa C3E d'IHCantabria, el punt 225, amb dades de la sèrie històrica que va des de 1948 fins a 2013.

Aquestes boies són les que apareixen etiquetades a la Figura 47. De cada una d'elles es mostra una col·lecció d'estadístiques que permet la comparació d'alguns dels aspectes rellevants.

Es dona la particularitat que la boia virtual 2111137 està situada a 7 km del punt d'estudi, per això les seves dades són importants.

10.1.1 C3E 225

Aquesta boia virtual pertany a la xarxa del projecte C3E d'IHCantabria, finançat pel Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient (Losada *et al.* 2014). Les dades d'aquesta xarxa es troben disponibles al web del projecte (<http://www.c3e.ihcantabria.com/>) i també formen part del programari per a l'elaboració de mapes d'inundació costanera iOle.

En aquesta boia es donen les dades del clima extremal com a paràmetres d'una distribució estadística. De la mateixa manera que en l'anàlisi d'extrems del projecte iOle, la tècnica triada és la combinació d'una funció de distribució del tipus POT i una funció de temps d'arribada. En el cas particular en estudi, s'ha adoptat com a funció POT la distribució generalitzada de Pareto,

$$H(x; u, \sigma_u, \xi) = 1 - \left(1 + \xi \frac{(x-u)}{\sigma_u} \right)^{-1/\xi} \quad (3)$$

on u és el llinard, ξ és el paràmetre de forma, i σ_u és l'escala. Com a funció de temps d'arribada, s'ha agafat la funció de Poisson,

$$f(k; \lambda) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (4)$$

on λ és el paràmetre de Poisson. La composició d'ambdues porta a la funció d'extrems associada al període de retorn, denominada GP-P:

$$G(x, \xi, u, \sigma_u, \lambda) = e^{-\lambda \left(1 + \xi \frac{(x-u)}{\sigma_u} \right)^{-1/\xi}} \quad (5)$$

Aquesta composició de funcions per a ajustar règims extremals va ser proposada per Teh-fu (1980) i posteriorment es va demostrar que era equivalent a un ajust d'extrems usant GEV (*generalized extreme values*) (Madsen, Pearson & Rosbjerg, 1997; Madsen, Rasmussen & Rosbjerg, 1997).

Taula 4. Dades d'estat de la mar per al punt 224 del projecte iOle.

VENT	PW (W/m ²)	mitjana	198.621
ONATGE	H_S (m)	mitjana	0,725
	$H_{S95\%}$ (m)	mitjana	1,752
	H_{S12} (m)	mitjana	3,781
	T_p (s)	mitjana	5,267
	FE (kW/m)	mitjana	1,661
	Dir FE (°)	mitjana	108,106
	H_S extremal (m)	H_{S50}	6,231
		U llindar	3,177
		σ_u Pareto	0,778
		ξ Pareto	-0,091
		λ Poisson	2,563
NIVELL DEL MAR	Referència Alacant (cm)		22,412
	Rang marea (cm)		42,185
	MSL (cm)	mitjana	2,055
	MM95% (cm)	mitjana	8,544
	MM extremal (m)	MM50	0,468
		U llindar	0,233
		σ_u Pareto	0,076
		ξ Pareto	-0,156
		λ Poisson	1,4

La Taula 4 recull els estadístics més rellevants derivats per a aquest punt en el context del projecte C3E. Ja d'entrada pot apreciar-se que l'alçada d'ona per a 50 anys de període de retorn és de 6,23 m. Per tant, hi ha una reducció important fins a arribar a la profunditat de tancament, on l'alçada d'ona és inferior, amb 4 m.

A partir dels valors característics de l'ajust compost es poden obtenir els paràmetres d'una GEV ordinària per a determinar els períodes de retorn. La conversió entre ambdues és:

$$\begin{cases} \lambda = e^{-\frac{1}{\xi} \log\left(1 + \xi \frac{(u-\mu)}{\sigma}\right)} \\ \sigma_u = \sigma + \xi(u - \mu) \\ \xi = \xi \end{cases} \quad (6)$$

La conversió de GP-P a GEV resulta útil, ja que es tracta d'una funció d'extrems d'ús estès. Els paràmetres GEV s'avaluen resolent (6) per mètodes numèrics, ja que no hi ha solució directa.

Els valors de la distribució GP-P de la boia 224 es recullen en la Taula 5.

Taula 5. Paràmetres d'onatge segons GPD-Poisson (POT) per a les dades de la boia C3E 224.

Umbral U	Forma ξ	Escala σ	Media λ
3.087 m	-0.114	0.776 m	2.552 años

A partir d'aquests valors, es pot realitzar el càlcul de la GEV equivalent a través d'optimitzar (6), donant els valors de la Taula 6.

Taula 6. Ajust *GEV a les dades GPD-Poisson de la boia C3E 224.

Forma ξ	Escala σ	Media μ
-0.114	0.697 m	3.776 m

A partir d'aquests paràmetres de l'ajust, és possible grafiar els valors de les altures d'ona associades als diferents períodes de retorn. La Figura 48 en mostra els resultats. S'hi pot apreciar que els valors són significativament superiors als que apareixen en la Figura 57, corresponents a la boia del Llobregat de la xarxa XIOM. Es tracta de punts diferents del litoral, però tots dos situats a profunditats indefinides. Les mesures de la boia XIOM són mesuraments reals, per la qual cosa presenten una incertesa menor. No obstant això, la sèrie històrica de dades de la xarxa C3E és d'una durada netament superior, raó per la qual hauria de tenir menor incertesa per a períodes de retorn llargs.

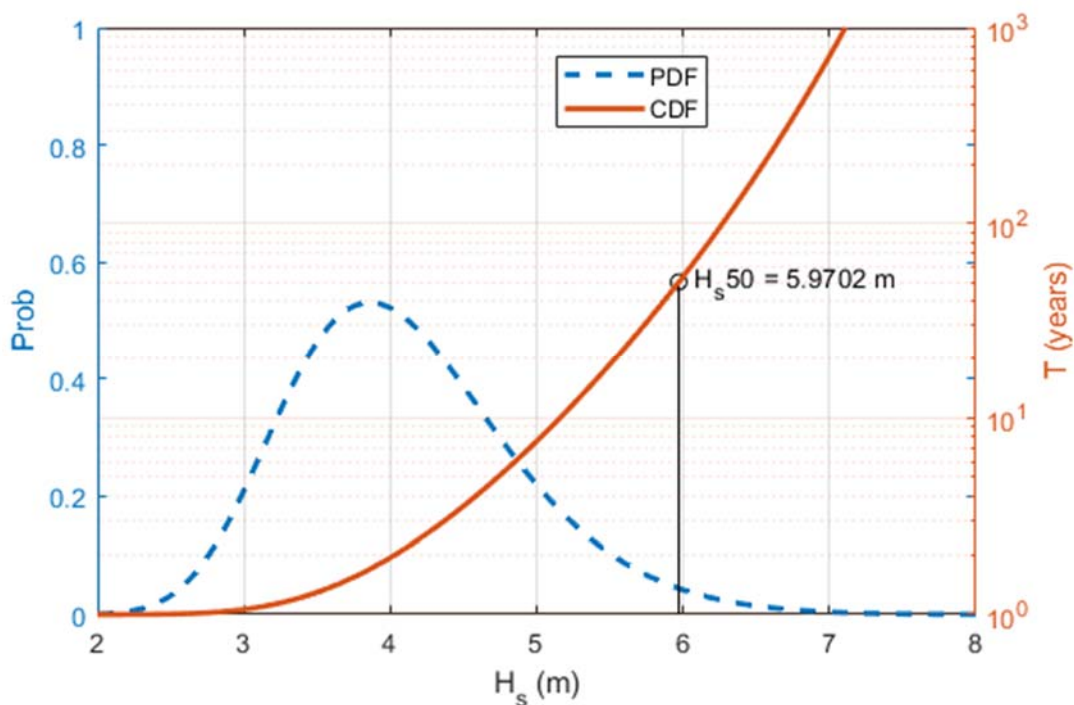


Figura 48. Altures d'ona extremals per a la boia C3E 224.

10.1.2 WANA SIMAR 2111137

Aquesta boia està situada a 7,5 km de l'àmbit d'estudi. La documentació afirma que les dades que aporta han de tractar-se com si fossin dades a profunditats indefinides. És cert que per als onatges ordinaris és una profunditat suficient. No obstant això, per al règim extremal pot presentar alguna limitació, ja que el model usat per a la creació de les sèries és el WAM (WAMDI 1988), que inicialment no disposa de capacitat per a trencament d'onatge.

La Figura 49 mostra la rosa d'onatge del punt. S'hi veuen clarament dues famílies climàtiques: la primera, de major pes, amb origen E-ESE-SE i ones superiors als 2,5 metres en règim ordinari. La segona família de temporals prové del S.

Les dues famílies posseeixen una certa estacionalitat. Els temporals de sud no es donen habitualment en els mesos estivals i són de menor intensitat. Tal com es veurà més endavant, els temporals d'origen E transporten sediment al llarg de la costa en direcció sud, mentre que els temporals amb origen S generen transport en sentit nord. D'entre ells, el de S resulta dominant, amb un balanç net de sediment lleugerament cap al nord.

Pel que fa a les platges, la situada al nord del port del Masnou (la platja d'Ocata) experimenta girs en funció de l'origen dels temporals. En el cas de la platja situada al sud (la platja del Masnou), el gir està molt limitat per la morfologia recta de la platja.

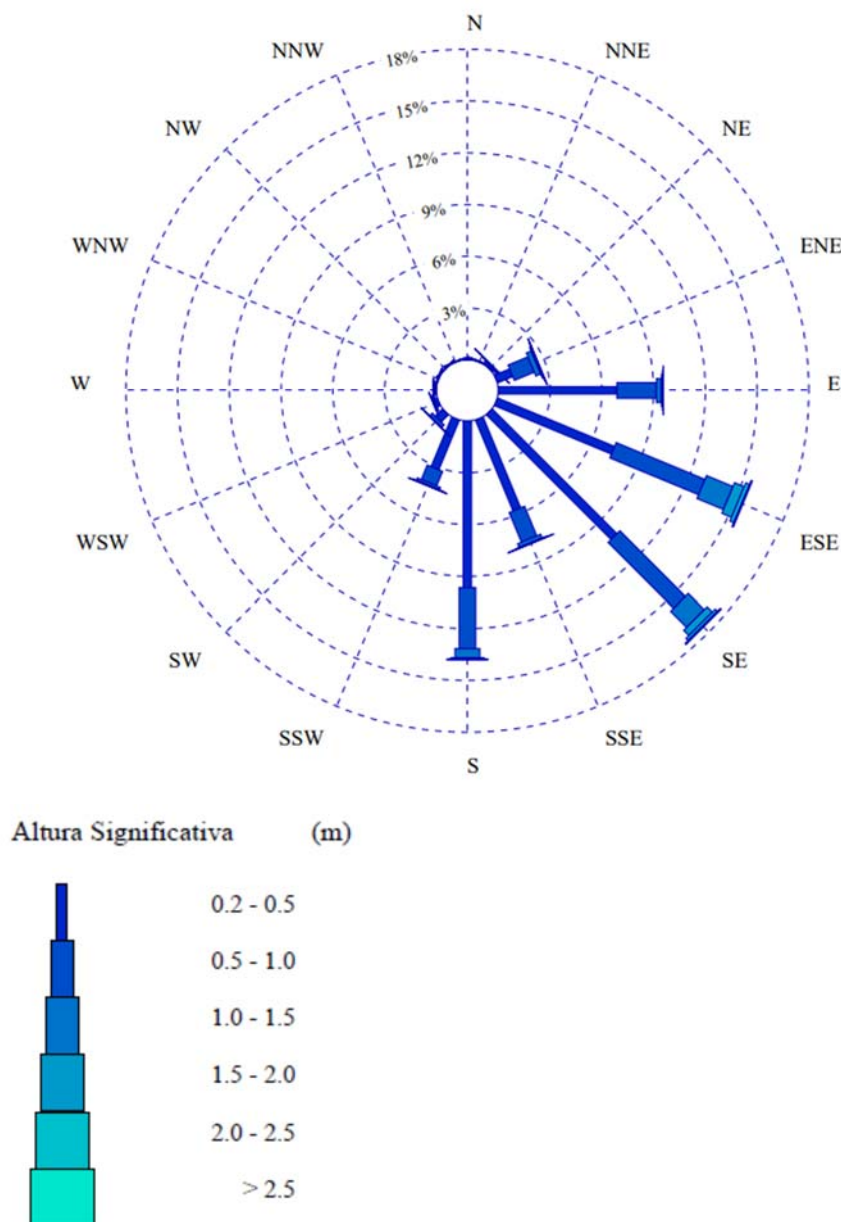


Figura 49. Onatge de clima mitjà (font: Ports de l'Estat).

10.1.2.1 Clima extremal

A partir de les dades horàries d'aquesta boia, es realitza una anàlisi estadística d'extrems emprant les mateixes eines que per al punt C3E. Això significa que es procedeix de dues maneres diferents, en primer lloc mitjançant l'ús de la tècnica POT i en segon lloc mitjançant els màxims anuals.

D'una banda, l'ajust POT porta a unes distribucions amb les següents característiques:

Taula 7. Paràmetres estadístics per a les funcions d'extrems en la boia SIMAR.

Umbral u	Forma ξ	Escala σ	Media λ
2.5 m	-0.037	0.62 m	0.66 años

La Figura 50 mostra la funció d'extrems obtinguda de l'anàlisi de dades. S'hi pot veure que l'onatge esperat per a 50 anys de període de retorn és de 4,54 metres d'alçada d'ona significativa.

D'altra banda, es parteix de la metodologia del màxim anual per a ajustar la funció extremal. El mètode consisteix en un ajust directe de la distribució GEV a les dades.

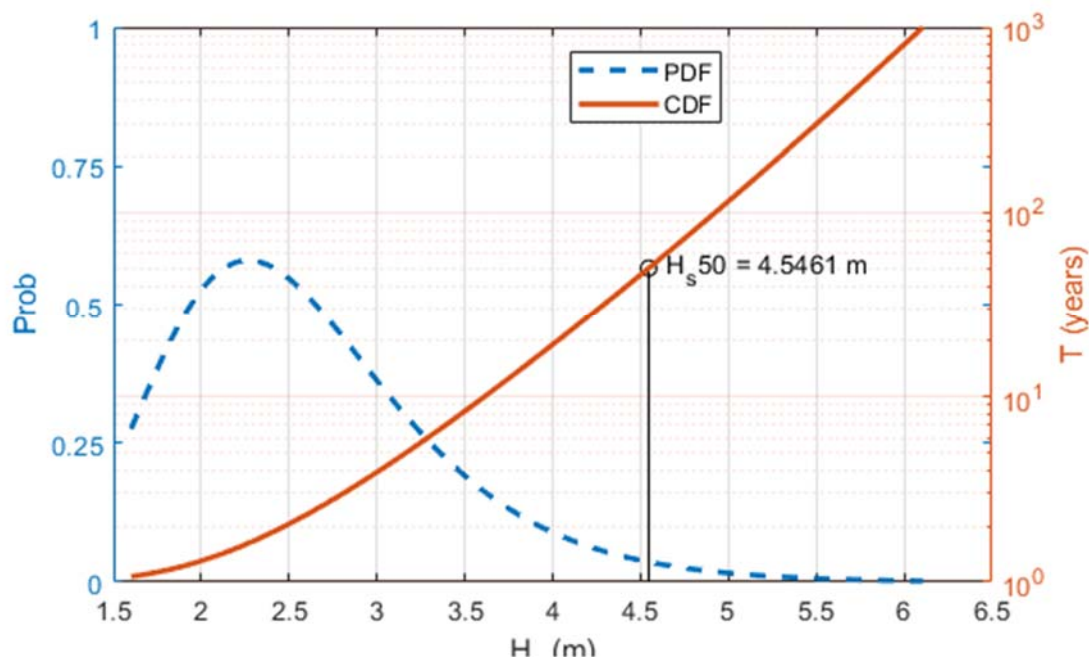


Figura 50. Funció d'extrems GEV obtinguda pel mètode POT per al punt SIMAR.

La Taula 8 mostra els resultats obtinguts en l'ajust i la Figura 51 mostra la corba d'ajust. S'hi pot veure que, per aquest mètode, el període de retorn corresponent a 50 anys dona una alçada d'ona significativa de 4,97 metres, molt propera a la de la boia XIOM.

Taula 8. Paràmetres de la distribució GEV obtinguda per ajust directe als màxims anuals de la boia SIMAR.

Forma ξ	Escala σ	Media μ
-0.037	0.63 m	2.24 años

Els dos mètodes han llançat resultats diversos. En tractar-se d'un estudi d'extrems, s'adopta com a correcte el de 4,97 metres, corresponent a l'escenari més desfavorable, encara que l'ajust GEV mostra un error petit.

Per a aquesta alçada d'ona, resulta compromesa la validesa del modelatge usat per a obtenir les altures d'ona en aquest punt. La Figura 52 mostra un resum de les principals propietats de l'onatge d'aquestes característiques. En destaca que l'efecte de *shoaling* es fa visible a partir dels 78 metres de profunditat. En principi, aquest efecte hauria d'haver estat correctament recollit pel model. En segon lloc, s'observa una longitud d'onatge de 156 m i una aparició dels efectes d'aigües baixes a partir dels 8 metres.

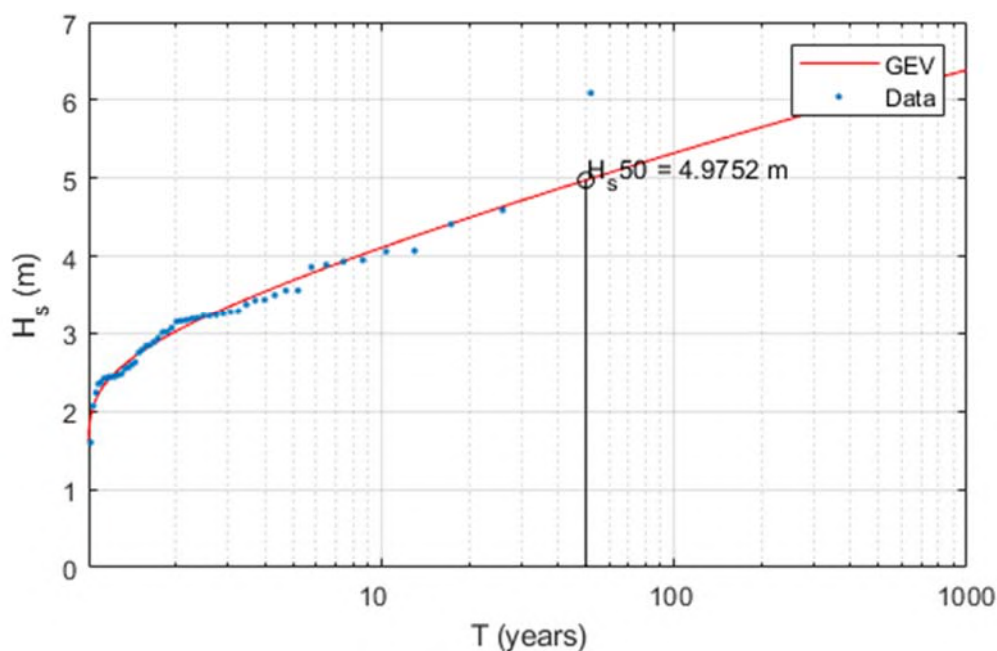


Figura 51. Gràfica d'ajust de la distribució GEV a les dades de màxims anuals per a la boia SIMAR.

En tots aquests càlculs s'ha considerat un període de pic de 10 segons, corroborat per la taula recollida en la Figura 53 per a ones de més de 4,5 m. A partir d'aquestes dades i mitjançant l'ús d'un monograma, es pot arribar a determinar que el *shoaling* fa créixer l'ona de la seva alçada a profunditats indefinides fins a uns 6 metres i, de nou, apareix el trencament.

Els valors extrems obtinguts per a les dades d'aquest punt SIMAR són inferiors als obtinguts per a la xarxa C3E. En el primer estem al voltant dels 5 metres i en el segon, per sobre de 6 metres. Ambdós valors són tan diferents perquè parteixen de dades històriques diferents, corresponents a models també diferents i per tant, amb una incertesa important.

