

LITORAL

EFFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC
A L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA

Com les platges i els ports del
litoral metropolità es veuran
directament afectats per
l'escalfament global

ESTUDI:
Efectes del canvi climàtic al litoral de l'àrea metropolitana
de Barcelona

A. Sánchez-Arcilla, V. Gracia, J.P. Sierra, M. García-León
Laboratori d'Enginyeria Marítima (Universitat Politècnica de Catalunya)
Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners

Treball encarregat per:

Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB

El present document consisteix en una recopilació dels resums dels vuit estudis que s'han elaborat en el marc de l'Observatori Metropolità del Canvi Climàtic de l'AMB (METROBS) al llarg del 2014 i 2015. Els resums s'han redactat a partir dels esmentats estudis, però la seva presentació, organització i, en alguns casos, informació final, no coincideix exactament amb els estudis originals ni amb els documents de síntesi facilitats per alguns dels autors. L'objectiu final d'aquesta publicació és difondre aquests estudis de gran caràcter tècnic i valor científic entre els tècnics de les administracions i la ciutadania.

Autors dels l'estudis:

1. Temperatura

V. Altava-Ortiz, A. Barrera-Escoda, J. Amaro, J. Cunillera, M. Prohom i A. Sairouni
Servei Meteorològic de Catalunya (SMC).

2. Aigua

Josep Mas-Pla i Anna Menció Domingo
Institut Català de Recerca de l'Aigua i Grup de Recerca GAiA - Geocamb, Universitat de Girona.

3. Litoral

A. Sánchez-Arcilla, V. Gracia i J.P. Sierra
Laboratori d'Enginyeria Marítima (Universitat Politècnica de Catalunya).
Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners.

4. Illa de calor

Javier Martín-Vide, Víctor M. Artola, M. José Cordobilla, M. Carmen Moreno
(Grup de Climatologia, Universitat de Barcelona)
Marc Montlleó
(Barcelona Regional).

5. Verd urbà

R. Savé i C. Biel
Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA).

6. Edificació

Fundació Empresa & Clima (FEC). Amb la col·laboració de: BioQuat - Consultoria Energètica i Mediambiental, SL.

7. Inundacions

M. C. Llasat, M. Cortès, Ll. Falcón, J. Gilabert, M. Llasat-Botija, R. Marcos, J.P. Martín Vide i M. Turco
Grup GAMA. Departament d'Astronomia i Meteorologia (Universitat de Barcelona).

8. Economia

Amelia Díaz, Belén Noguera i Miquel Salgot
Institut de Recerca de l'Aigua (IdRA). Universitat de Barcelona.

El text original de tots els estudis es pot consultar a: www.amb.cat

Direcció:

Ana Romero Càlix,
Direcció de Serveis Ambientals. Àrea Metropolitana de Barcelona.

Redacció dels resums i coordinació:

Ana Villagordo

Disseny i maquetació:

La PAGE original

Correcció lingüística:

L'Apòstrof

Desembre 2016

L'àrea metropolitana de Barcelona: un territori vulnerable al canvi climàtic

L'administració que gestiona el territori metropolità, l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), integra 36 municipis amb una superfície total de 636 km² i una població de 3,3 milions d'habitants. Com altres regions del món, i especialment les mediterrànies, aquest territori està clarament afectat per les conseqüències del canvi climàtic, que tenen i tindran efectes sobre les persones a mitjà i llarg termini. Aquesta àrea, situada a l'entorn dels rius Besòs i Llobregat, la Serralada Litoral i el Mar Mediterrani, ja està patint els efectes del canvi climàtic, però com ho està fent? Quins són els vectors ambientals que més es veuran afectats i com? Com afectarà l'ecosistema i els seus ciutadans? Tota aquesta informació no s'havia treballat fins ara de manera conjunta i coordinada, i per tant no es comptava amb suficients *inputs* que alertessin o no sobre la vulnerabilitat de l'àrea metropolitana de Barcelona davant d'un fenomen tan global però amb efectes tan locals com és el canvi climàtic.