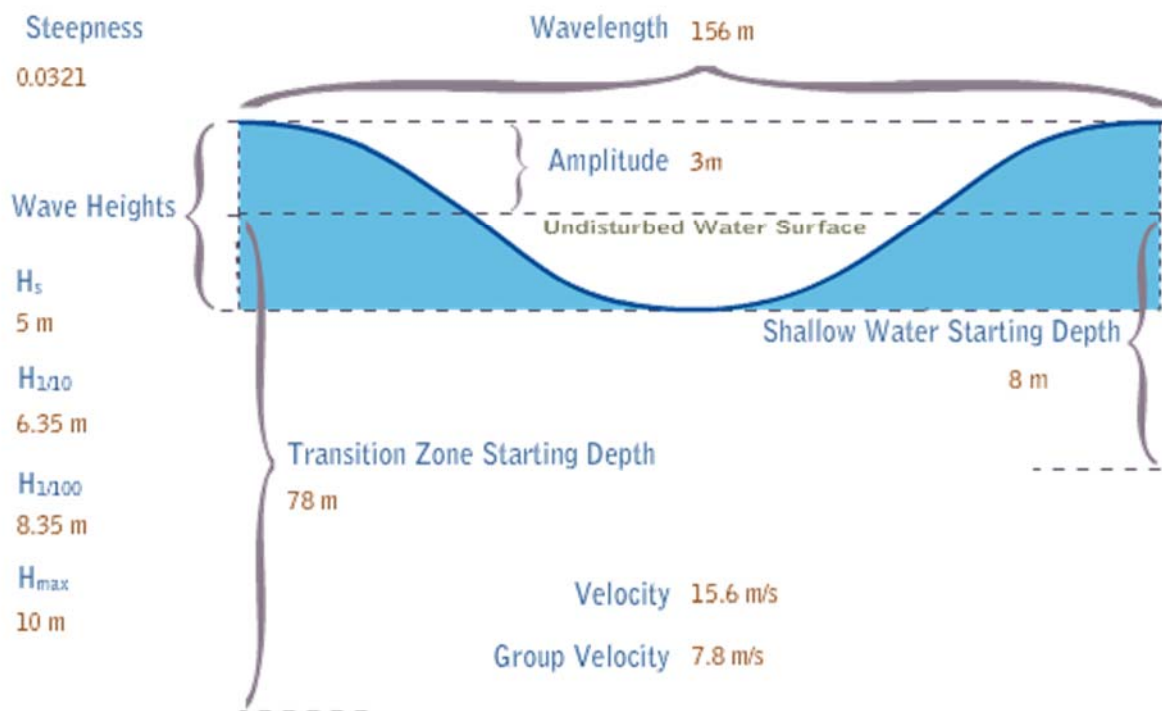


Figura 52. Característiques generals de l'ona *extremal a profunditats indefinides corresponent a 50 anys de període de retorn.

Hs (m)	Tp (s)											Total
	≤ 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	> 10.0	
≤ 0.5	-	0.296	10.869	17.385	13.864	13.001	8.843	4.631	2.039	0.878	0.233	72.037
1.0	-	-	0.195	1.326	3.446	5.509	5.900	2.753	1.323	0.668	0.264	21.384
1.5	-	-	-	0.016	0.099	0.580	1.330	1.395	0.729	0.276	0.111	4.535
2.0	-	-	-	-	0.001	0.031	0.208	0.475	0.368	0.232	0.064	1.380
2.5	-	-	-	-	-	0.002	0.014	0.138	0.160	0.121	0.040	0.476
3.0	-	-	-	-	-	-	-	0.011	0.043	0.041	0.027	0.121
3.5	-	-	-	-	-	-	-	0.001	0.008	0.026	0.018	0.053
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.008	0.011
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.002
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	0.296	11.064	18.727	17.410	19.122	16.296	9.405	4.672	2.243	0.766	100 %

Figura 53. Taula de relació del període de pic (Tp) i l'alçada d'ona significativa (Hs) (font: Banc de Dades Oceanogràfiques de Ports de l'Estat. SIMAR 2111137).

10.1.2.2 Duració dels temporals

Aquest estudi versa sobre dinàmica litoral, per això el modelatge inclou la simulació dels processos d'erosió ocorreguts durant els grans temporals. En aquestes condicions, l'escenari més desfavorable es produeix per a temporals llargs. Els processos erosius solen presentar un comportament sigmoide, amb una progressió ràpida a l'inici i una tendència asimptòtica al final, tendint a una configuració d'equilibri. Per això resulta fonamental que la durada superi un llindar prou ampli per a garantir l'aparició del nucli principal del procés erosiu.

En lloc de fixar la durada de manera arbitrària, es recorre a l'anàlisi de les sèries històriques d'onatge i es determinen les durades esperades. La Figura 54 mostra el resultat de l'anàlisi. S'hi pot observar que, a mesura que s'incrementa la durada, l'onatge significatiu disminueix. La mateixa figura mostra l'anàlisi per a la sèrie completa (60 anys) i l'anàlisi per a la sèrie de 10 anys, obtingut fragmentant la sèrie en sis segments de 10 anys i fent una mitjana del resultat.

Els temporals corresponents a les sèries de 10 anys són clarament inferiors. Aquests temporals es poden assemblar als corresponents a 10 anys de període de retorn i els de la sèrie completa haurien de ser representatius d'un període de retorn de 50 anys, encara que la sèrie és massa curta perquè la hipòtesi sigui sòlida. Segons les estadístiques, un temporal amb alçada d'ona superior a 4 metres no hauria de durar més de 20 hores. Malgrat aquest resultat, **se suposa que un temporal extrem amb ones superiors als 4 metres d'alçada pot estar vigent durant 24 hores, per tant un temps major al què s'ha trobat estadísticament.** En els últims anys, s'han trobat evidències de temporals de llarga durada, com el del 2018, o les DANA, amb grans capacitats d'erosió.

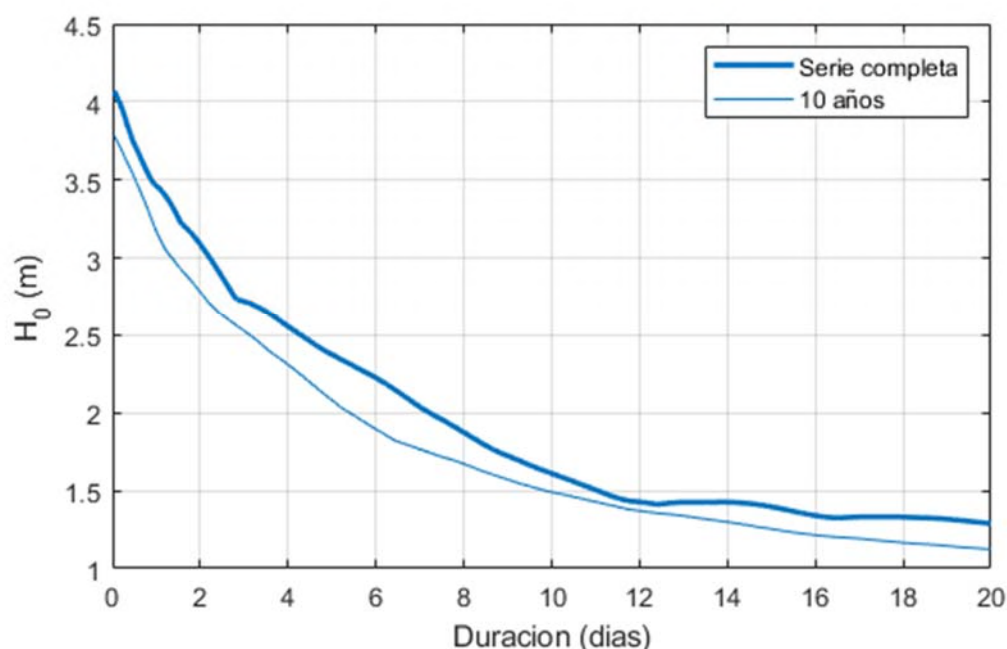


Figura 54. Corba durada/intensitat dels temporals històrics.

La durada dels temporals no necessita propagació d'aigües profundes a baixes, ja que en ambdós casos és la mateixa. De manera ordinària, aquesta variable no resulta important. No obstant això, per a un estudi de reculada de platja per temporal és essencial.

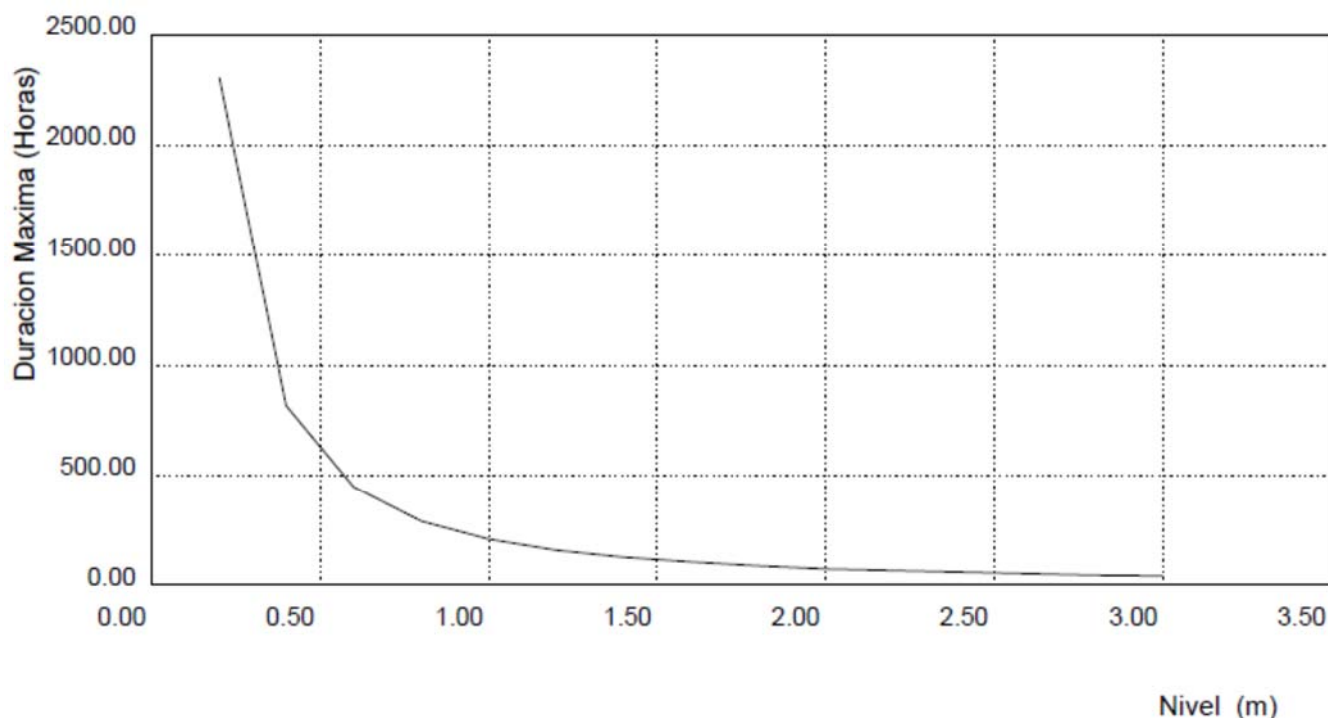


Figura 55. Durada màxima de l'onatge (font: Ports de l'Estat).

Per a corroborar els resultats obtinguts en l'anàlisi, es prenen les estadístiques publicades per Ports de l'Estat de la mateixa boia WANA SIMAR. La primera és la corba de durada màxima de temporal en funció de l'alçada d'ona.

A la Figura 55 hi ha recollides les durades màximes dels temporals per a cada alçada d'ona. Per a poder comparar els resultats propis amb els publicats, s'ha calculat el temporal corresponent a 500 hores. Segons les estadístiques publicades, estaríem en 0,6 metres d'onatge. En els resultats d'aquest estudi s'obté una alçada d'ona d'1,32 metres per a les 500 hores. D'això es conclou que els resultats de durada aquí obtinguts estan per sobre dels publicats, quedant del costat de seguretat.

La Figura 56 presenta el nombre d'esdeveniments per any que es van produir en la sèrie històrica per a una durada donada i en els quals es va superar un onatge superior als 1,5 metres d'alçada d'ona significativa. Se'n pot veure una sèrie de 50 anys de durada. En un cas, l'esdeveniment va durar gairebé 6 dies. Destaca de la gràfica la linealitat del procés.

Entrar en la discussió relativa a la durada dels temporals comporta una sèrie de reflexions de difícil resposta. Tractar de determinar un temporal idoni per a obtenir l'erosió corresponent a un cert període de retorn no és trivial. Una reculada de platja que ocorri de mitjana cada 50 anys no ha de ser forçosament conseqüència d'una alçada d'ona de 50 anys de període de retorn, ja que és una combinació d'ona i durada. La correlació entre aquests dos paràmetres és fonamental.

Així, el procés d'anàlisi estadística de la reculada de platja a partir de les dades històriques podria revelar que, quan els temporals de menor intensitat tenen major durada, es pot arribar a un màxim per a altures d'ona menors.

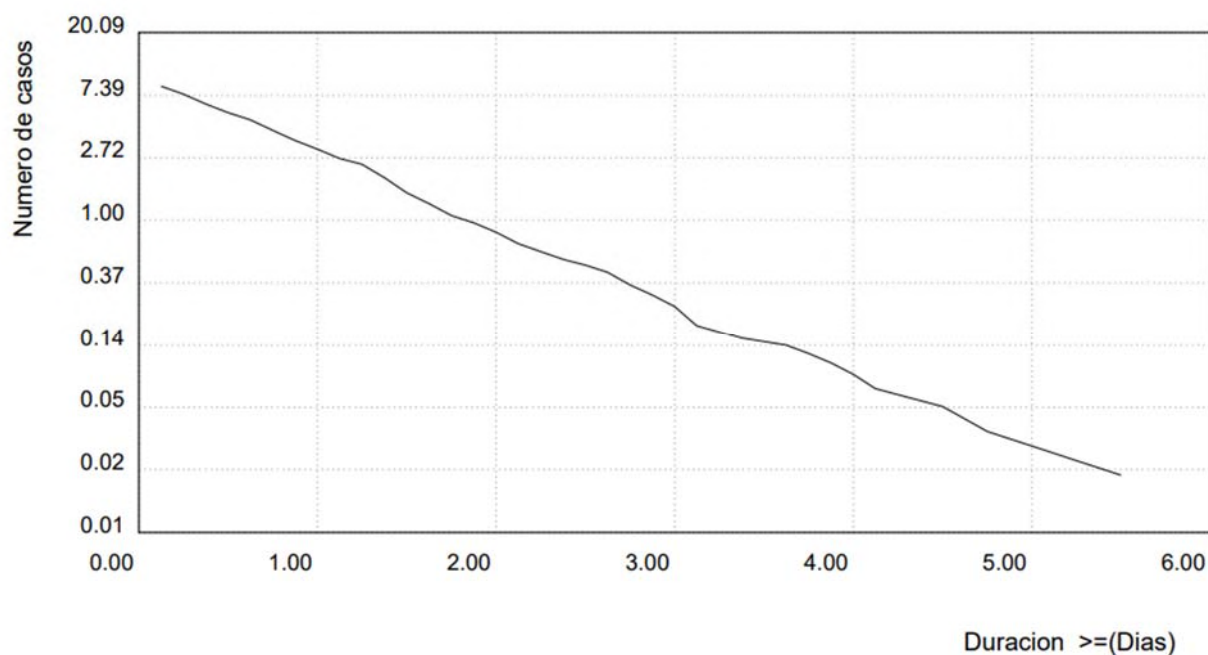


Figura 56. Corba de superació d'onatge: indica el nombre d'esdeveniments en els quals l'onatge va superar 1,5 m durant n dies (font: Ports de l'Estat).

Com que no es disposa de la sèrie estadística completa de reculades de platja, però sí d'una sèrie climàtica, l'única manera de respondre a aquesta pregunta seria modelant la sèrie completa climàtica i extraient-ne la sèrie d'erosions. La dificultat computacional del procés ens obliga a utilitzar aquí un procediment simplificat: prendre l'alçada d'ona extremal i assignar-li una durada màxima.

10.1.3 XIOM Boia del Llobregat

A l'anàlisi de la boia del Llobregat dut a terme per part del Departament de Territori i Sostenibilitat en el context del *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya*, es presenten una sèrie de dades rellevants. Per a condicions de temporal (alçada d'ona superior a 2 m), s'obté una durada mitjana de 0,85 dies, un valor similar a l'obtingut per al punt SIMAR de l'apartat anterior, en què la durada mitjana d'un temporal de 2 m és de 0,76 dies. Per això, a pesar que no es disposi de l'anàlisi de durada màxima, es pot suposar que serà similar al de la boia SIMAR (Figura 55).

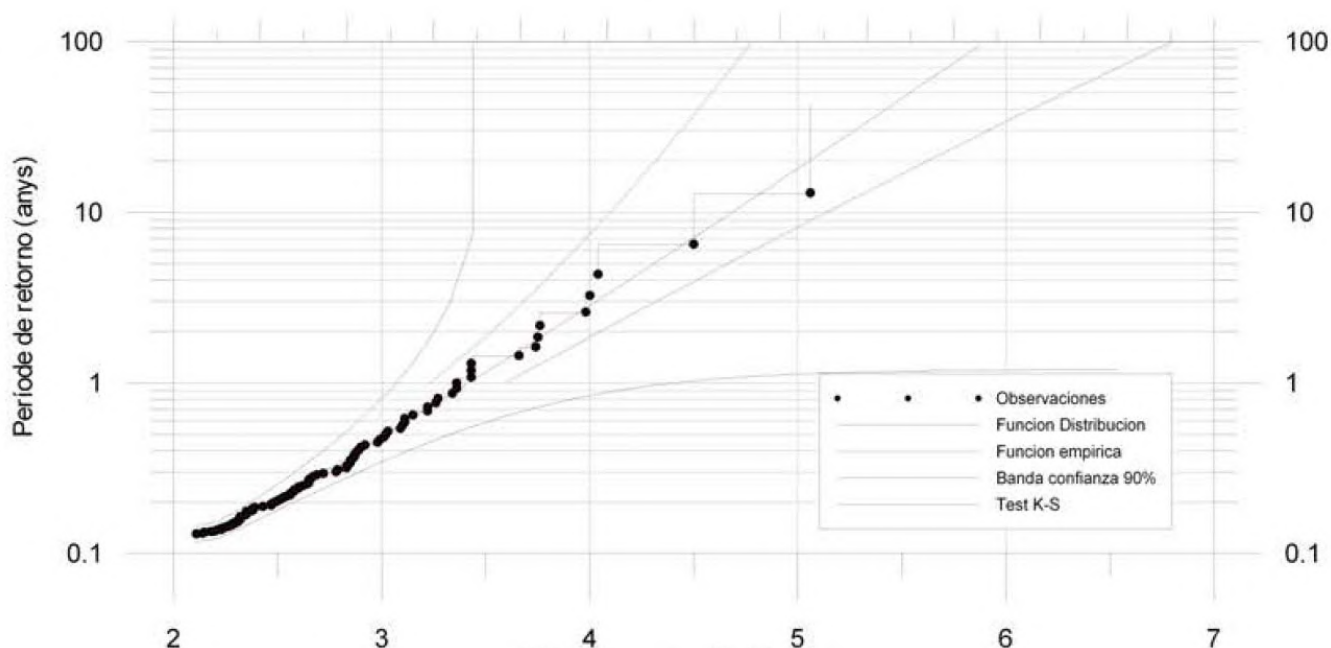


Figura 57. Onatge extremal a la boia del Llobregat de la xarxa XIOM (font: *Llibre verd*).

Per a aquesta boia es disposa del clima extremal, que es presenta a la Figura 57. S'hi pot veure com la sèrie permet arribar a definir la probabilitat empírica de l'esdeveniment de 10 anys de període de retorn, que és d'uns 5 metres. Com és habitual en onatge per a períodes de retorn elevats, es produeix una compressió. Així, de 5 a 6 metres d'alçada d'ona, es passa de 10 a 100 anys de període de retorn.

La Figura 58 presenta la rosa d'onatge del clima mitjà, que es mostra sensiblement diferent a la de la xarxa SIMAR. Això es deu al gir que presenta la costa al nord de Barcelona. Cal recordar que la boia del Llobregat està situada al sud de la ciutat i que la del punt SIMAR, vista en l'apartat anterior, està situada al nord de la ciutat. Els temporals de SSW, tan presents en la boia del Llobregat, no podrien arribar a aquesta boia virtual, ja que es veuen afectats per la línia de costa.

Aquesta rosa es construeix a partir de les dades històriques, sense ajust estadístic, de manera que reflecteix valors mesurats no extrapolats. S'hi pot veure que s'han mesurat valors d'onatge superiors als 5 metres.

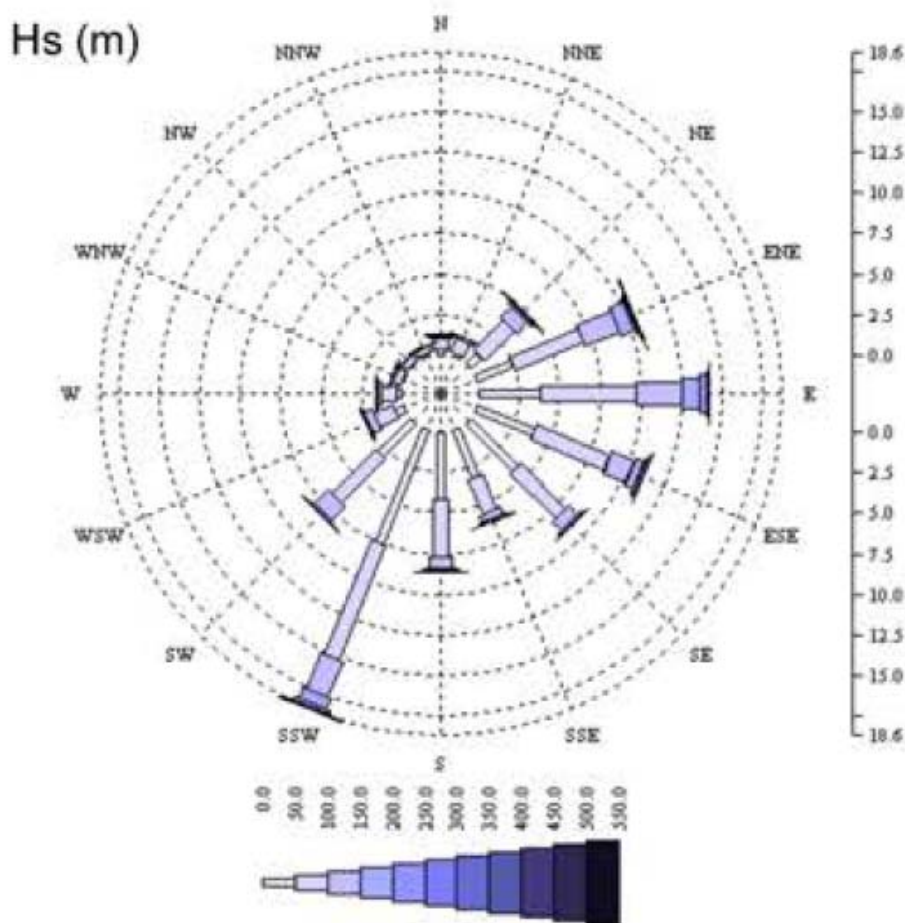


Figura 58. Onatge en clima mitjà per a la boia del Llobregat de la xarxa XIOM (font: *Llibre verd*).

10.2 Clima a profunditat de tancament

El clima marí associat a temporals se sol definir a profunditats indefinides, lluny de la costa. Per al seu ús en la línia de platja ha de propagar-se des d'aigües profundes fins a aigües intermèdies o succintes. Cadascuna de les fases, la propagació d'aigües profundes a intermèdies i posteriorment la d'aigües intermèdies a la platja, es duen a terme amb models conceptualment diferents, més enfocats al transport d'energia els primers i orientats a la dissipació per trencament d'ona els segons.

Segons aquesta metodologia, s'haurien de construir dos models per a dur a terme l'estudi. No obstant això, ja existeix una base de dades molt completa del clima *extremal propagat fins a aigües intermèdies/succintes. Aquesta base de dades rep el nom de DOW. Els punts DOW (*downscaled ocean waves*) (Camus *et al.* 2013) són el resultat d'un procés per a tractar d'augmentar la resolució de la informació disponible d'onatge. Provenen del processament de les dades GOW (*global ocean waves*), obtinguts simulant numèricament el clima de la segona meitat del segle xx a partir de les poques dades mesurades disponibles. L'espaiat de la malla GOW i la seva distància a la costa fan que es tracti d'una informació d'ús limitat per a l'enginyeria costanera. Això va justificar l'elaboració de la malla refinada DOW mitjançant l'ús de tècniques de propagació i anàlisi.



Figura 59. Seccions iOle en l'àmbit d'estudi.

Aquesta base de dades s'ha utilitzat per alimentar el model d'inundació costanera iOle (Tomas *et al.*, 2013), distribuït i finançat gratuïtament pel Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient. Aprofitant els valors del clima extrem històric recollits en aquest projecte, aquí es fa un ajust estadístic. La Figura 59 mostra les seccions d'iOle al tram en estudi, amb la densitat d'informació disponible. Dins del projecte iOle, la secció més propera al punt d'estudi és la 13397. D'aquesta secció s'extreuen les dades d'ajustos climàtics extrems. La Taula 9 mostra els valors d'ajust de la distribució extremal GPD-Poisson per a la secció iOle. La profunditat de tancament d'aquesta platja es fixa en 7,5 metres de profunditat, tot i que el *Llibre verd* la situava en 6,5 metres. Aquesta diferència es deu a que el *Llibre verd* probablement utilitza una granulometria diferent.

Taula 9. Ajust POT, GPD-Poisson a les dades del punt iOle 13397.

Umbral U	Forma ξ	Escala σ	Media λ
2.8 m	-0.0264	0.208 m	1.458 años

A partir dels paràmetres d'aquesta distribució es crea la Figura 60, on es mostren els valors dels diferents períodes de retorn. S'hi indica el corresponent a 50 anys.

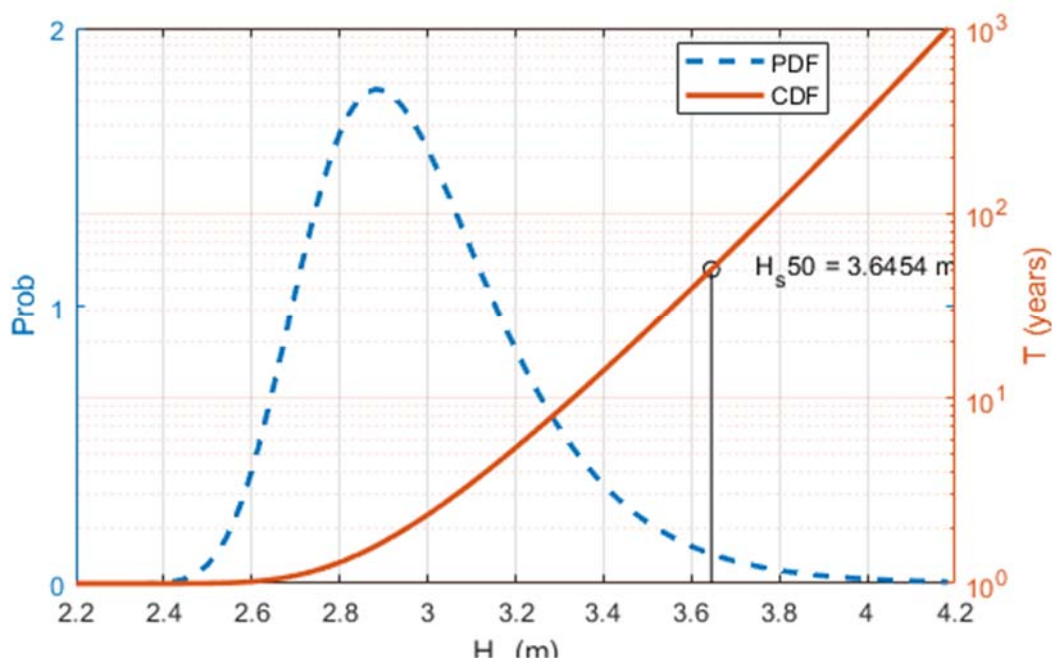


Figura 60. Ajust POT+Poisson a les dades d'onatge extremal d'iOle per a la secció 13397.

Com a ajust alternatiu, es prova la distribució *GEV, els paràmetres òptims de la qual apareixen a la Taula .

Taula 10. Ajust GEV a les dades iOle 13360.

Forma ξ	Escala σ	Media μ
-0.0264	0.206 m	2.879 m

De la mateixa manera que s'ha fet amb l'ajust DPD-Poisson, també es mostren els resultats de la distribució GEV. La Figura 61 en mostra les dades i l'ajust. S'hi indica el valor corresponent al període de retorn de 50 anys. El valor obtingut per a l'ajust GPD-Poisson és de 4,16 m d'alçada d'ona i mitjançant GEV, de 4,36 m.

Tots dos semblen molt similars. Per a evidenciar les diferències es presenta una figura amb la probabilitat acumulada de totes dues distribucions, juntament amb la probabilitat acumulada de la mostra. Aquesta comparació és a la Figura 62. S'hi pot apreciar que, malgrat la coincidència que hi ha entre totes dues distribucions estadístiques per als períodes de retorn alts, en el cas dels períodes de retorn baixos les dues difereixen notablement, essent la GEV molt més pròxima a les dades.

A més, la distribució GPD-Poisson sembla sobreestimar les dades, cosa que incrementa la probabilitat d'excedència.

Per això s'estableix que la distribució GEV és la que millor representa el clima extremal a profunditat de tancament a la platja del projecte.

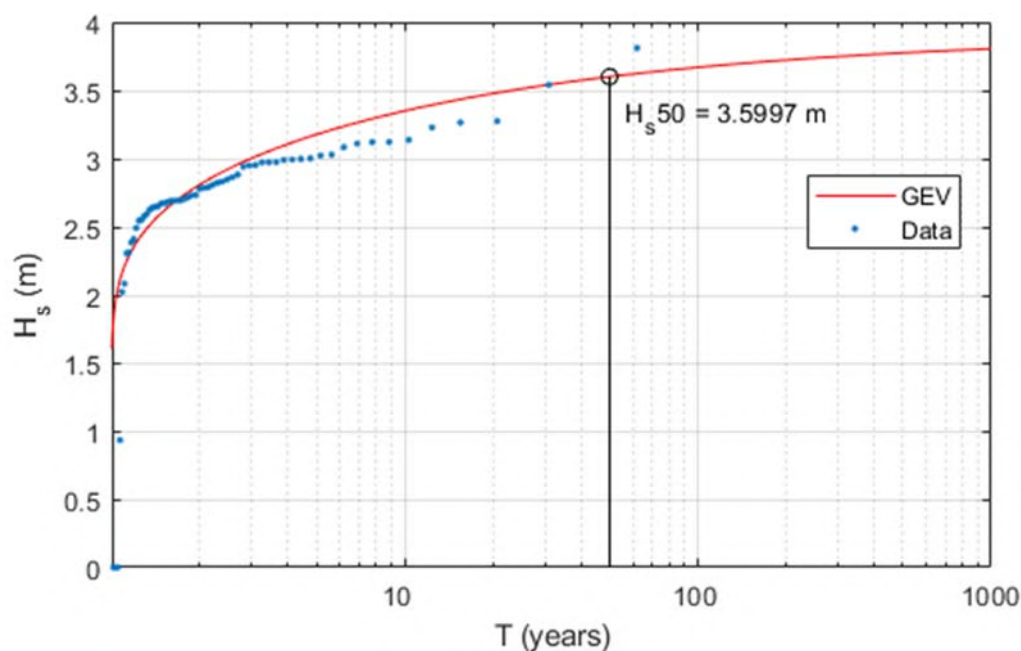


Figura 61. Ajust *extremal a les dades de la secció iOle 13397 mitjançant una distribució GEV.

Així, a partir de tots dos resultats es conclou que, a profunditat de tancament, els valors d'onatge haurien d'estar sobre els 3,6 metres. En principi, això seria coherent amb el resultat de gairebé 6 metres per a la boia SIMAR, ja que en la propagació des de profunditats indefinides fins a profunditat de tancament es produeix trencament, tal com indica el gràfic. En qualsevol cas, per al modelatge numèric de les platges s'han d'usar els valors de profunditat de tancament.

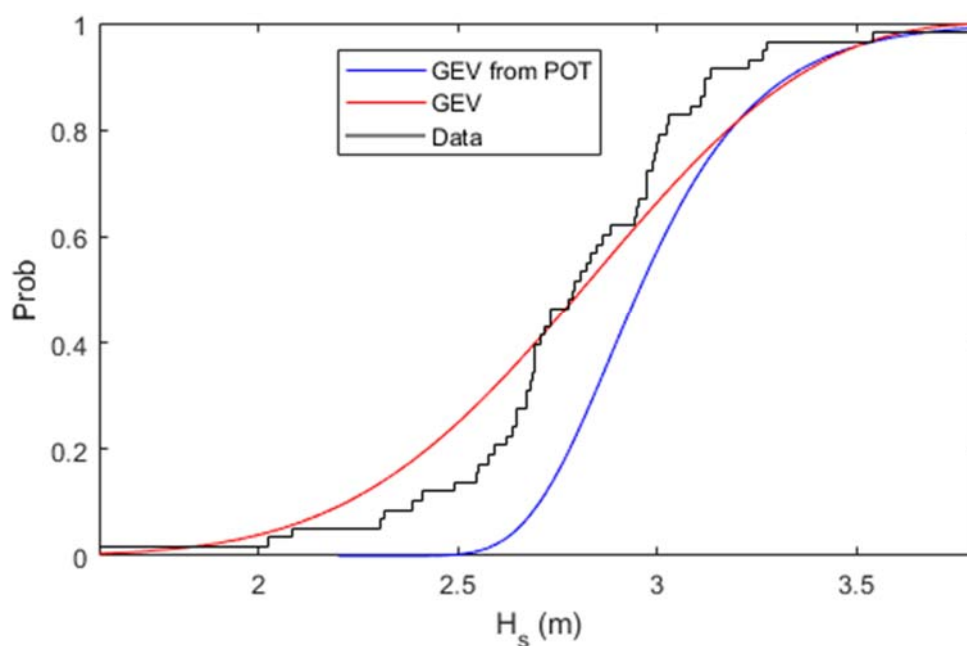


Figura 62. Comparació de la distribució GPD-Poisson amb la GEV i amb la distribució empírica.

Els períodes de retorn d'entre 10 i 100 anys es mouen en un rang de 3 a 4 metres d'alçada d'ona significativa.

Pel que fa a les mareas meteorològiques, s'obté l'ajust recollit en la Figura 63. No s'observa compressió en els valors, perquè el filtre batimètric afecta en menor mesura.

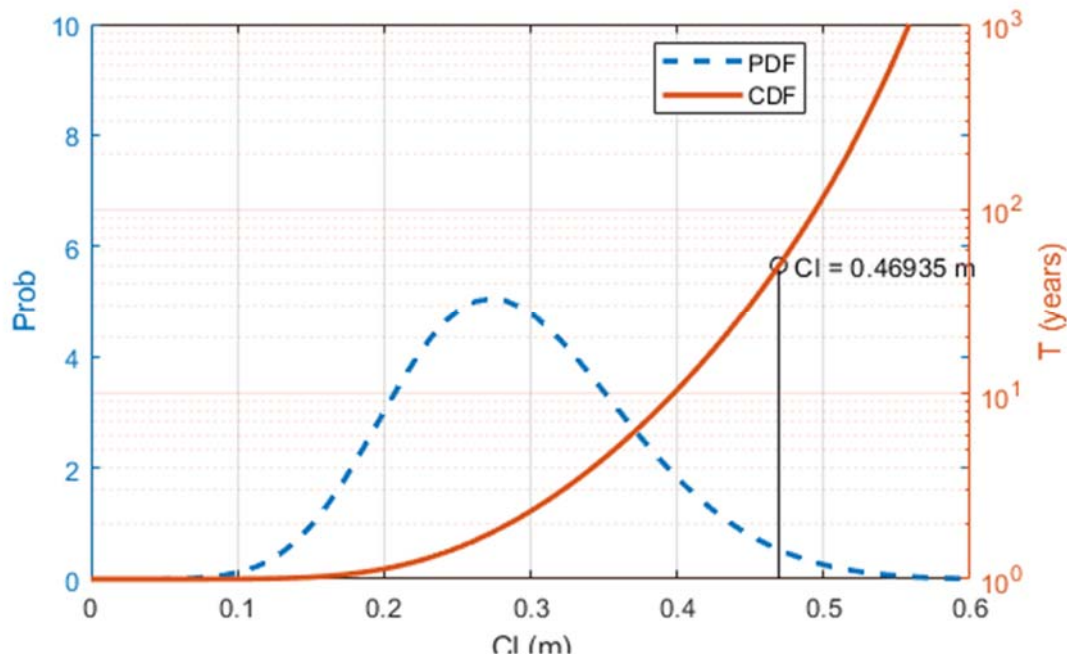


Figura 63. Ajust extremal de les mareas, mitjançant POT+Poisson.

Combinant el fenomen extremal de la marea meteorològica i l'astronòmica, s'adopta un valor de cota de marea de 0,74 m.

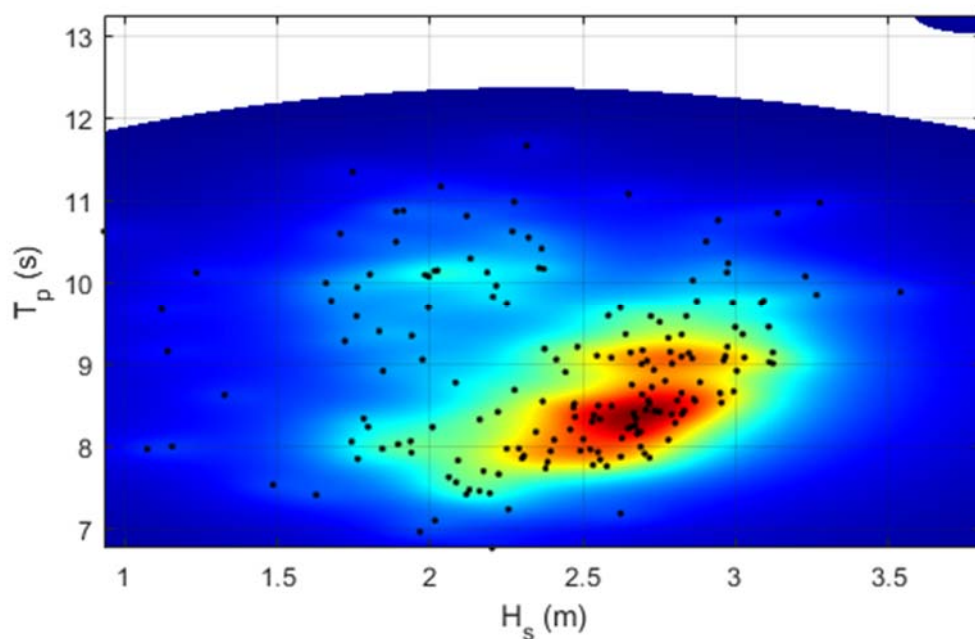


Figura 64. Períodes de pic associats als esdeveniments extrems.

L'últim paràmetre que falta per determinar el clima extrem és el període de pic de l'onatge extremal. Per a determinar-lo, es recorre a les dades reals. La Figura 64 recull aquests valors extrems. S'estableix en 10 segons el període de pic de les simulacions.

En aquest estudi s'ha de considerar, addicionalment, la durada total del temporal. És conegut que, quan hi ha problemes d'erosió, és la intensitat del fenomen (alçada d'ona) la que determina la velocitat amb la qual es produeix l'erosió o l'equilibri final al qual es tendeix, però és la durada del temporal la que permet que s'aconsegueixi o no l'equilibri. Per això, aquest factor és determinant.

10.3 Selecció del clima de simulació

De totes les dades citades en aquest apartat, per a les simulacions numèriques se seleccionarien els valors d'iOle, perquè estan definits a profunditat de tancament:

Taula 11. Variables corresponents al clima extremal.