Un observatori metropolità del canvi climàtic (METROBS) per apropar el coneixement científic a la ciutadania en el marc de la planificació sostenibilista de l'AMB

En el marc del Pla de sostenibilitat de l'AMB 2014-2020 (PSAMB) i en les diferents iniciatives que l'AMB ha subscrit en matèria climàtica (estratègies de mitigació i Pla d'adaptació, Pacte d'alcaldes i alcaldesses per l'energia i el clima, etc.), destaca la mateixa Declaració pel clima de l'AMB, que potencia i amplia els seus compromisos amb l'objectiu de reduir el 40 % de les emissions de CO₂ el 2030 i la transició cap a un nou sistema energètic, a més de vetllar per la resiliència del territori.

El 2014 es va constituir l'Observatori Metropolità del Canvi Climàtic de l'AMB (METROBS), que sorgeix d'un conveni de col·laboració entre el Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC) i l'AMB i s'inclou dins el PSAMB. Aquest Observatori té com a principal objectiu ser una eina de govern transparent i de transferència de coneixement de les accions que es duen a terme en matèria de mitigació i adaptació al canvi climàtic i pretén ser un referent per a altres ciutats i àrees metropolitanes. És a dir, pretén vehicular la transferència d'informació i coneixement entre el món tècnic i la ciutadania.

Els primers 8 estudis impulsats des del METROBS en el període 2014-2016

Entre els anys 2014 i 2016 el METROBS ha generat 8 estudis d'experts en cadascuna de les matèries que es presentaran, per avaluar com el canvi climàtic afecta aquesta àrea urbana i com s'hi poden establir mesures d'adaptació. I ho ha fet en àmbits com la meteorologia, el cicle de l'aigua, el litoral, l'efecte illa de calor, el verd urbà, l'energia i el sector residencial, l'evolució de les inundacions en aquest territori i els aspectes més legals i econòmics relacionats amb el canvi climàtic.

El present document consisteix en una recopilació dels aspectes més destacables de l'estudi sobre litoral metropolità i la seva evolució, elaborat pel Laboratori d'Enginyeria Marítima (Universitat Politècnica de Catalunya) i el Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners. En l'estudi específic localitzat a la [pàgina web de l'AMB](#) es pot trobar informació detallada de la metodologia, les fonts i els resultats concrets de cada recerca.

El canvi climàtic és un fet cada vegada menys qüestionat. L'efecte d'hivernacle produït pels gasos alliberats per l'acció antròpica està causant, entre d'altres, un augment suau del nivell del mar i un canvi del clima d'onatge (altura d'ona, període i direcció).

El present estudi aborda els efectes del canvi climàtic sobre el litoral metropolità i la incidència sobre un dels seus sistemes territorials més importants des del punt de vista econòmic, ecològic i social. El comportament de la línia de costa compresa dins la regió de l'àrea metropolitana de Barcelona, ateses les seves característiques morfològiques, fa que els impactes del canvi climàtic puguin ser força diferenciats. També el diferent grau d'antropització dels trams fa que les mesures per reduir-ne la vulnerabilitat hagin de ser adaptades a les característiques específiques. Així doncs, per a l'estudi s'han triat trams diferenciats que puguin ser representatius de diferents ambients de platja i també s'han considerat els ports.

Els resultats s'han abordat en tres escenaris d'augment del nivell de mar. Considerant aquell que, malauradament, no sembla improbable amb l'actual ritme d'increment d'emissions, la gestió del risc és totalment necessària. Els processos seleccionats per determinar l'efecte del canvi climàtic en platges i ports són: l'erosió, la inundació, l'ultrapassament sobre els dics i l'agitació portuària.