Alçada d'ona per a T50	Període de pic
3,6 m	10 s

En aquest cas, l'objectiu de les simulacions es morfodinàmic, per tant s'ha de configurar un escenari extremal en termes de transport de sediments. Tal com ja s'ha comentat anteriorment, la durada dels temporals té una incidència molt gran en la seva capacitat d'erosió, per tant, en lloc de fer servir els valors d'onatge recollits a la Taula 11, es dissenya un temporal basat en la Figura 54, que relaciona les durades més grans observades per a cada onatge.

Amb aquestes dades es construeix un temporal sintètic, recollit a la Figura 65. Es tracta d'un episodi de 48 hores de durada, en què l'onatge arriba fins als 4 metres, una alçada fins i tot lleugerament superior a l'obtinguda a la taula anterior.

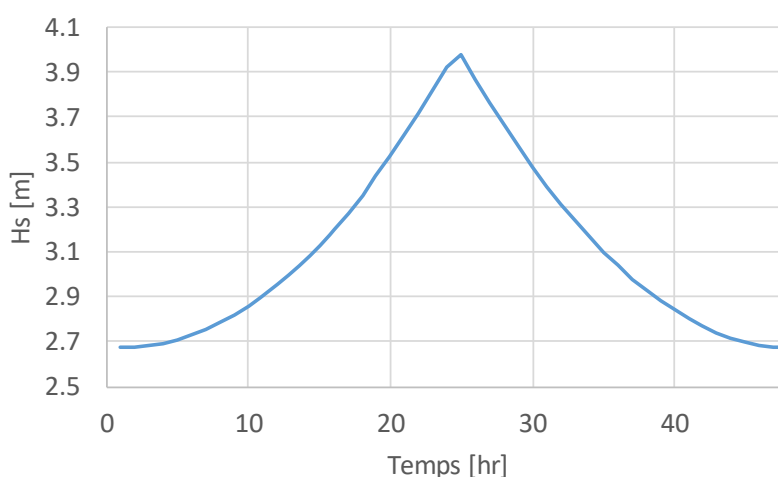


Figura 65. Temporal de disseny orientat a la màxima erosió.

Aquest temporal es pot considerar com l'evolvent de tots els temporals enregistrats. No hi ha anàlisi estadística extremal, per tant no té associat de manera explícita cap període de retorn, més enllà de la longitud de la sèrie a partir de la qual s'ha fet.

11 Simulació hidrodinàmica i morfodinàmica

Tal com s'ha comentat anteriorment, es proposa fer una simulació numèrica emprant el temporal dissenyat en l'apartat anterior. Aquest temporal estarà destinat a provocar una pèrdua de sorra molt important i per això s'orienta a incrementar el transport transversal, forçant les onades de mar a terra en direcció xaloc. Uns escenaris de simulació amb climes mitjans ens portarien als resultats de dinàmica litoral i taxes de transport mitjos, ja analitzats en apartats i estudis anteriors.

A partir d'aquest temporal, es pretén obtenir un escenari extremal en termes d'erosió que permeti garantir la viabilitat dels dragatges proposats, així com la capacitat de la platja per a sobreviure a un temporal extrem. Aquesta supervivència és necessària per poder permetre futurs dragatges o moviments de sorres. Cal dir que l'anàlisi de clima mitjà ja s'ha considerat en els estudis previs, per tant la seva repetició no aportarà noves conclusions.

L'estat actual de la platja i la seva resposta a temporals es reproduceix amb un model 2D. En aquest cas, el model seleccionat és l'XBeach de Deltares (Roelvink, 2009). La batimetria emprada és l'actual, en què la platja d'Ocata està completament desenvolupada, amb un volum de sorres molt important.

El model escollit és capaç d'operar amb múltiples configuracions, tant hidrodinàmiques com morfodinàmiques. Dins d'aquestes últimes, apareixen tres maneres d'operació fonamentals:

- i. Model estacionari: model que resol les equacions fetes per a una mitjana de les ones.
- ii. Model no estacionari: resol les ones llargues i curtes de forma diferenciada (vegeu la Figura 66).
- iii. Model no hidroestàtic: no fa una mitjana de l'ona, en resol la fase.

Cadascun té un ús recomanat. L'adequat per a la resolució de tómbols, platges d'equilibri i morfodinàmica en general és l'estacionari.

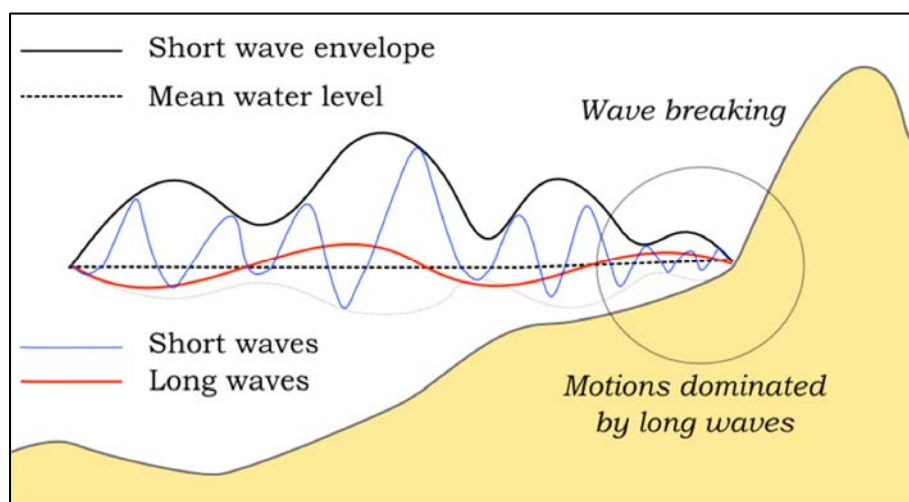


Figura 66. Separació d'ones llargues i curtes en la simulació (font: *XBeach model description and manual*).

Es tracta d'un model que resol l'equació de conservació de l'acció, de manera similar a la conservació de l'energia. El model incorpora termes font per a reproduir les pèrdues d'energia per trencament

d'ona i altres efectes. La formulació emprada és similar a la del *HISWA i es pot usar directament com a referència (Holthuijsen *et al.*, 1989).

El model no hidroestàtic comparteix algorítmica amb l'emblemàtic SWASH (Zijlema *et al.*, 2011), la diferència principal rau en l'eficiència computacional. El model XBeach està desenvolupat pensant en el rendiment,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial HU}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(HU^2 + \frac{1}{2} gH^2 + H\bar{p} - \tau_{xx} \right) + \frac{\partial u}{\partial y} (HUV - \tau_{yx}) &= gH \frac{\partial d}{\partial x} - p \frac{\partial d}{\partial x} + S_x \quad (7) \\ \frac{\partial HV}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(HV^2 + \frac{1}{2} gH^2 + H\bar{p} - \tau_{yy} \right) + \frac{\partial v}{\partial x} (HUV - \tau_{yx}) &= gH \frac{\partial d}{\partial y} - p \frac{\partial d}{\partial y} + S_y \end{aligned}$$

on H és el calat, U, V són les velocitats, g la gravetat, S el pendent, τ_{ij} les tensions de Reynolds i $\bar{p}$ les pressions dinàmiques. Aquest element és el que fa que aquest model sigui apte per a la propagació d'ones curtes. El model posseeix la correcció a la pressió estàtica, equivalent a usar Boussinesq d'alt ordre, i a més amb un algorisme eficient.

La morfodinàmica es resol mitjançant un model de transport de sediments que respon a la formulació clàssica de convecció, difusió i terme font (Galappatti & Vreugdenhil, 1985),

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial hCu^e}{\partial x} + \frac{\partial hCv^e}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[D_h h \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D_h h \frac{\partial C}{\partial y} \right] = \frac{hC_{eq} - hC}{T_s} \quad (8)$$

on C és la concentració de sediment, u, v són les velocitats i D_h és la difusió molecular. A la dreta apareix el terme d'erosió/deposició.

Per al cas que ens ocupa, se simulen una sèrie de temporals de 24 hores de durada i onatge associat a 50 anys de període de retorn. Per això, dels models descrits anteriorment, el no hidroestàtic és el més adequat.

11.1 Batimetria

Per a la construcció del model s'ha aprofitat la batimetria que des de l'AMB es va realitzar el mes de maig de 2021. Arriba fins a profunditats de 15 metres, amb profunditat de tancament a l'entorn dels 6,5 metres. Per això es considera que cobreix perfectament l'àmbit de la platja i els seus processos morfodinàmics. La batimetria s'ha integrat a una topografia per a garantir la correcta representació del talús de la platja.

Aquesta batimetria es complementa amb la informació disponible de l'ICGC com a topografia i del projecte EMODNET com a batimetria. Tot i que aquest últim és molt limitat en resolució, és la millor alternativa que s'ha trobat.

La Figura 67 mostra el model final, construït combinant tots els elements citats anteriorment. Cobreix tot l'àmbit d'estudi, així com les platges perifèriques de Masnou i Ocata.

Les simulacions pretenen reflectir la reculada de platja. En l'àmbit particular de l'estudi existeix una escullera perimetral al port i a la platja de Masnou, a peu del ferrocarril, de manera que no és esperable que es produeixi una reculada, tret que es produís la fallada de l'estructura.

El model morfodinàmic atura l'evolució del sediment quan entra en contacte amb zones definides com a "escullerades". Aquest fenomen passa en poques hores a la platja a ponent del port (platja del Masnou). Per tant, en aquesta part l'únic resultat esperable és la pèrdua de la platja i la intervenció de l'escullera.

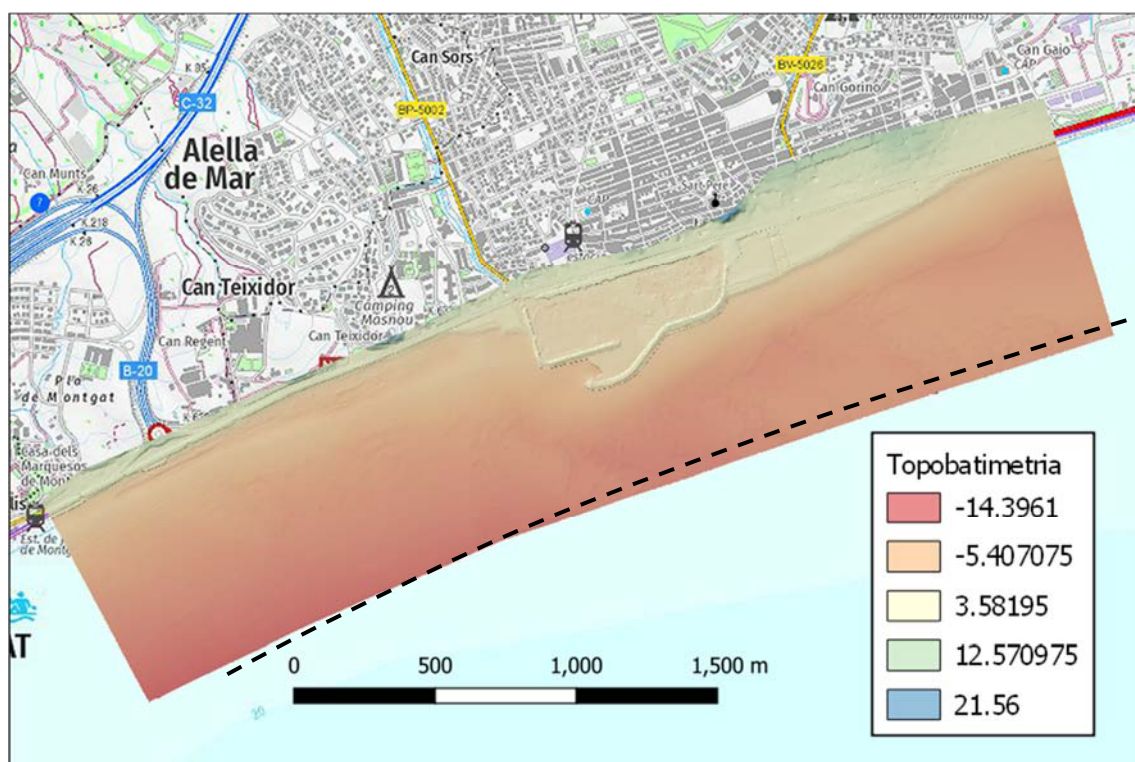


Figura 67. Batimetria realitzada per a aquest estudi.

En qualsevol cas, per a entendre la dinàmica de l'àmbit en estat natural, es fa la simulació i es mostren els efectes que s'han produït a les platges perifèriques.

Per a simular l'efecte de l'escullera, s'introdueixen en el model les àrees dures no erosionables per a evitar un resultat falsejat.

11.2 Característiques sedimentològiques

El *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya*, elaborat pel Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya (Sánchez-Arcilla & José A. Jiménez, 2008), conté un perfil de platja de totes les platges de la província, per tant existeix un punt de partida sòlid per a tots els càlculs d'enginyeria de costes.

La Taula 12 conté la fitxa extreta directament d'aquesta publicació per a la platja en estudi. Entre els valors més representatius, hi ha el diàmetre 50 del sediment i altres elements significatius per a la morfodinàmica.

Taula 12. Informació de la platja d'Ocata recollida al *Llibre verd* (Sánchez-Arcilla & José A. Jiménez, 2008).

SIEVING ERROR: 0,5%			<u>SAMPLE STATISTICS</u>			
SAMPLE IDENTITY: Ocata			ANALYST & DATE: CIIRC, 14-09-07			
SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted			TEXTURAL GROUP: Sand			
SEDIMENT NAME: Moderately Well Sorted Coarse Sand						
	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	780,0	0,364	GRAVEL: 0,0%	COARSE SAND: 71,1%		
MODE 2:			SAND: 99,8%	MEDIUM SAND: 8,6%		
MODE 3:			MUD: 0,2%	FINE SAND: 0,0%		
D ₁₀ :	507,9	-0,358		V FINE SAND: 0,0%		
MEDIAN or D ₅₀ :	763,0	0,390	V COARSE GRAVEL: 0,0%	V COARSE SILT: 0,0%		
D ₉₀ :	1281,5	0,977	COARSE GRAVEL: 0,0%	COARSE SILT: 0,0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	2,523	-2,731	MEDIUM GRAVEL: 0,0%	MEDIUM SILT: 0,0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	773,6	1,335	FINE GRAVEL: 0,0%	FINE SILT: 0,0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	1,538	8,895	V FINE GRAVEL: 0,0%	V FINE SILT: 0,0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	331,2	0,621	V COARSE SAND: 20,1%	CLAY: 0,0%		
	METHOD OF MOMENTS		FOLK & WARD METHOD			
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	776,5	603,4	0,397	771,5	0,374	Coarse Sand
SORTING (σ):	313,2	3,481	0,553	1,450	0,536	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (S_k):	0,609	-4,541	3,305	0,128	-0,128	Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	5,036	23,44	42,91	1,258	1,258	Leptokurtic

S'hi pot veure que el diàmetre característic és d'aproximadament 0,77 mm, relativament gruixut, fet que condiona el transport de sediments i la profunditat de tancament. El diàmetre 90 és relativament similar, lleugerament inferior a 1 mm. Aquestes són les dades requerides pels models morfodinàmics per al càlcul de l'evolució de platja.

11.3 Malla de càlcul

Un dels elements fonamentals del modelatge 2D és la construcció de la malla. Existeixen opcions molt àmplies i molta literatura sobre aquest tema. En essència, es pot dir que la malla de treball del model és estructurada, amb la possibilitat de ser curvilínia.

El punt de partida de tota malla és la batimetria. El domini contingut en la batimetria és el susceptible de ser emmallat, per tant la màxima extensió del model està relacionada amb aquesta informació. Existeix una segona restricció: la definició conceptual del model seleccionat, XBeach, es basa en el concepte *front-back-left-right*, que vol dir que el contorn de la malla ha de ser un quadrilàter, per tant cadascuna de les cares té una funcionalitat específica.

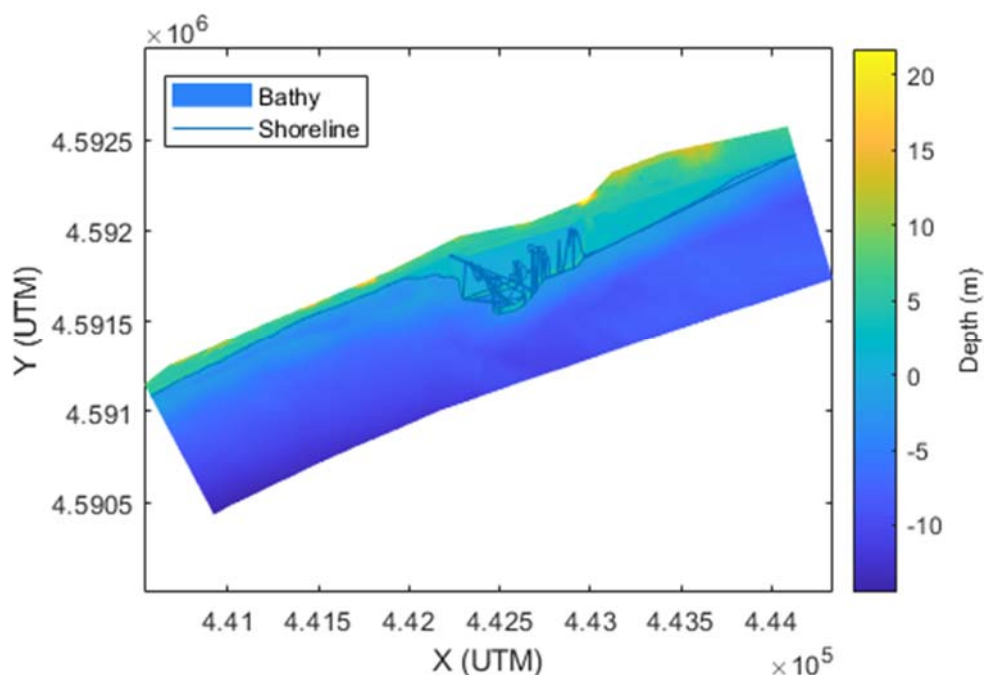


Figura 68. Batimetria creada en GIS i transferida a XBeach Toolbox.

La cara *front* es correspon amb la que dona a mar obert, la cara *back* es correspon amb la platja o la superfície en la qual apareix el *runup* i les cares *left* i *right* són els laterals. Això vol dir que el model espera que la condició de contorn d'onatge estigui definida en la cara *front* i que les cares laterals tinguin condicions definides, sobre el cabal o sobre la cota d'aigua.

En aquest punt apareix la primera dificultat, atès que l'orientació geogràfica de la platja i de la seva batimetria N-S-W-E no es correspon amb aquesta descripció, el primer pas és girar la batimetria per a obtenir un nou sistema de coordenades local X,Y , on X sigui la coordenada transversal a la platja, que defineixi el *front* i el *back* i la coordenada Y sigui la que ens permeti moure'ns de *left* a *right*. A la Figura 68 es pot veure la batimetria original en les seves coordenades ETRS89 UTM 31N. En la Figura 69 apareix la malla una vegada girada gairebé 150°.

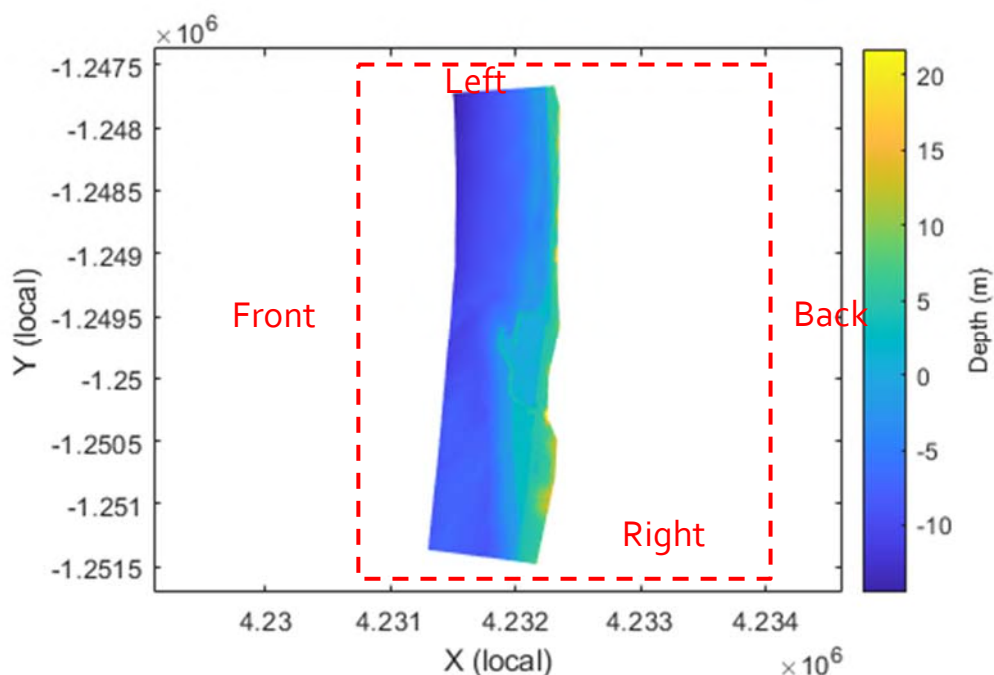


Figura 69. Batimetria en coordenades locals, girada. Quadrilàter de càlcul.

D'altra banda, en la mateixa figura també apareix la localització de la malla de càlcul, en color vermell. A la Figura 70 apareix la malla real de càlcul tal com s'interpreta en el codi numèric. Les coordenades locals X tenen sentit positiu de la mar a la platja. Les coordenades Y recorren paral·leles a la platja. La discretització de l'espai és una mica complexa: el punt de partida és una malla de cel·les d'1 x 1 m. Aquesta discretització resulta extremadament costosa, per tant es duu a terme un procés d'optimització basat en el número de Courant, orientat a maximitzar la velocitat del model. La descripció final és una malla de 440 (X) per 355 (Y).

Les grandàries de cel·la d'aquesta malla no han de ser forçosament constants, però en qualsevol cas els canvis de grandària afecten tota la fila o columna per a poder mantenir l'estructura. Es pot apreciar que la batimetria comença a la cota -10 m i, en uns 500 metres, recorre la distància fins a la cota 0. La longitud total és de 600 m. Atès que hi ha uns 300 elements, això significa que la grandària mitjana és de 2 m. L'ample de càlcul és de gairebé 4.000 metres. Atès que hi ha uns 355 elements, la grandària mitjana de l'element ha d'estar a l'entorn dels 10 m.

Pot apreciar-se la notable diferència entre la discretització en X i la discretització en Y, que es deu al fet que en la longitud l el Courant és extremadament baix.

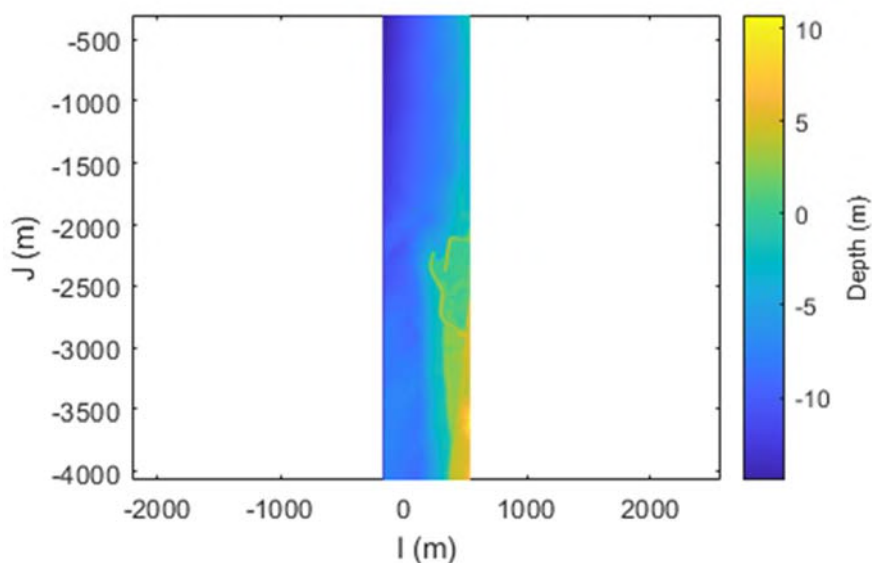


Figura 70. Malla de càlcul, coordenades longitudinal J i transversal I.

El model s'executa amb aquesta malla així definida, de manera que els resultats han de reconvertir-se a les coordenades originals perquè puguin ser útils. La Figura 71 representa les cel·les que es poden erosionar, corresponents a tota l'extensió de platges, excepte les zones escullerades. S'ha suposat un paquet de sediments de 20 metres de gruix per a permetre l'erosió lliure.

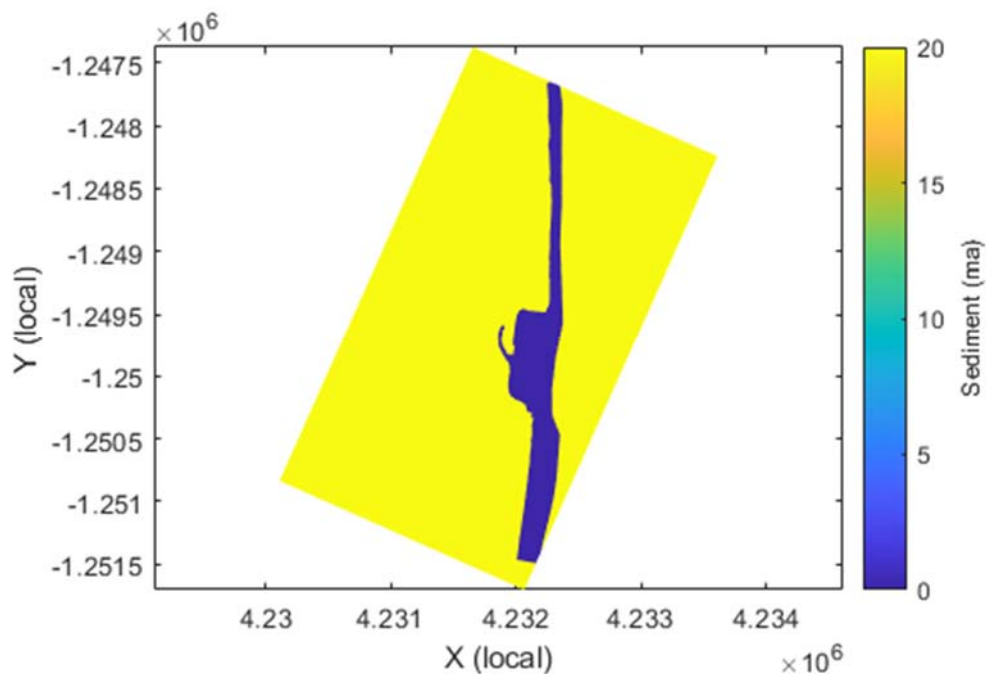


Figura 71. Representació de les zones no erosionables de la batimetria (color lila).

11.4 Condicions de contorn

Tal com s'ha comentat en l'apartat de clima, en aquest projecte es busca un escenari de simulació especialment crític per a la dinàmica litoral, per tant s'ha seleccionat una estadística de durada de temporals i s'ha reconstruït una sèrie extrema ajustada a aquestes durades.

La Figura 72 mostra la sèrie d'onatge sintètica generada a partir de les dades de les condicions de contorn. Es tracta d'un generador espectral que reconstrueix una sèrie que és representativa escolarment i espectralment dels valors prescrits. L'espectre usat en el model és el JONSWAP.

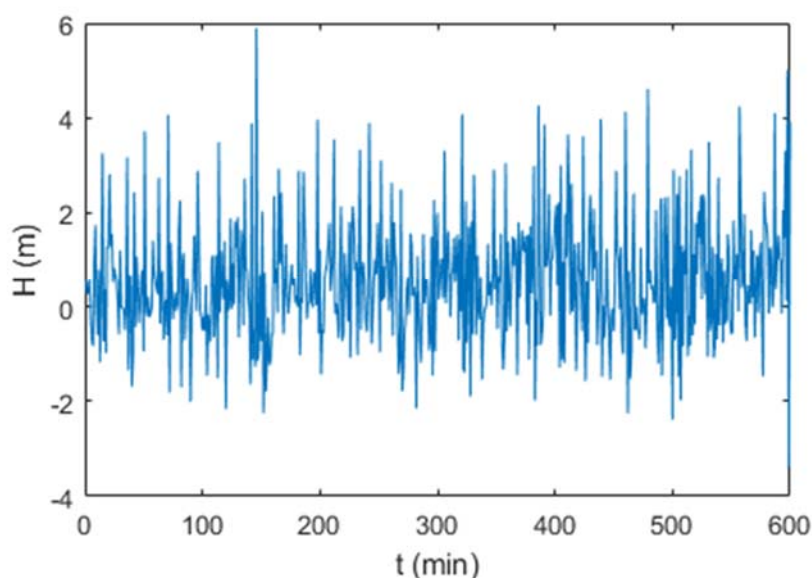


Figura 72. Fragment de 50 minuts de durada de l'onatge incident en el temporal.

Les condicions de contorn del transport de sediments són d'equilibri. Mar endins, els cabals sòlids són nuls, ja que estan més enllà de la profunditat de tancament. Terra endins no hi ha inundació, per tant no hi ha transport sòlid. I finalment, en els laterals del model se suposa una condició de gradient zero, així que es dona una situació d'equilibri.

Aquestes condicions no permeten calcular l'erosió per corrents longitudinals, ja que això obligaria a determinar amb precisió les condicions de contorn que es donen en els laterals, que no són conegudes a priori.

Per tot això, les evolucions a llarg termini s'estimen millor sobre la base de les quantificacions de transport longitudinal per cel·les, però sí que és cert que els temporals i la reculada associada es poden simular correctament.

Com a últims comentaris sobre les simulacions, cal dir que la malla està formada per 156.200 elements i que el pas de temps imposat per Courant està al voltant dels 0,05 s per a una simulació de 48 hores. Això significa una mica menys de 4 milions de passos de temps, cosa que va fer que les estimacions inicials de temps de càlcul fossin de 220 hores, molt per sobre del que és acceptable.

Per a situar aquest durada al voltant d'un dia, s'ha optat per reduir el temporal a 24 hores, la part central i més important de l'episodi, i emprar l'accelerador morfològic que incorpora XBeach, cosa

que permet accelerar les erosions i sedimentacions per a simular processos més llargs. No és un mètode especialment adequat per a transitoris, però ha fet que el càlcul sigui viable.

11.5 Resultats morfodinàmics

El model 2D utilitzat en aquest estudi simula un temporal de 24 hores, de gran intensitat. Com a resultat, es produeix una reculada de platja important.

Els resultats del model morfodinàmic en la zona d'estudi es mostren en la Figura 73. Els colors vermells mostren processos d'erosió i els colors verds de sedimentació. Tal com s'esperava, el temporal de disseny desmunta el talús de la platja i porta la sorra al fons immediat, sota la riba. Aquest és el procés que succeeix de manera anual i que, en general, és reversible.

A la banda de ponent de port, el temporal arriba ràpidament a l'escullera de protecció de la plataforma ferroviària, de manera que es perd la platja i s'atura l'erosió, per tant no és un procés amb interès morfodinàmic. D'altra banda, el temporal de disseny, arran de la seva durada, provoca una erosió de fins a 6 metres en el talús de sorres recolzades en el dic d'abric del port, al punt més al sud. S'ha de recordar que el temporal de disseny no reproduïx els temporals de llevant, que afavoreixen la platja d'Ocata, ni de ponent, que afavoreixen la platja del Masnou. Es tracta d'un temporal que entra de mar a interior, cercant el màxim transport transversal i retrocés de platja.

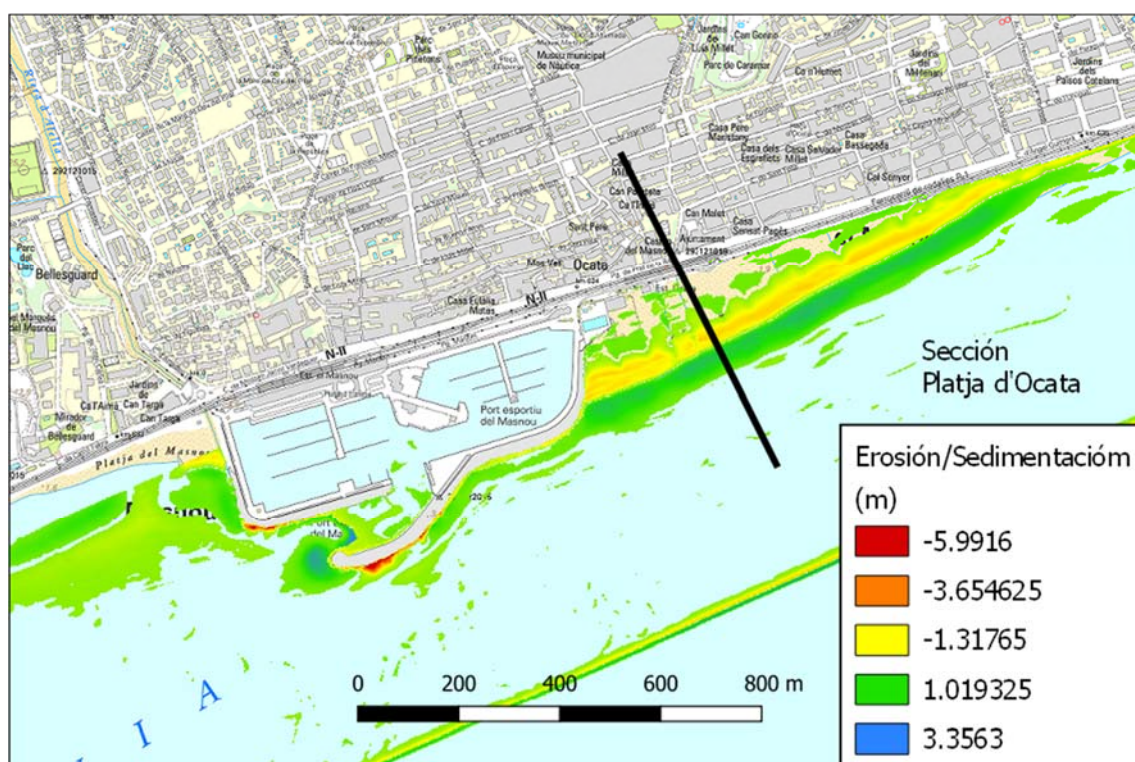


Figura 73. Resultat del model morfodinàmic. Evolució del fons i el talús de la platja.

Aquest temporal és anàleg al del 2017, que va reduir la platja d'Ocata, però que no va aterrar la bocana del port, una de les diferències respecte a la simulació actual.

Resulta interessant veure com fins i tot un temporal de xaloc, perpendicular a la costa, arrossega sorres a la bocana del port, amb una sedimentació superior a 1,5 metres en alguns punts. De fet, el punt de major erosió al dic està associat a aquest transport cap a la bocana.

Per a poder valorar correctament les afeccions d'aquest procés, es fa un perfil transversal a la platja (transsecte). Aquest perfil està recollit en la Figura 73 en forma de línia negra i recorre tota la zona on es donen processos d'evolució del fons i del talús a Ocata.

11.6 Resultats hidrodinàmics

La Figura 74 mostra els resultats de velocitat i onatge per a una secció situada a la platja d'Ocata. S'hi pot veure que l'onatge (línia vermella) experimenta una reducció en acostar-se a la platja a conseqüència del trencament. Les onades no són capaces de superar el talús de la platja per arribar al passeig, per tant la reserva de sorra en aquesta platja és perfectament capaç de resistir un temporal com el del disseny.

Les velocitats es mantenen molt contingudes en tota la simulació, tal com s'espera d'una platja dissipativa com la d'Ocata. Donada la direcció del temporal, les velocitats transversals (v) són molt petites i no s'indueixen gaire corrents paral·lels a la costa.

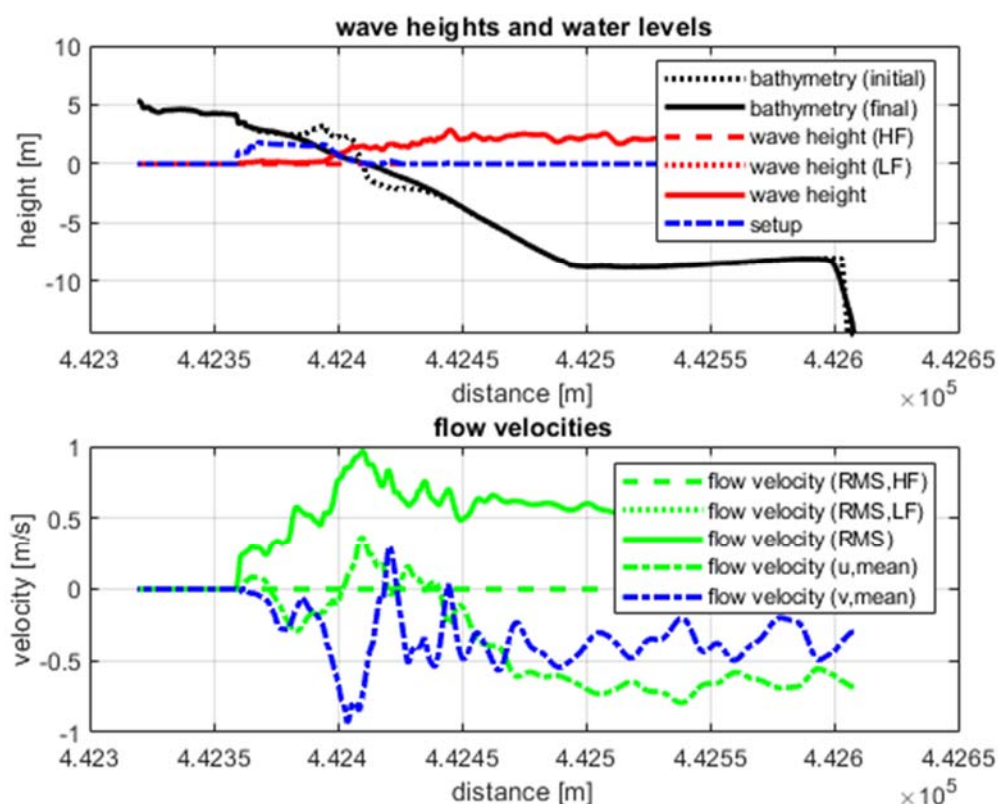


Figura 74. Resultats de velocitat i onatge per a una secció de la platja de Banys de Montgat.

Resultats com els obtinguts fan pensar que les reserves de sorra d'Ocata i del dic del port poden ser explotades amb una certa seguretat, podent resistir amb garanties fins i tot en cas de grans temporals.

Per a complementar els resultats hidrodinàmics, s'han adjuntat una sèrie d'annexos que es descriuen a continuació:

- 01_Mapas_superficie: La Figura 75 mostra un exemple dels resultats inclosos en l'annex. Es tracta dels nivells d'aigua en un cert instant de temps. La imatge recull, així mateix, els valors de la cota de terreny, per això s'observen l'onatge i la platja.