DUES PLATGES I TRES PORTS METROPOLITANS, ELS ESPAIS ANALITZATS DEL LITORAL METROPOLITÀ

El comportament de la línia de la costa compresa dins la regió de l'àrea metropolitana de Barcelona, així com les seves característiques morfològiques, **fa convenient la selecció de dos trams de costa totalment diferenciats i que puguin ser representatius dels ambients de platja**. L'estudi s'ha centrat en els efectes de l'augment del nivell mitjà del mar i la possible variació del clima d'onatge en 2 platges (Gavà i Barceloneta) i 3 ports metropolitans (Port Olímpic, Port Fòrum i Port de Badalona).

Ubicació de les platges i ports analitzats en el present estudi sobre el litoral metropolità.



1. Platja de Gavà

↔ Longitud: 3,65 km.

📍 Ubicació: entre la platja de Castelldefels al sud i la de Viladecans al nord.

★ Destaca: platja exposada a les onades amb sistema dunar de 2 metres.

La platja analitzada té uns 3,65 km de longitud, representa l'arc de transició entre dos alineacions de la costa clarament diferenciades: una al sud (platja de Castelldefels), amb una orientació de N90E, i la platja de Viladecans al nord, amb un angle aproximat de N70E i, per tant, **conforma un sortint exposat a l'acció de les onades**. Alhora, la platja de Gavà es pot representar per un tram sud d'uns 1,7 km de llarg amb una orientació N83E i un altre al nord d'uns 1,95 km amb una orientació N76E. Per tant, ens trobem amb una platja exposada a les onades atesa l'orientació dels dos trams que la conformen.

El domini de càlcul té una longitud de 3.580 m i un ample de 3.890 m i es localitza entre el carrers de Llançà i Palafrugell al terme municipal de Gavà. La malla de càlcul és de tipus curvilini, de densitat variable i ha estat construïda a partir de la digitalització de cartes nàutiques i dades cartogràfiques de l'AMB a escala 1:1000.

A la zona d'interès, entre la zona de trencament de l'onatge i el sistema dunar de 2 m com a màxim de cota de coronació, la densitat de malla és màxima i de 4x10 metres. Les zones urbanitzades (cases, carretera i altres infraestructures) són considerades zones rígides que no poden ser erosionades.

2. Platges de Sant Sebastià i Barceloneta

↔ Longitud: 1,175 km.

📍 Ubicació: entre el Port de Barcelona i l'Espigó del Gas.

★ Destaca: els temporals solen erosionar la zona emergida de manera irreversible, de manera que es fa necessària una alimentació periòdica.

Aquestes platges es localitzen entre el Port de Barcelona i l'Espigó del Gas, i tenen una longitud aproximada de 1.175 metres amb un ample variable entre 72 i 16 metres de platja emergida. La batimetria marca unes isòbates irregulars en els primers 10 metres de profunditat tenint en compte el complex patró de corrents *nearshore* existents, originat per la presència d'obstacles d'origen antropogènic (dic d'abric del Port de Barcelona).

La malla escollida, com en el cas de Gavà, és de tipus curvilini per tal de caracteritzar de forma adequada la variabilitat morfològica. Morfològicament, la zona d'estudi és una platja encaixada amb obstacles laterals a les vores i un dic exempt d'uns 157 metres de llarg i 23 metres d'ample.

El pendent de la platja és intermedi. El perfil d'equilibri estacional es manté a causa de l'elevada mida de gra que presenta el sediment. No obstant això, els temporals més forts erosionen irreversiblement la zona emergida, de manera que és necessària una alimentació artificial periòdica.

Aquesta platja és especialment vulnerable a l'acció combinada de les onades de temporal i nivells del mar alts a causa de la seva condició de platja baixa. El fet que a la zona els temporals d'onatge (episodis on es mobilitza la majoria del sediment) presentin una direcció ENE i NE fa que les platges tinguin una tendència a recolzar-se al sud. Per a la platja de Sant Sebastià, això suposa una potencial acumulació de sediments en el dic de recer del Port de Barcelona, amb la consegüent possible pèrdua de material per aquest extrem.