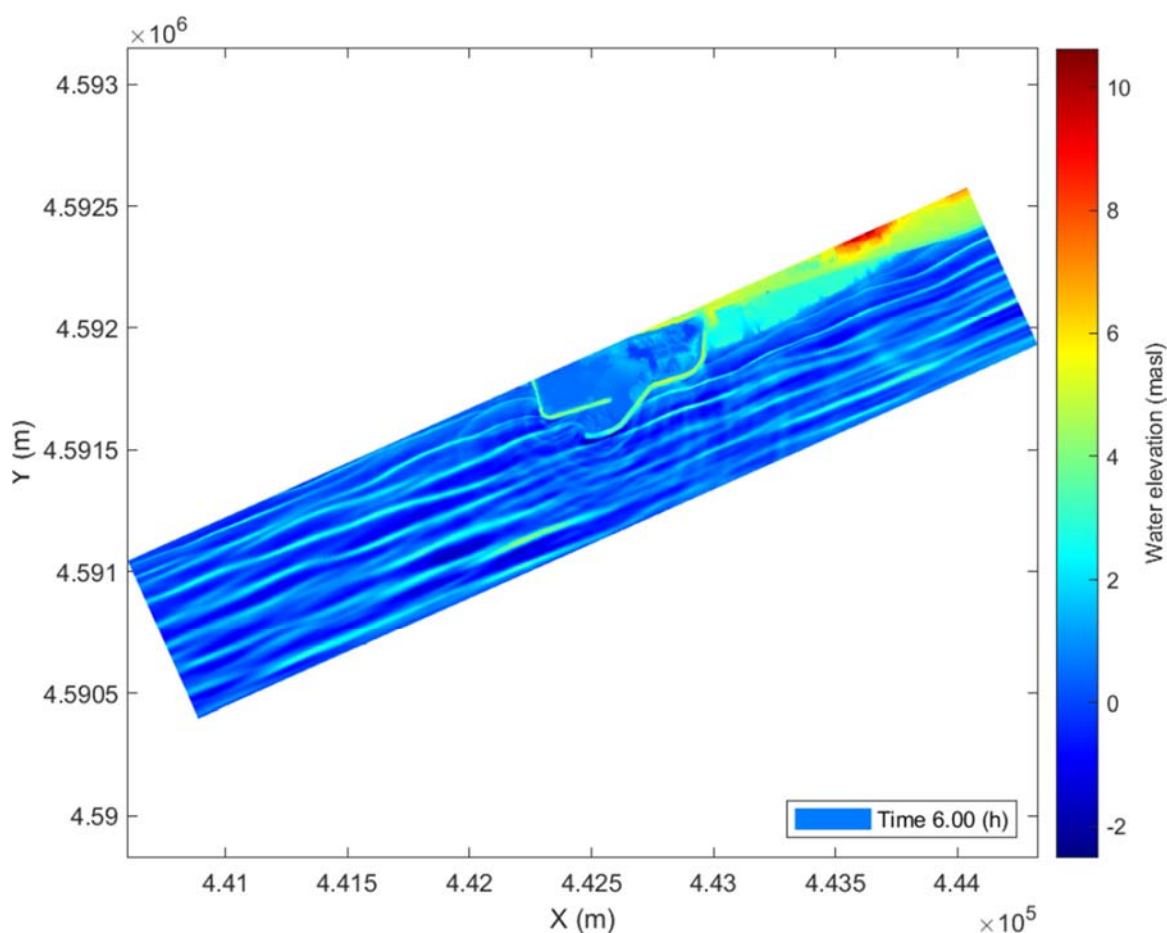


Figura 75. Resultats del model 2D de nivells d'aigua en un cert instant de temps.

- 02_Mapas_velocidad: Es tracta dels resultats de velocitat per a cada instant de temps. La Figura 77 en mostra un exemple. S'hi pot veure que, sobre la part seca, les velocitats apareixen com a m/s.
- 03_Mapas_erosion: La Figura 77 mostra un exemple de resultat d'erosió. S'hi pot apreciar clarament que hi ha un enfonsament generalitzat dels talussos de la platja, tal com és d'esperar en un temporal d'aquestes condicions.
- 04_Series_temporales_fondo_superf_transect: La Figura 76 conté un exemple d'una sèrie temporal que mostra l'evolució en un punt de la cota batimètrica i de la superfície d'aigua. L'exemple mostra un punt situat sobre el talús de la platja que inicialment està emergit, però que es veu profundament erosionat. L'annex inclou els resultats al llarg de tot un transecte.

- 05_Perfiles_fondo_superf_transect: La Figura 78 mostra un exemple d'aquests resultats. Es tracta d'un perfil al llarg de tot un transecte. Els resultats corresponen a un cert instant de temps i mostren fons i superfície d'aigua.

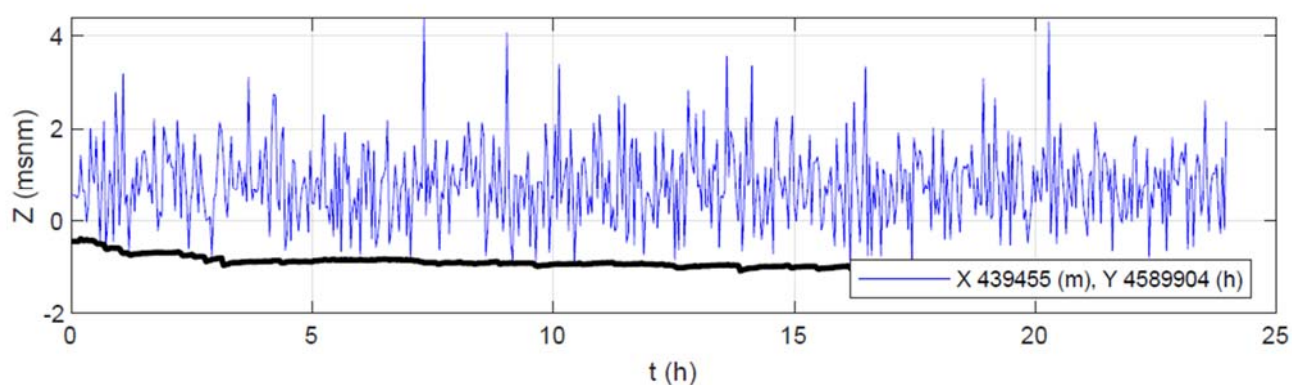


Figura 76. Sèrie temporal d'evolució de cota batimètrica i cota d'aigua al llarg del temps de simulació.

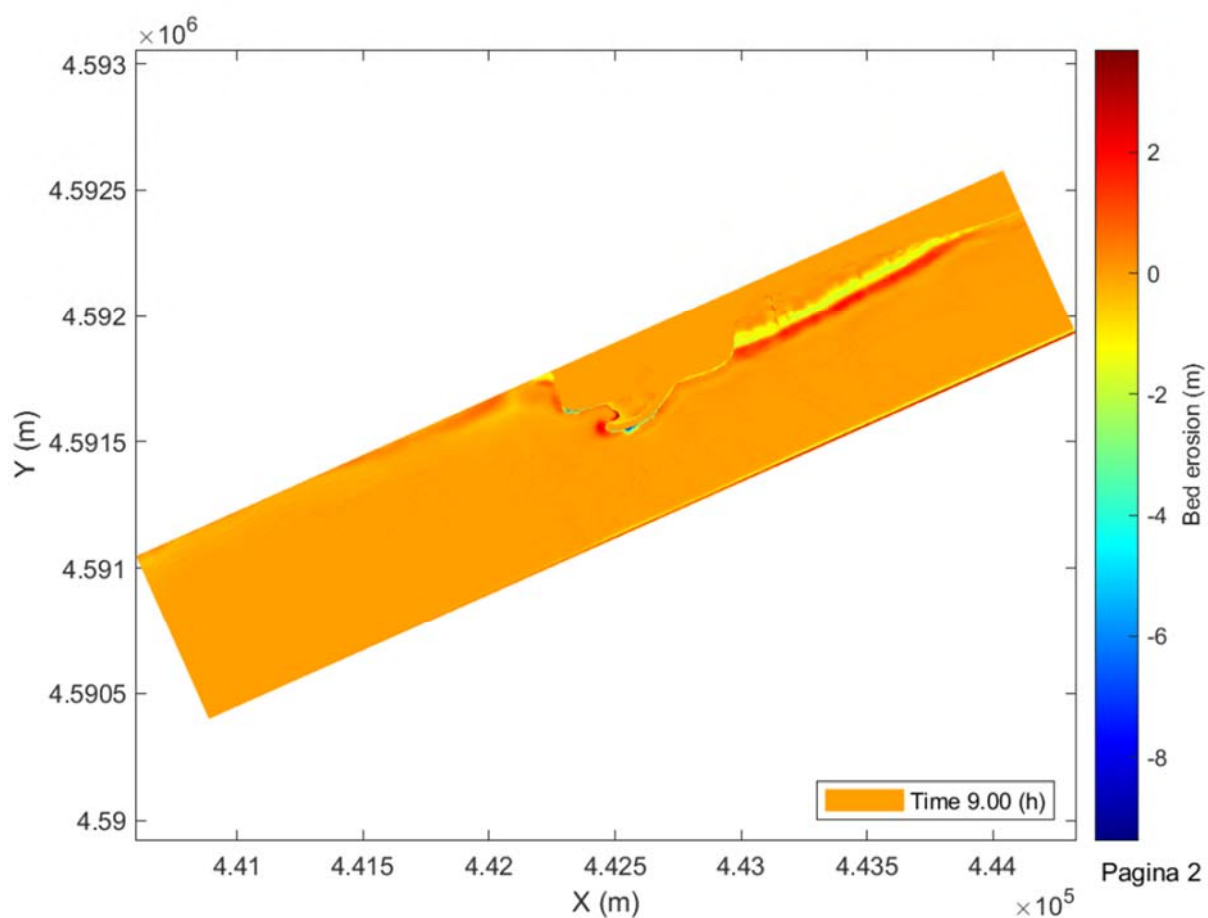


Figura 77. Resultats del model 2D d'erosió/sedimentació en un cert instant de temps.

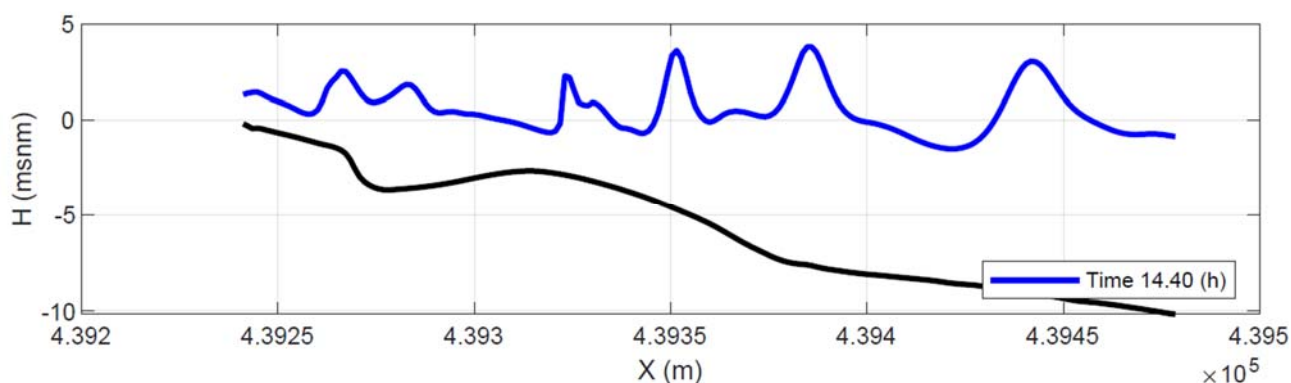


Figura 78. Perfil longitudinal d'un transsecte en un cert instant de temps.

12 Espais protegits

La zona en estudi és a la rodalia de l'àmbit ES5110017, que pertany a la Xarxa Natura 2000. Es tracta d'una prada de posidònia de gran extensió. La Figura 79 mostra la cartografia de la Xarxa Natura 2000 i s'hi pot veure el polígon corresponent al port del Masnou esmentat anteriorment. Es tracta d'un espai LIC (lloc d'importància comunitària). En qualsevol cas, la gran distància entre el punt d'estudi i l'espai protegit és el motiu pel qual no s'hi consideren afeccions, a banda del fet que es dona la particularitat que les direccions prioritàries dels temporals no posen l'espai protegit sota la influència dels corrents amb origen en el punt en estudi, cosa que confirma la falta d'impacte.

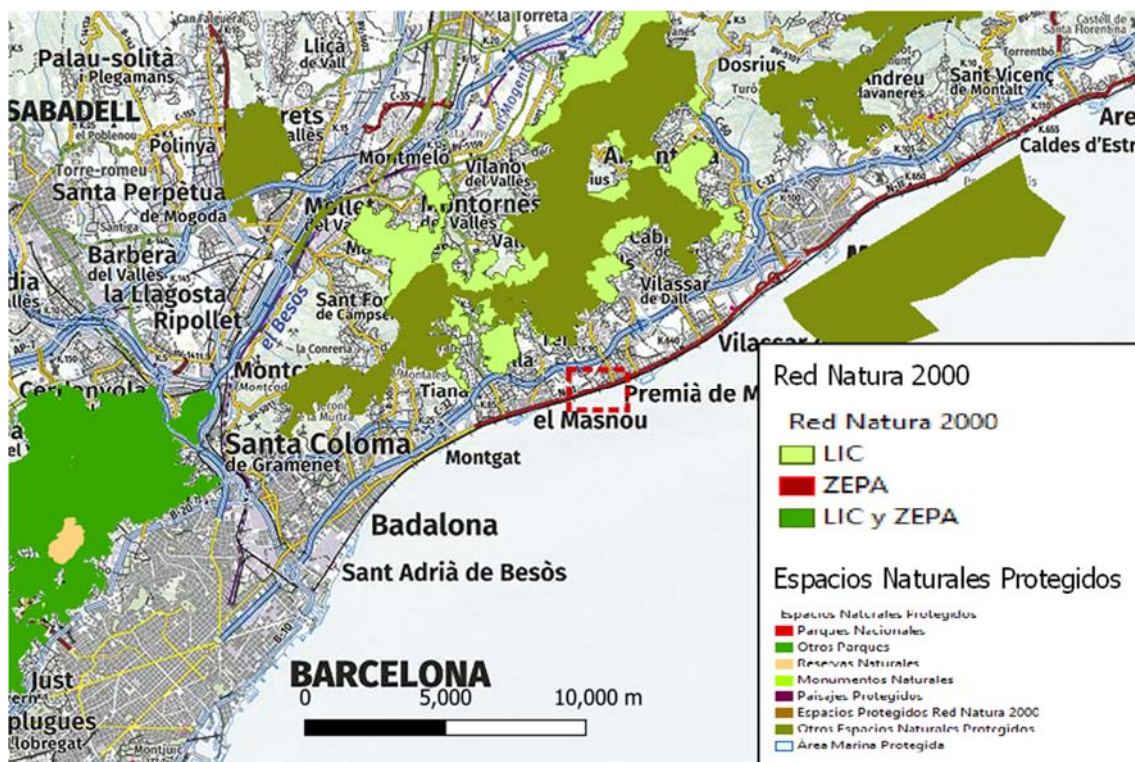


Figura 79. Xarxa Natura 2000 en la rodalia de l'àmbit en estudi.

13 Dinàmica resultant del canvi climàtic

El canvi climàtic té diversos factor superposats a la dinàmica litoral:

1. Pujada mitjana del nivell del mar.
2. Modificació de la marea meteorològica.
3. Modificació de l'onatge en condicions de clima mitjà.
4. Modificació de l'onatge en clima extremal.

Tot el que fa referència al canvi climàtic presenta una incertesa molt important. Aquesta incertesa no sols està relacionada amb la física que regeix els processos, sinó amb les decisions polítiques referents a la mitigació. És per això que, en lloc de dades i previsions precises, es descriuen una sèrie d'“escenaris”. Això permet separar la realitat de la projecció. Un escenari és una de les possibles condicions en les quals podem trobar-nos en el segle en curs, essent una “condició” un cert nivell de CO₂ atmosfèric o un increment de temperatura mitjana.

El responsable de la definició d'aquests escenaris és l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), que desenvolupa els *assessment cycles*, en què es fan anàlisis molt completes i complexes de l'evolució del canvi climàtic. Cadascuna d'aquestes etapes dona lloc a un *assessment report* (AR). Actualment es treballa en el sisè (AR6), que finalitzarà el 2021. El cinquè (AR5), acabat el 2014, és el vigent.

Els escenaris climàtics han experimentat una evolució important: es va començar amb les definicions donades en el primer AR, denominades SA90 (Houghton *et al.*, 1990), superades per l'IS92 (Houghton *et al.*, 1992; Leggett *et al.*, 1992) i actualitzades l'any 2000 per SRES (Nakicenovic *et al.*, 2000). Els escenaris han anat evolucionant, secundats per l'evolució en els mesuraments de camp i les millores en el modelatge. Existeixen, a més, unes propostes de polítiques de control i mitigació que es van veient subjectes a diverses vicissituds en la seva aprovació.

A l'AR5, publicat entre l'any 2013 i 2014, es va canviar completament la filosofia dels escenaris i es va decidir abandonar el protagonisme de l'IPCC en la definició dels escenaris a fi d'atorgar aquesta responsabilitat a la comunitat científica. Això es va evidenciar en el canvi de nomenclatura dels escenaris (A, B, C) a una nomenclatura denominada *representative concentration pathways* (RCPs), que té a veure amb l'augment de la radiació solar absorbida per la Terra a conseqüència dels gasos amb efecte d'hivernacle.

En aquesta nova nomenclatura s'estableix l'energia addicional que cal introduir en els models numèrics de circulació global (GCM) per a reproduir l'efecte dels gasos amb efecte d'hivernacle. Així, l'escenari RCP8.5 vaticina un increment màxim de 8,5 W/m² respecte a l'estat preindustrial. La Taula 13 reproduïx els valors d'ERF mesurats i projectats a l'AR5 vigent.

Taula 13. Valors d'*effective radiative forcing* (ERF) en W/m² segons l'AR5 (2014).

Any	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5	A2	A1B	B1	IS92a	Històric AR5
1850	0,12	0,12	0,12	0,12					0,06
1990	1,23	1,23	1,23	1,23	1,03	1,03	1,03	1,03	1,6
2000	1,45	1,45	1,45	1,45	1,33	1,33	1,33	1,31	1,87
2010	1,81	1,81	1,78	1,84	1,74	1,65	1,73	1,63	2,25
2020	2,25	2,25	2,15	2,32	2,04	2,16	2,15	2	
2030	2,52	2,67	2,52	2,91	2,56	2,84	2,56	2,4	
2040	2,65	3,07	2,82	3,61	3,22	3,61	2,93	2,82	
2050	2,64	3,42	3,2	4,37	3,89	4,16	3,3	3,25	
2060	2,55	3,67	3,58	5,13	4,71	4,79	3,65	3,76	
2070	2,47	3,84	4,11	5,89	5,56	5,28	3,92	4,24	
2080	2,41	3,9	4,6	6,6	6,4	5,62	4,09	4,74	
2090	2,35	3,91	4,93	7,32	7,22	5,86	4,18	5,26	
2100	2,3	3,94	5,15	7,97	8,07	6,05	4,19	5,79	

Una vegada que s'han establert els escenaris fins a l'any 2100, aquests s'usen com a condicions de contorn per als models climàtics globals. En aquests models s'ha d'acoblar l'*atmosfera amb l'oceà, a més de la superfície continental. En conjunt es tracta d'una tasca de gran dificultat. Per a tractar de coordinar tots els esforços es va introduir el Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) del WCRP (Meehl *et al.*, 2000; Taylor *et al.*, 2012).

Així, en els models climàtics globals, a partir de l'escenari RCP2.6 s'arriba a augments de temperatura de fins a 1,2 °C, o amb el RCP8.5 d'entre 3 i 12 °C, de manera que s'ha d'entendre que un escenari de canvi climàtic no és un escenari d'augment de temperatura, sinó un escenari d'augment de gasos amb efecte d'hivernacle. Això significa que cadascun dels models llança un increment de temperatura diferent, amb una pujada del nivell del mar diferent.

13.1 Onatge i marea

Els models resolen una sèrie d'equacions en què es calculen el valor de la velocitat del vent i els corrents marins. Una vegada dut a terme el modelatge, s'obtenen unes bases de dades monumentals, amb valors de previsió fins a l'any 2100, una resolució temporal de 3 h i una espacial d'1r. En el context del canvi climàtic en el qual s'assumeix la globalitat del problema, es fa públic el resultat d'aquests models perquè es puguin usar en anàlisis complementàries.

Aquests models climàtics acoblats inclouen resultats de pujada del nivell del mar, però no solen incloure resultats d'onatge. Per això, en una segona fase s'han d'usar models de generació d'onatge a partir del vent per a convertir els resultats del model climàtic en resultats de clima marí. Entre els models d'ús més estesos hi ha el WAM (The Wamdi Group, 1988) o el WAVEMATCH-III (Tolman *et al.*, 2009). Si existeix alguna limitació en aquesta aproximació és el fet que el vent provoca onatge però, al seu torn, l'onatge no modifica el vent.

Una vegada obtinguts els resultats d'onatge, es duu a terme el clàssic procés d'anàlisi estadística "de les boies virtuals", en què els resultats del model numèric en la malla de càlcul s'assemblen a una boia

oceànica i en què es processen les dades per a definir característiques d'alçada d'ona, direcció i període.

Sobre aquestes dades es duu a terme l'anàlisi d'extrems i s'arriba a l'estadística de clima mitjà i clima *extremal usada en enginyeria de costes.

A Espanya, igual que en la resta de països, s'ha desenvolupat aquest procés i s'ha arribat a resultats rellevants. Cal citar-ne alguns estudis:

- VULNERABILIDAD DE LOS PUERTOS ESPAÑOLES ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO (Ports de l'Estat)
- CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA ESPAÑOLA C3E (IHCantabria)
- ESCENARIOS (AEMET, Ports de l'Estat, IMEDEA)
- VANIMEDAT-2 (Ports de l'Estat, IMEDEA)
- IMPACTOS EN LA COSTA ESPAÑOLA POR EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO (GIOC)
- NECESIDADES DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA RED TRONCAL DE INFRAESTRUCTURAS DEL TRANSPORTE EN ESPAÑA (ADIF, CEDEX, AEMET...)

Molts d'aquests estudis es nodreixen d'altres estudis elaborats a escala europea, com ara: PRUDENCE (FP5), ENSEMBLE (FP6), STOWASUS-2100 (UE) o CORDEX (WCRP).

En conjunt, existeix una coherència important entre els estudis desenvolupats a Espanya quant als resultats. En l'àmbit mediterrani s'espera que no hi hagi canvis importants en l'alçada d'onatge, i de fet en la majoria d'estudis se n'observa una reducció.

Les variables que s'analitzen en aquests estudis són:

- Marea meteorològica: MM
- L'alçada d'ona significativa mitjana: H_{RMS}
- L'alçada d'onada significativa superada 12 hores l'any: H_{s12}
- Direcció mitjana del flux d'energia de l'onatge: θ
- Alçada d'onada significativa per a un període de retorn de 50 anys: $H_{sT=50}$

El resum dels valors obtinguts en els escenaris de canvi climàtic per a 2014 en l'àmbit de treball queda recollit en la Taula 14, provinent de l'estudi de canvi climàtic C3E (IHCantabria 2013).

Taula 14. Valors de canvi climàtic obtinguts en el projecte C3E per a la costa de Barcelona.

		Extrapolacions		Projeccions		
		Actualitat	2040	2070-2100		
				B1	A1B	A2
VENT	PW(W/m ²)	198,621	4,163	-	-	-
ONATGE	Hs (m)	0,696	0,012	-0,012	-0,015	-0,021
	Hs95% (m)	1,676	0,063	-0,029	-0,034	-0,046
	Hs12 (m)	3,671	-0,183	-0,039	-0,037	-0,051
	Tp (s)	5,168	0,006	-	-	-
	FE (kW/m)	1,522	0,031	-0,033	-0,034	-0,041
	Dir FE (°)	108,626	-1,635	-0,712	-2,65	-3,413
	Hs 50 extremal (m)	5,978	0	-	-	-
NIVELL DEL MAR	Referència Alacant (cm)	22,412	-	-	-	-
	Rang marea (cm)	42,185	-	-	-	-
	MSL (cm)	2,055	4,154	-	-	-
	MM95% (cm)	8,717	-2,723	-	-	-
	MM extremal MM50 (m)	0,471	-0,031	-	-	-

Els resultats de la taula es corresponen amb els escenaris de canvi climàtic del *SRES (AR4), perquè els escenaris de l'AR5, incloent-hi la nomenclatura *RCP, van aparèixer poc després de finalitzar el projecte C3E, dut a terme per IHCantabria. La taula inclou les extrapolacions de les sèries històriques fins a 2040 i les projeccions dels models numèrics fins al 2100. També existeixen resultats de projeccions fins a 2014, la qual cosa permetria una comparació directa, però per raons d'espai no s'han inclòs.

En línies generals, es pot dir que l'extrapolació de la sèrie històrica dona alteracions més extremes del clima marí, en contrast amb els models de canvi climàtic i les projeccions corresponents. Per a l'alçada d'ona significativa del clima mitjà, les projeccions parlen d'una baixada de 2 cm, mentre que l'extrapolació apunta a una pujada d'1 cm.

Per al règim extremal d'ona significatiu superat 12 hores al dia (H_{s12}), l'extrapolació de sèries porta a una baixada de gairebé 20 cm i les projeccions, a una baixada de 5 cm. El fet rellevant és que tots dos donen lloc a una baixada de l'onatge.

La direcció mitjana de l'energia de l'onatge en aigües profundes apunta a un gir d'entre 1,5 i 3°, que és relativament petit i segurament en la seva propagació fins a la costa es veu notablement reduït, fet que descarta un gir de platja.

Respecte a les mareas meteorològiques, es preveu una reducció del seu valor de 3 cm.

De tots els valors obtinguts, es dedueix que no hi ha un empitjorament de la situació per l'alteració de l'onatge deguda al canvi climàtic.

A tall d'exemple més ampli dels resultats obtinguts en aquests estudis de canvi climàtic, es mostra en primer lloc el mapa del qual s'obté l'extrapolació d'alteració de l'ona H_{s12} en el C3E.

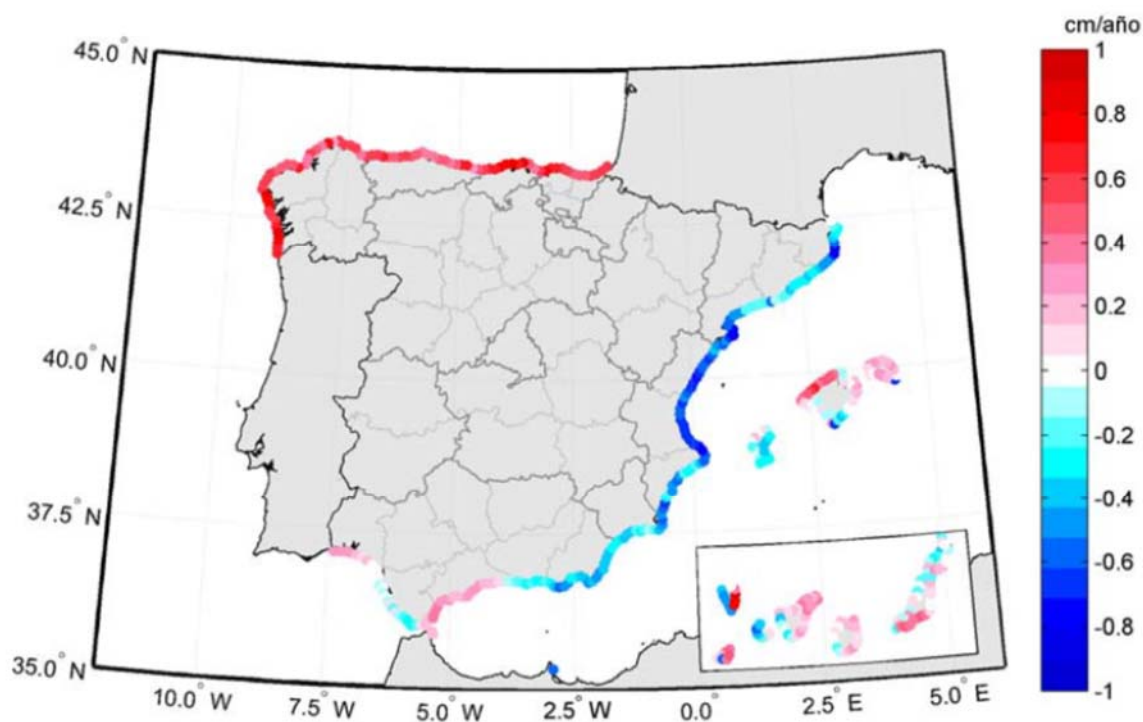


Figura 80. Valors de canvi climàtic obtinguts en el projecte C3E per a la costa de Barcelona C3E.

La Figura 80 mostra l'evolució de l'alçada d'ona en temporals (superada 12 h l'any) al llarg dels últims 60 anys. Aquesta figura forma part de l'estudi C3E (IHCantabria, 2013). S'hi pot observar clarament que al Mediterrani s'aprecia una disminució de l'onatge. Amb la projecció de l'onatge mitjà significatiu fins al 2100 (vegeu la Figura 81), succeeix una cosa semblant: se n'espera una reducció. És d'aquests mapes d'on s'obtenen els valors puntuals recollits en aquest document.

És important recordar que aquests valors s'obtenen de models o d'anàlisis estadístiques, sempre aplicats a gran escala i incapaços de recollir tots els detalls de la línia de costa, cosa que significa que, a efectes pràctics, es tracta de valors a profunditats indefinides i que, en funció de l'ús que se'ls vulgui donar, han de propagar-se fins a la costa. En el cas actual, com que els valors d'onatge són menors, no és necessari dur a terme la propagació, ja que el cas més desfavorable és l'actual.

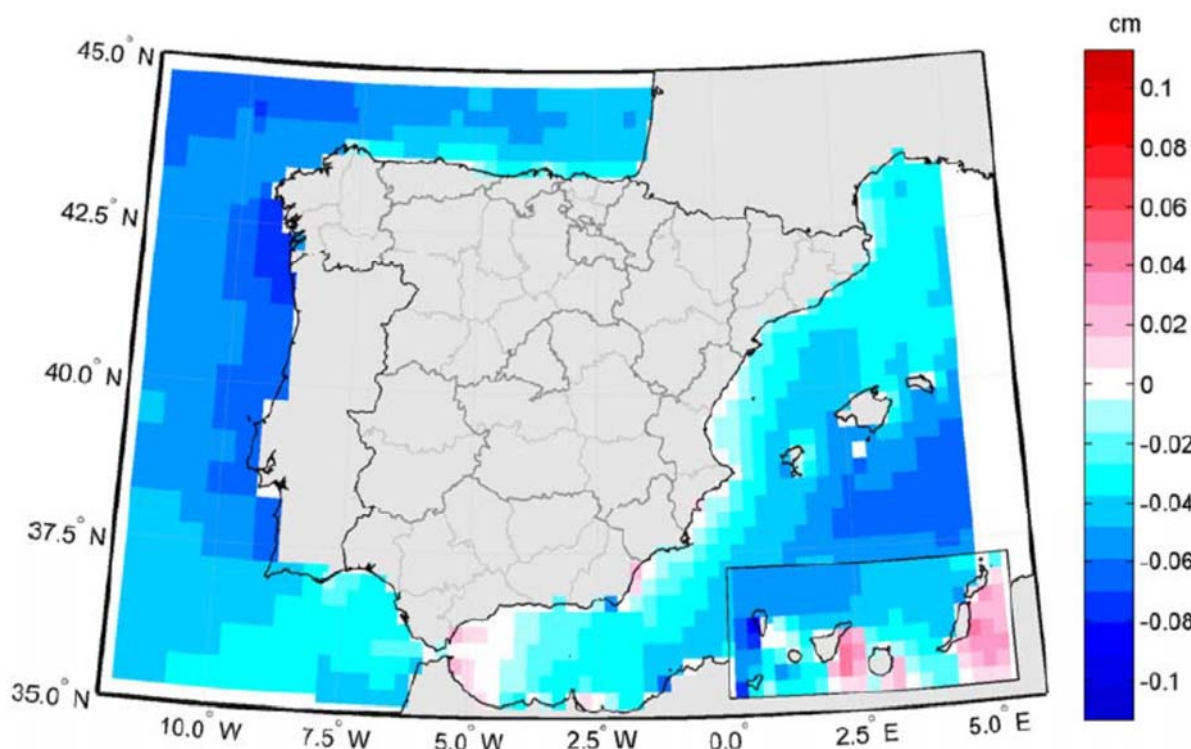


Figura 81. Projecció de l'evolució de l'ona mitjana del 2070 al 2100 (C3E).

Es poden trobar resultats similars per als estudis que ha dut a terme Ports de l'Estat. La Figura 82 mostra la corba d'onatge extremal en una boia situada a les Balears. La línia blava representa la projecció fins al 2100. S'hi aprecia clarament que hi ha una reducció dels màxims.

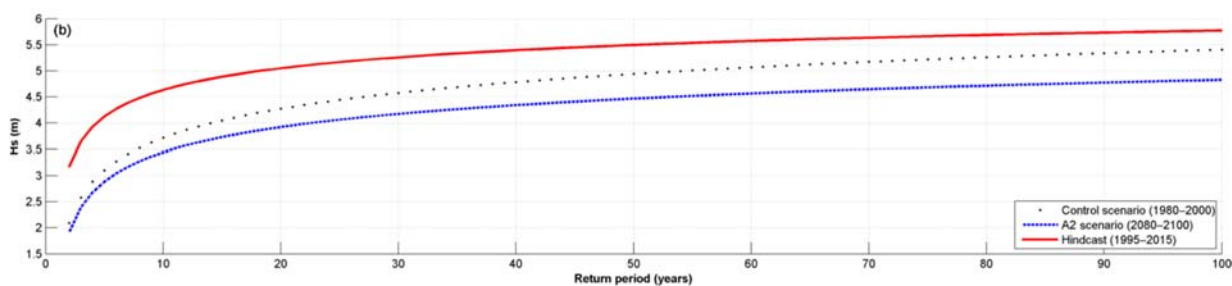


Figura 82. Corba d'onatge extremal per a una boia situada al nord de les Balears (font: Ports de l'Estat).

13.2 Pujada del nivell mitjà del mar

La pujada del nivell mitjà del mar es pot constatar de dues maneres, a partir dels mesuraments dels últims anys i a partir dels resultats dels models numèrics de canvi de clima. La Figura 83 mostra l'evolució del nivell del mar actual, sobre la base de sèries temporals llargues en algunes estacions de mesura. S'hi pot veure que hi ha una variabilitat espacial important. L'estació més pròxima a Barcelona és Marsella, on s'observa una pujada d'1 mm/any. No obstant això, en una estació com la de Vigo s'arriba a 2,5 mm/any.



Figura 83. Pujada anual del nivell del mar (font: European Environment Agency, 24 de maig de 2017).

Segons aquestes dades, caldria esperar una pujada d'uns 80 cm d'aquí al 2100. No obstant això, aquests resultats s'obtenen a partir d'extrapolació. Si es recorre a la projecció dels models, s'obtenen els valors recollits en la Figura 84, on es pot veure que el valor més esperat estaria per sota de els 40 cm.

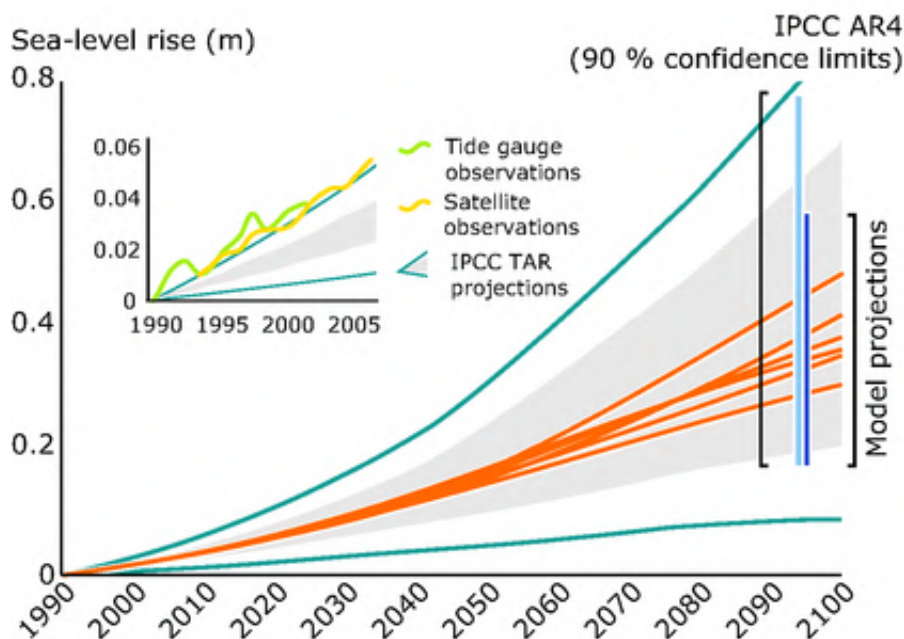


Figura 84. Projeccions de pujada del nivell del mar sobre la base de models climàtics (font: IPCC Third Report, 2001).

A l'AR5 (cinquè informe de l'IPCC), aquests valors es corregien i arribaven a estar lleugerament per sota dels 50 cm, encara que s'accepta que podrien arribar fins als 80 cm. A la Figura 85 es recull aquesta projecció.

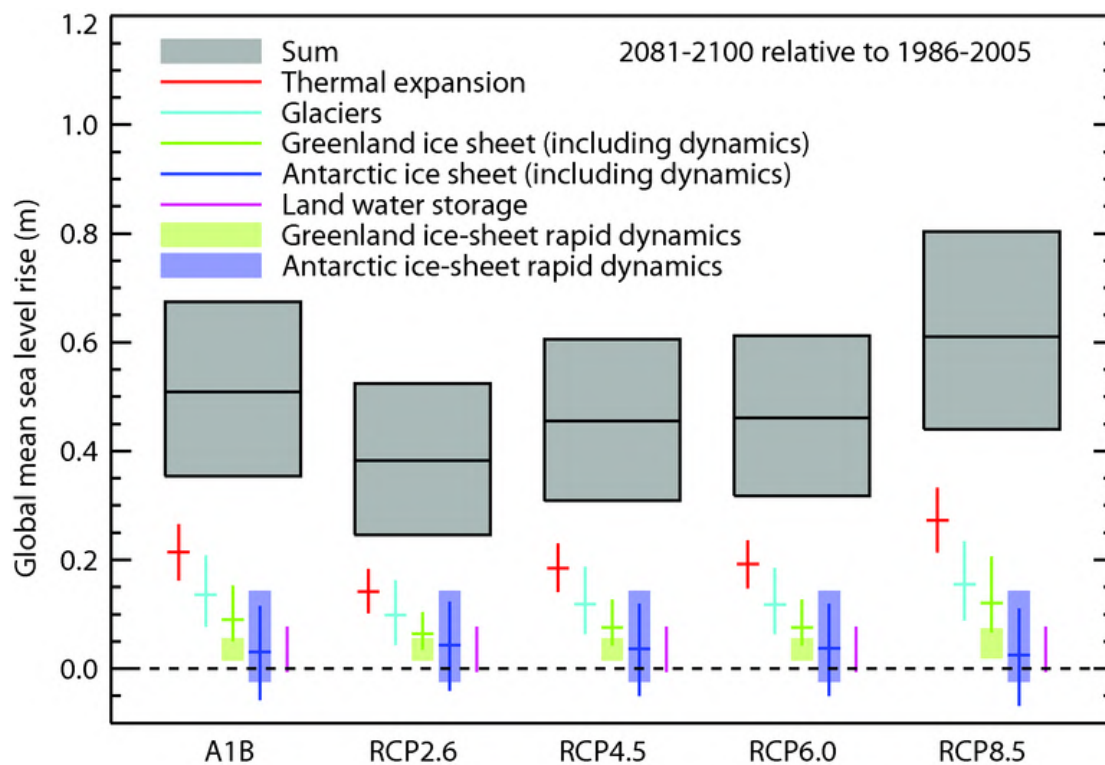


Figura 85. Última projecció de pujada del nivell del mar obtinguda a l'AR5 (2014).

Tal com s'ha citat en el text, s'ha produït un canvi de nomenclatura en els escenaris, per això la figura inclou l'escenari A1B, pertanyent a l'anterior informe, de manera que és possible fer la comparació dels resultats antics amb els nous.

Resulta interessant identificar el principal responsable de la pujada del nivell de la mar. La Figura 85 i la Taula 15 en mostren les dades. Es pot veure clarament que l'expansió tèrmica és l'element més important, seguida del desglaç.

Taula 15. Factors responsables de la pujada del nivell mitjà del mar.

Process	Contribution to global sea-level rise [mm/year]
Ocean thermal expansion	1.6 +/- 0.5
Melting of glaciers and ice caps	0.8 +/- 0.2
Melting of the Greenland ice sheet	0.2 +/- 0.1
Melting of the west Antarctic ice sheet	0.2 +/- 0.4
Unaccounted for	0.3
Total global sea level rise	3.1 +/- 0.4

A partir de tot el que s'ha esmentat, es pot dir que la pujada del nivell del mar esperada per a final de segle podria estar a l'entorn dels 0,5 metres.