3. Port de Badalona



-  Superfície: 300.000 m²
-  Mirall d'aigua: 202.000 m².
-  Capacitat: 617 amarradors.
-  Destaca: excessiva agitació interior atesa l'orientació de la bocana cap a garbí.

El port de Badalona, ubicat al municipi del mateix nom, està arrecerat per un dic de dos trams, perpendiculars entre ells, de 150 i 700 m de longitud. La superfície total del port és de 300.000 m² amb 202.000 m² de mirall d'aigua i capacitat per a 617 amarradors.

Segons els Pla de ports 2007-2015 de la Generalitat de Catalunya (2007), el port té problemes operatius per l'excessiva agitació interior, motivada per l'orientació de la bocana cap a garbí.

4. Port del Fòrum



-  Superfície: 255.031 m²
-  Mirall d'aigua: 164.737 m².
-  Capacitat: 501 amarradors.
-  Destaca: problemes d'agitació interior i d'ultrapassaments en casos de grans tempestes.

El Port Fòrum o Port del Besòs està situat al municipi de Sant Adrià de Besòs i consta d'un dic de recer de 803 m de longitud orientat paral·lelament a la línia de costa. Té una bocana de 8 m de calat i una superfície total de 255.031 m², dels quals 164.737 m² són de mirall d'aigua, i acull fins a 501 embarcacions. Aquest port, des de la seva entrada en servei l'any 2005, ha mostrat freqüents problemes d'agitació interior, a més d'ultrapassaments en casos de grans tempestes.

5. Port Olímpic



-  Superfície: 180.175 m²
-  Mirall d'aigua: 82.533 m².
-  Capacitat: 740 amarradors.
-  Destaca: problemes d'ultrapassaments durant grans tempestes i d'aterraments a la bocana.

El Port Olímpic, situat a Barcelona davant de la vila Olímpica, a la ciutat de Barcelona, té un dic amb dues alineacions, una de recta i perpendicular a la costa de 320 m i una de corba de 550 m. A més té un contradic perpendicular a la costa de 160 m de longitud. Aquest port té una superfície total de 180.175 m², dels quals 82.533 m² són de mirall d'aigua, i una capacitat de 740 amarradors. En l'actualitat pateix problemes d'ultrapassaments durant les grans tempestes i d'aterraments a la bocana a causa de la dinàmica de la platja adjacent pel sud (platja del Somorrostro) que pot reduir el seu calat fins a 3 m.

QUINES SÓN LES VARIABLES QUE PERMETEN VALORAR SI LES PLATGES ESTAN ESSENT O NO AFECTADES PEL CANVI CLIMÀTIC?

Tot i que, segons els models globals, les pujades del nivell del mar a la Mediterrània podrien ser una mica inferiors a les globals, el fet de ser una àrea densament poblada i ocupada la fa especialment sensible.

En el cas del litoral metropolità, el creixement urbà experimentat els darrers 40 anys ha afectat intensament la costa amb àrees com les de Gavà, Castelldefels, on els habitatges i serveis ocupen espais abans inundables. D'altra banda, el fenomen de retrocés de la línia de costa a causa de la disminució de la manca d'aportacions sedimentàries (per exemple, en el cas del Prat de Llobregat) és encara un risc a considerar al qual ara s'afegeix el canvi climàtic.

Les variables de referència per estudiar el canvi climàtic a les platges són l'erosió-acumulació i la inundabilitat.

Els principals riscos analitzats són l'erosió-acumulació de sediments i la inundabilitat. S'analitza la situació actual, així com la situació futura tenint en compte diferents escenaris climàtics (vegeu l'informe 1 sobre Clima de la present col·lecció): el moderat, on es compleixen els compromisos de París, que suposa un increment del nivell del mar proper als 0,50 m per al 2100; el més pessimista, on no es compleix cap compromís de reducció d'emissions, en el qual l'increment del nivell del mar serà proper als 0,90 m per al 2100, i el *high-end*, l'escenari climàtic més desfavorable i que suposa un increment del nivell del mar de gairebé 1,80 m per al 2100. S'han analitzat els efectes amb diferents períodes de retorn per veure la sensibilitat de l'impacte.

El canvi climàtic, doncs, afecta el litoral de diverses maneres:

- D'una banda, l'**erosió-acumulació**: aquesta és considerada com el **canvi morfològic de les platges ocasionat per l'acció d'un onatge incident**. Aquest procés té en compte un gran rang, tant d'escalas espacials com temporals. En aquest informe, però, **s'ha tingut en compte l'erosió-acumulació de caire episòdic, donada per esdeveniments extrems**, els temporals. Aquesta restricció és conseqüència del fet que aquests episodis són els responsables de més del 90 % del transport de sediment potencial.
- De l'altra banda, la **inundació**. En aquest cas, aquesta ve definida per l'**ocupació transitòria de la zona emergida per una làmina d'aigua que pot esdevenir perjudicial per als éssers vius, infraestructures i/o ecosistemes, tenint en compte el seu calat i/o la seva velocitat**. Normalment, els períodes de màxima inundació estan associats als mateixos esdeveniments extrems que l'erosió episòdica. En aquest estudi, doncs, s'ha considerat com a àrea inundada tota aquella zona on la làmina d'aigua supera els 5 cm durant un mínim de 15 minuts. **En escenaris de canvi climàtic, la inundació ve donada per dos components: un component estàtic (increment de la pujada del nivell del mar) i un component dinàmic, relacionat amb l'onatge**.

► 2100

Moderat 	+0,47 m	
Pessimista 	+0,88 m	
High-end 	+1,80 m	

I QUINES SÓN LES VARIABLES EN EL CAS DELS PORTS? COM ELS AFECTA EL CANVI CLIMÀTIC?

Les variables de referència per estudiar el canvi climàtic als ports són l'agitació interior i l'ultrapassament del dic de recer.

Per agitació interior s'entén l'altura d'ona significant (Hs) que es registra a cada punt de l'interior del port. Per avaluar-la, l'onatge del clima mitjà s'agrupa per direccions i rangs d'altura d'ona (0-1 m, 1-2 m, 2-3 m, 3-4 m i >4 m), que determinen la freqüència de presentació de cada onatge, per a condicions present i futures. Cadascun d'aquests onatges es propaga cap a l'interior del port mitjançant un model numèric d'agitació portuària, el LIMPORT, que permet calcular l'altura de l'ona a cada punt del port. Multiplicant les altures obtingudes per a cada onatge per la seva freqüència de presentació, s'obté la Hs de mitjana (esperada) anual a cada punt del port, per a condicions presents i futures. Comparant-les totes dues, es pot estimar la magnitud del canvi de l'agitació en el futur.

Per ultrapassament s'entén el cabal d'aigua que passa per sobre del dic de recer com a conseqüència del trencament de les ones i la remunta que es produeix sobre aquest dic. La magnitud d'aquest cabal es determina utilitzant les fórmules empíriques incloses al *Manual europeu d'overtopping* (EurOtop). A l'estudi s'ha assumit que l'onatge no varia en el futur i s'han definit els valors tolerables d'ultrapassament per a cada port, en funció de les activitats que es porten a terme al costat interior del dic de recer i considerant que no es permeten activitats ni la presència de vianants a les àrees exposades durant les grans tempestes. Tenint en compte això, s'han considerat uns cabals d'ultrapassament tolerables de 10 l/s/m al Port Olímpic i al Port de Badalona i un cabal de 200 l/s/m al Port del Besòs. És així perquè, als dos primers ports, hi ha embarcacions amarrades al moll adossat, mentre que a l'últim no hi ha res de valor darrere el dic de recer i aquest valor és el que correspon al flux que podria produir danys en l'estructura.