La pregunta rellevant és com aquest canvi pot afectar la dinàmica litoral. En general es pot suposar que una pujada del nivell del mar dona lloc a una pujada conjunta de la línia de costa, ja que el mar i el seu onatge desplacen la sorra cap amunt.

No obstant això, aquest farciment de sorra s'ha de produir amb sorra existent, la qual cosa en última instància dona lloc a una reculada de platja. La regla de Bruun, desenvolupada en els anys 1950, permet fer una estimació de la reculada de platja a causa d'una pujada del nivell del mar.

Per al cas de la platja en estudi, dona un valor de 6,6 m, segons l'equació

$$RE = \frac{\Delta\eta \cdot W^*}{h^* + B} = \frac{(1.57H_{s12})^{1.5}}{(0.51w^{0.44})^{1.5} (1.57H_{s12} + B)} \quad (9)$$

amb les variables representades en la Figura 86 .

De tot el que s'ha dit, es conclou que la pujada del nivell del mar pot agreujar la situació de la platja. En el cas que es planegin obres de protecció, aquestes obres han de tenir en compte la reculada de platja per la pujada del nivell del mar, estimada en uns 6 metres.

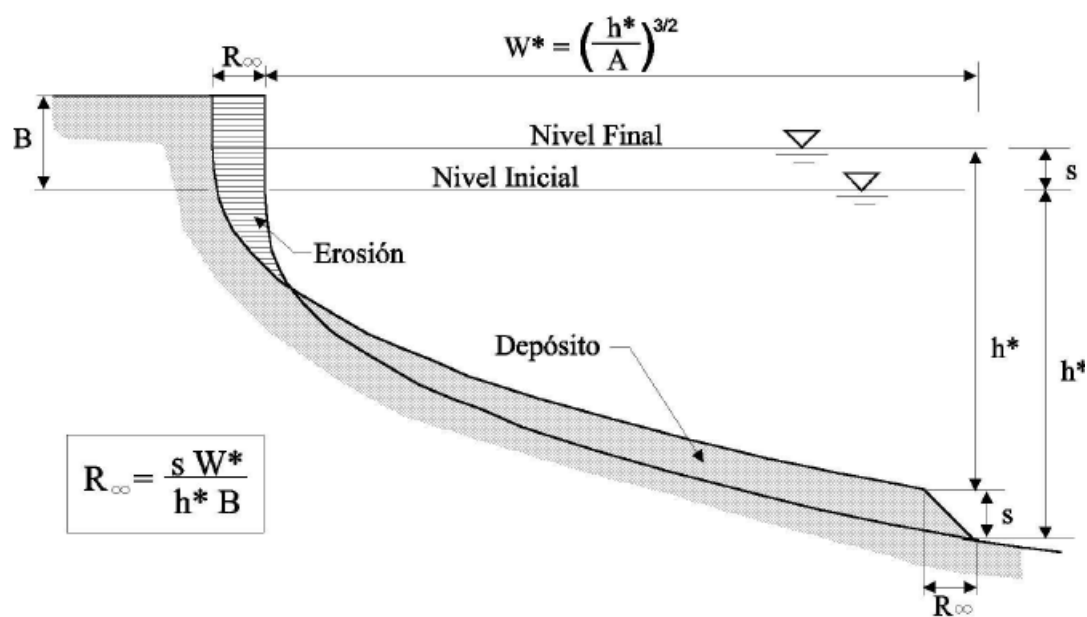


Figura 86. Regla de Bruun per al retrocés de platja per pujada del nivell del mar (font: C3sim).

14 Conclusions

Aquest estudi intenta definir una estratègia sostenible per a la gestió dels sediments en el port del Masnou, però lligada al funcionament de les platges, ja que la seva dinàmica en forma part indiscutible.

Existeixen infinitat d'estudis relatius a la problemàtica sedimentològica del Maresme i el paper que hi tenen els ports, que segmenten la costa formant el que anomenem *cel·les*. En aquest treball s'ha fet un recull d'aquests estudis per a tractar d'extreure'n una visió de conjunt que consideri tots els punts de vista i que tregui partit de les aportacions individuals de cada estudi. Hi ha una sèrie de plans amb actuacions estructurals de gestió que estan aturats a l'espera de consens. D'altra banda, els requeriments funcionals dels ports obliguen a prendre mesures operatives de dragatge i gestió de sediments.

És obvi que cal buscar la sinergia entre les accions operacionals dels ports i les necessitats ambientals de la dinàmica litoral.

En línies generals, es pot dir que la dinàmica natural del Maresme és que els sediments circulin de llevant a ponent, nodrint-se de les aportacions de rius i rieres. En el cas que ens ocupa, s'ha identificat i quantificat de múltiples maneres la interferència que suposen els ports a aquesta dinàmica, així com els valors naturals de transport de sorres i els valors actuals.

Posar xifres concretes a les taxes de transport és complicat arran del ventall d'estudis i valors disponibles, però com a valor més o menys consensuat es podria parlar d'un transport longitudinal d'entre 50.000 i 100.000 m³/any, similar a la quantitat dragable al port del Masnou. Si aquest transport queda atrapat en les infraestructures portuàries, podria assimilar-se al valor del *bypass*.

Enfront d'aquesta problemàtica, es presenten dues alternatives. D'una banda, es pot tractar de restablir el funcionament natural amb la tècnica del *bypass*. D'aquesta manera, els ports passen a ser transparents i la dinàmica de traspàs de sorres es recupera, assumint que el mar té una dinàmica que recull les sorres aportades per les lleres fluvials i les transporta en direcció sud.

Aquesta aproximació, perfectament vàlida, s'ha de recolzar en el fet que realment hi hagi equilibri i que els rius i rieres aportin el que el mar pot transportar. El fet, però, és que les dades sobre la dinàmica fluvial del sistema Tordera/Maresme semblen indicar que aquest sistema no és capaç d'aportar el sediment suficient perquè l'aproximació del *bypass* sigui sostenible a llarg termini. Tot i que el pla d'espais fluvials del Maresme no està finalitzat, les evidències físiques de les lleres apunten a una incapacitat de fer arribar el sediment a la costa. El riu Tordera en podria estar aportant a Blanes uns 25.000 m³/any. Les rieres del Maresme estan bloquejades per la infraestructura ferroviària i la dinàmica litoral natural podria requerir entre 50.000 i 100.000 m³/any de sediments, fet que crea un desequilibri molt important.

Aquesta incapacitat, combinada amb un *bypass*, generarà un dèficit crònic de sediments que produirà un buidat progressiu del sistema. La dinàmica fluvial de tot aquest àmbit ha estat profundament alterada per l'actuació de l'home i quasi està tan pertorbada com la dinàmica litoral. **No sembla equilibrat emprar un *bypass* litoral per a resoldre la problemàtica erosiva de les platges del Maresme si no s'acompanya d'un *bypass* fluvial.**

El *bypass* només garanteix el viatge de la sorra cap al sud, però no l'entrada pel nord.

En contraposició a aquesta aproximació, es pot fer una cel·la, on les sorres es capturin a ponent i es redistribueixin a llevant, però sense migrar de cel·la, tal com proposa el Ministeri en la seva estratègia per al Maresme. Aquesta aproximació ens deixa lluny del comportament natural, però permet una gestió sostenible. A més a més, la mida de les cel·les no fa prohibitiu aquest transport de ponent a llevant.

Aquest equilibri dels transports longitudinals paral·lels a la línia de costa deixaria pendants de resoldre les pèrdues de sorra per transport transversal durant els temporals, per tant seria necessària l'aportació de suport de sorres addicionals recollides a la mateixa cel·la més enllà de la profunditat de tancament, però en un valor significativament menor al transport longitudinal.

Tal com s'ha comentat, platges i ports són dues cares de la mateixa moneda, per tant la problemàtica té un impacte molt important en l'aterrament constant que pateixen les platges situades a llevant del ports, on els temporals provoquen una migració de sorres cap a les infraestructures portuàries, interferint-ne el funcionament.

Actualment, el port del Masnou duu a terme el dragatge i l'abocament d'uns 45.000 m³ anuals per a les tasques de manteniment de la bocana, amb un objectiu, en la nostra opinió, no complet de manteniment de *bypass* de sorra. Pel que fa a l'abocament de la sorra, caldria que no es fes a mar obert. Tampoc s'hauria d'intentar fer una regeneració en una platja sense cap element de confinament lateral i totalment erosionada, amb gran presència d'esculleres de protecció immediatament exposades en cas de temporals.

En el cas particular del port del Masnou, sembla que el potencial de sorres a dragar està al voltant dels 70.000-90.000 m³/any, tal com va justificar el projecte BRACHMED-e. Hi ha un cert consens en aquestes dades i fins i tot se n'han fet proves pilot de recuperació a escala real. Són evidències tan sòlides que no sembla adequat qüestionar-les. D'altra banda, el valor sembla mostrar una compatibilitat important amb les estimacions de les necessitats del transport longitudinal.

Una vegada iniciades les accions de dragatge del conjunt del port del Masnou-platja d'Ocata, hi ha el dubte de la resiliència de la platja enfront dels temporals tan extrems que s'han patit els darrers anys. Per això es planteja una tasca addicional, que consisteix a dissenyar un temporal extrem en termes de morfodinàmica, no d'inundació.

Aquest enfocament requereix reprocessar les dades de clima marí per a tractar de crear un temporal sintètic especialment orientat al transport de sediments. Per a això, s'ha reavaluat la corba durada-intensitat dels temporals. Fent-ho amb la sèrie completa de dades de clima, de manera implícita s'està assumint que és un escenari extrem, sense tenir una referència clara en termes de període de retorn però sí en termes de màxims temporals coneguts.

Inicialment s'ha definit un temporal de 48 hores de durada construït a partir de la combinació de tots els temporals coneguts. Aquest temporal finalment s'ha reduït a 24 hores per requeriments computacionals del model. Tradicionalment, els càlculs de dinàmica sedimentària es fonamenten en models espectrals o de *mild-slope equation*, que no estan especialment ben adaptats a càlculs de

sediments. Per això, en aquest cas s'ha optat per un model que resolgui en fase, especialitzat en el càlcul del transport de sediments però amb una penalització molt important en temps de càlcul.

Les conclusions d'aquest estudi indiquen que el talús de sediments de la platja d'Ocata té una resistència molt important, fins i tot enfront d'un temporal orientat a provocar un moviment molt important de sediments mar endins.

El cas del dic del port del Masnou és lleugerament diferent. Està molt exposat al temporal i s'hi experimenten pèrdues de sorra de fins a 5 metres, però es tracta d'acumulacions produïdes per la sedimentació d'aquests anys, per tant no sembla que hagi de posar en compromís l'estructura.

Tot i ser un temporal de xaloc, perpendicular a la costa, es constata que hi ha un transport de sorres cap a la bocana del port, de manera similar al que passa amb els temporals de ponent.

Per acabar, cal dir que en el cas de la platja a ponent del port, la del Masnou, l'impacte és molt significatiu. Ja es tracta d'una platja en risc, amb gran presència d'esculleres de protecció que queden immediatament exposades en iniciar-se el temporal, i que, per tant, queden fora del l'abast del modelatge morfodinàmic.

Queda el dubte sobre la capacitat del temporal de desmuntar el talús escullera de la plataforma del tren, però el model emprat no és capaç de resoldre'l. A més, a banda caldria una reflexió sobre si un temporal dissenyat per maximitzar el transport de sediment és adequat per generar l'inici de moviment que provoquen les fallades de les esculleres.

15 Propostes d'accions a seguir

15.1 Síntesi de les conclusions més importants que afecten les actuacions

1. És conegut que la UPC ha quantificat l'aportació sedimentària del riu Tordera a l'entorn de 25.000 m³/any. A més, l'aportació de les rieres compreses entre el Tordera i el Masnou està limitada per la via del ferrocarril. Per tant, és correcte considerar una aportació sedimentària acumulada a les platges inferior a 50.000 m³/any.
2. És obvi que realitzar un *bypass* anual d'uns 100.000 m³/any, tal com està proposat, implica un dèficit en el balanç que provocarà regressió a les platges. Actualment aquesta erosió ja comença a detectar-se a la platja d'Ocata.
3. També sabem que les platges del Masnou no tenen una configuració de cel·la estanca i que ja han patit una erosió significativa que fa aflorar l'escullera paral·lela en molts punts. Per això, no és útil intentar estabilitzar mitjançant l'abocament de sorra en l'aigua, tal com s'ha estat fent els últims anys.
4. Hem constatat que la platja d'Ocata és resistent als temporals i, per tant, pot utilitzar-se de forma efectiva com a dipòsit de sorres.
5. També es detecta en la batimetria que hi ha una acumulació de sorres en el dic de recer del port del Masnou compatible amb una estratègia de dragatge que, de forma més continuada, evitaria l'aterrament de la bocana, sense que s'arribés a necessitar dragar en bocana.

15.2 Proposta d'actuacions

1. Es proposa realitzar un dragatge del dic de recer, prioritzant la restitució a la cel·la de la platja d'Ocata amb codi MAMS055, i reduir la part que en el *bypass* es trasllada a les platges de ponent a un volum equivalent a les aportacions fluvials (uns 25.000 m³/any pel *bypass*)



Figura 87. Prioritat de destí en el dragatge a la cel·la fisiogràfica adjacent de la platja d'Ocata.

2. Es proposa dur a terme dragatges sobre el dic de recer amb una freqüència superior a l'actual (almenys dos cops a l'any) per evitar l'aterrament de la bocana.
3. Es proposa que, si la possibilitat d'emmagatzemament de la platja d'Ocata està esgotada, es passin les sorres per *bypass* a les platges de ponent del port. En aquest cas, la sorra de *bypass* en cap cas s'ha d'abocar directament a l'aigua ni a la platja del Masnou fins que no estigui estabilitzada. A més, caldrà buscar una cel·la estanca on hi hagi utilitat i permanència de la sorra. Les opcions més properes serien la platja dels Banys de Montgat, amb codi MAMO052, actualment denominada platja de les Roques, o inclús la platja de Montgat, ara denominada platja de les Barques, adjacent a l'espigó situat a l'inici de la cel·la MAMO053. Ja més retirada, hi ha l'opció d'abocament a la platja del Coco, amb codi BABDo44, o a la platja de Sant Adrià del Besòs, amb codi BAABo41.



Figura 88. Altres destins per a l'abocament de la sorra de dragatge.

4. En tots dos casos, l'abocament a la platja d'Ocata o bé en altres destins, caldrà un projecte d'abocament que avaluï la capacitat d'emmagatzematge de la platja de destí i la persistència de la sorra en aquell moment mitjançant un estudi de dinàmica litoral. També s'haurà de fer un estudi de compatibilitat mediambiental. A partir d'aquests estudis, que s'hauran de reproduir en cada intervenció, es determinaran els volums a dragar i a abocar en cada punt.
5. Quan s'hagi implementat una estratègia litoral de les platges a ponent del port del Masnou, serà el moment d'avaluar la redistribució de la sorra acumulada a la platja d'Ocata entre la resta de platges.
6. Mentre no s'executin obres d'estabilització de les platges de ponent, és efectiu el retorn a la cel·la d'Ocata i l'ús d'aquesta platja com a dipòsit per no perdre la sorra, sempre mantenint un volum de *bypass* equivalent a l'aportació fluvial (no més) per a evitar la sobreacumulació.
7. **Amb aquests punts existeix la possibilitat de modificar la Declaració d'Impacte Ambiental del port del Masnou per a una millor utilització de la sorra del dragatge i la reducció dels efectes negatius del port.**

16 Bibliografia

- Guillén, J., Serra, J., Duran, J. & Simarro, G. (2014). "Les platges del Maresme revisitades", *L'Atzavara* 23 (Roques, sorra i aigua).
- García, V. (2008). Anàlisi del funcionament de les obres relacionades amb la gestió del sediment en els ports i platges del Maresme. Tesi de màster, LIM-UPC.
- Font, X. & Gutiérrez, J. (2014). "Les rierades al Maresme". *L'Atzavara* 23 (Roques, sorra i aigua).
- Booij, N., Ris, R. & Holthuijsen, L. H. (1999). "A third-generation wave model for coastal regions: 1. model description and validation", *Journal of geophysical research: Oceans* **104**(C4), 7649–7666.
- Camus, P., Méndez, F. J., Medina, R., Tomás, A. & Izaguirre, C. (2013). "High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas", *Coastal Engineering* **72**, 56–68.
- Galappatti, G. & Vreugdenhil, C. (1985). "A depth-integrated model for suspended sediment transport", *Journal of Hydraulic Research* **23**(4), 359–377.
- González, M., Medina, R., González-Ondina, J., Osorio, A., Méndez, F. & Garcá, E. (2007). "An integrated coastal modeling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, SMC", *Computers & geosciences* **33**(7), 916–931.
- Holthuijsen, L., Booij, N. & Herbers, T. (1989). "A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents", *Coastal Engineering* **13**(1), 23–54.
- Houghton, J., Jenkins, G. & Ephraums, J. (1990). *Climate change: the IPCC scientific assessment*, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Houghton, J. T., Callander, B. A. & Varney, S. K. (1992). *Climate change 1992*, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IHCantabria (2013). *Cambio climático en España (C3E)* (document resum, informe tècnic), Ministerio de Ciencia e Innovación. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Kamphuis, J. W. (1991). "Alongshore sediment transport rate", *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* **117**(6), 624–640.
- Kirby, J. T. & Dalrymple, R. A. (1983). "A parabolic equation for the combined refraction–diffraction of stokes waves by mildly varying topography", *Journal of Fluid Mechanics* **136**, 453–466.
- Leggett, J., Pepper, W. J., Swart, R. J., Edmonds, J., Meira Filho, L., Mintzer, I. & Wang, M. (1992). "Emissions scenarios for the IPCC: an update", *Climate change* pp. 69–95.
- Losada, I., Izaguirre, C. & Díaz, P. (2014). *Cambio climático en la costa española* (document resum, informe tècnic), Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.
- Madsen, H., Pearson, C. P. & Rosbjerg, D. (1997). "Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events: 2. Regional modeling", *Water Resources Research* **33**(4), 759–769.
- Madsen, H., Rasmussen, P. F. & Rosbjerg, D. (1997). "Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events: 1. At-site modeling", *Water Resources Research* **33**(4), 747–757.

Meehl, G. A., Boer, G. J., Covey, C., Latif, M. & Stouffer, R. J. (2000). "The coupled model intercomparison project (CMIP)", *Bulletin of the American Meteorological Society* **81**(2), 313–318.

Nakicenovic, N., Alcamo, J., Grubler, A., Riahi, K., Roehrl, R., Rogner, H.-H. & Victor, N. (2000). *Special report on emissions scenarios (SRES), a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.

Roelvink, D., et al. (2009), *XBeach model description and manual*, Unesco-IHE Institute for Water Education, Deltares & Delft University of Technology.

Sánchez-Arcilla, A. & José A. Jiménez, H. I. V. (2008). *Estat de la zona costanera a Catalunya*, informe tècnic, Laboratori d'Enginyeria Marítima de la Universitat Politècnica De Catalunya.

Taylor, K. E., Stouffer, R. J. & Meehl, G. A. (2012). "An overview of CMIP5 and the experiment design", *Bulletin of the American Meteorological Society* **93**(4), 485–498.

Teh-fu, L. & Feng-shi, M. (1980). "Prediction of extreme wave heights and wind velocities", *Journal of the Waterway Port Coastal and Ocean Division* **106**(4), 469–479.

The Wamdi Group (1988). "The WAM model—a third generation ocean wave prediction model", *Journal of Physical Oceanography* **18**(12), 1775–1810.

Tolman, H. L. et al. (2009). *User manual and system documentation of WAVEWATCH III™ version 3.14*, nota tècnica, *MMAB Contribution* **276**, 220.

Tomás, A., Medina, R., Méndez, F. J., Jaime, F. F., Castellanos, O., Higuera, P., Fernández, F., Mínguez, R., Díaz-Hernández, G., Lara, J. & Ortiz, M. (2013). "Metodología para la elaboración de los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación costera en España (iOle)", a: XII Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Cartagena, Espanya.

US Army Corps of Engineers, U. (1984), *Shore protection manual* (informe tècnic), Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 2v.

Zijlema, M., Stelling, G. & Smit, P. (2011). "SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters", *Coastal Engineering* **58**(10), 992–1012.