ESCENARIS DE CANVI CLIMÀTIC I LA SEVA AFECTACIÓ AL LITORAL METROPOLITÀ

El nivell del mar i l'onatge ens permeten dibuixar models sobre l'afectació del canvi climàtic a la zona litoral

En relació amb el nivell del mar, els valors que dona l'IPCC són valors mitjans globals. Si bé encara no hi ha projeccions detallades a escala regional, sí que es pot dir que a l'informe de l'IPCC (2013) **els mapes de pujada del nivell del mar indiquen que les projeccions per a la Mediterrània mostren inicialment pujades lleugerament inferiors a les mitjanes globals, de fins al 10 % de diferència.** Tenint en compte aquesta reducció de l'ordre del 10 % a la Mediterrània en relació amb la pujada mitjana global, els escenaris considerats en aquest estudi són:

- Escenari actual: condicions actuals.
- Escenari baix: que coincideix amb el moderat definit a l'estudi 1 de la present col·lecció dedicat a clima (acord de París) i que consisteix en l'escenari actual més 0,47 metres.
- Escenari mitjà: que coincideix amb l'escenari més pessimista a l'estudi 1 de la present col·lecció dedicat a clima (no s'assoleix cap reducció d'emissions) i que consisteix en l'escenari actual més 0,88 metres.
- Escenari alt: que seria l'escenari extrem HES, consistent en l'escenari actual més 1,80 metres, per l'augment de la fusió de les glaceres.

Pel que fa a l'onatge, es consideren dues grans bases de dades:

- **la base de dades present que representa l'estat actual.**
- **i la base de dades futura, obtinguda a partir de les projeccions obtingudes amb models numèrics fins a l'any 2100,** que reflecteix els canvis en la intensitat, període i direcció de les ones com a resultat de l'efecte hivernacle.

Aquest segon conjunt de dades han estat generades amb el model WAM a partir de l'escenari més pessimista en el qual no es redueixen les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Aquesta base conté simulacions de les condicions d'onatge entre 1950 i 2100 amb una resolució temporal de 3 h.

1. Afectació en el cas de les platges.

El canvi climàtic a les platges de Gavà i Sant Sebastià-Barceloneta intensificarà l'erosió i la inundabilitat de totes dues platges. Els canvis més grans s'identifiquen a la platja de Gavà, de més baixa cota i de caire dissipatiu. Per al cas de la platja de Sant Sebastià, la incertesa és més gran, ja que en funció de la direccionalitat de l'onatge els resultats varien notablement.

Concretament en el cas de les **platges de Gavà** l'anàlisi de l'erosió i inundació ha estat realitzat considerant 4 direccions diferents: SE, SSE, S i SSW, d'acord amb el règim d'onatge incident. Cada sector direccional s'ha modelat amb 3 categories de període de retorn: 1, 5 i 50 anys i 4 escenaris de pujada del nivell del mar a l'any 2100: sense canvis (0 cm), escenari moderat (47 cm), escenari pessimista (88 cm) i escenari *high-end* (180 cm). De manera esquemàtica, els efectes del canvi climàtic per a aquesta platja en concret seria:



- A l'escenari moderat (increment de 47 cm del nivell del mar el 2100), el factor dominant tant per inundació com erosió esdevé el nivell mitjà del mar. La influència dels diferents sectors direccionalis perd transcendència un cop la pujada del nivell del mar guanya en importància. Aquesta tendència ve donada pel **comportament dissipatiu que presenta aquesta platja**. Cal esmentar, però, que la principal línia de defensa de la platja, **el cordó dunar existent, no és superat, fins i tot amb alts períodes de retorn (50 anys), per la qual cosa es conclou que el sistema dunar actual té capacitat resistent per suportar nivells de fins a 47 cm**.
- A l'escenari pessimista (increment de 88 cm del nivell del mar el 2100), la línia de defensa dunar anterior és superada a la part nord i a la part central de la platja quan l'onatge incident és de SSW, amb un període de retorn de 50 anys. En aquest cas particular, es pot produir ultrapassament al cordó dunar. Amb aquestes condicions hidrodinàmiques, el cordó pot estar parcialment o totalment col·lapsat en certes zones puntuals. No obstant això, tal com es pot veure amb la resta d'onatges, tant d'altres sectors com de magnituds inferiors, **la reposició de la zona dunar present implicaria una configuració de platja que, si bé tindria un ample de platja insuficient des del punt de vista recreatiu, seria encara capaç d'assolir la funció de protecció del hinterland present**.
- En l'escenari *high-end*, la pujada prevista del nivell del mar (1,80 m) suposa una alçada suficient per col·lapsar el cordó dunar en la seva totalitat. **Per a totes les direccions, la platja és totalment inundada i la urbanització a primera línia de mar és inundada**. La part nord, que ja era parcialment inundada sota l'escenari anterior amb els onatges més extrems, ara és inundada amb calats importants amb ones de menor magnitud. En aquest cas, poc probable, però possible, el nivell del mar és l'agent hidrodinàmic principal.

En el cas de la **platja de Sant Sebastià i Barceloneta**, l'anàlisi de l'erosió i inundació ha estat dut a terme considerant 3 direccions diferents: E, ESE i SE, d'acord amb el règim d'onatge. Cada sector direccional s'ha modelat amb 3 categories de període de retorn: 1, 5 i 50 anys, com en el cas de les platges de Gavà, i 4 escenaris de pujada del nivell del mar, també coincidents amb les platges de Gavà, esmentats prèviament.

En aquest cas es tracta d'una platja amb un sediment més gruixut, i per tant, el **comportament de la platja no és tan dissipatiu**. Les tres estructures existents (Espigó del Gas a la part nord, dic exempt a la part central i dic de recer del Port de Barcelona) tanquen la cel·la litoral.

Com a conclusió dels efectes sobre aquestes platges, es preveu que el sector direccional on es mostra una afectació més important per a la inundació i l'erosió és el sector est, seguit del sector ESE. El sector SE, a més de tenir onatges de magnitud inferior, entraria dins d'un sector en el qual els obstacles presents actuen com a elements de protecció.

En relació amb els escenaris:



- Amb un nivell del mar com l'actual, la part central del tómbol (que es crea en la zona d'ombra del dic exempt) és la part més protegida envers la inundació d'origen marí. La franja d'alts calats (superior a 1 metre) està focalitzada als punts més sensibles de les subzones nord i sud. La zona sud, com que és molt més ampla i oberta, permet una entrada més important de flux de massa hidrodinàmic i, per aquesta raó, els calats són superiors propers a la vora del mar.



- A l'escenari moderat, es pot apreciar que en el cas de l'onatge de l'est, la làmina d'inundació arriba a posicions semblants en la part nord, però amb calats notablement més alts. A la part central també es localitza un increment de la zona afectada, així com la seva magnitud. No obstant això, a la part sud, tenint en compte l'increment del nivell, el flux hidrodinàmic arriba terra endins, amb calats de l'ordre de 20-40 cm prop de la zona límit. Els onatges dels sectors ESE i SE mostren una menor inundació que el cas E, i els patrons d'erosió-sedimentació es comporten de forma proporcional.



- A l'escenari pessimista, l'increment del nivell del mar de 0,88 m a l'any 2100 implica que la zona inundada pels temporals de llevant guanya en magnitud, amb calats que superen 1,5 metres en gran part de la zona emergida. La subzona nord té un ample de platja pràcticament nul i la subzona sud pateix erosions en gran part de la seva extensió. El material erosionat roman a profunditats semblants que els casos amb menors increments del nivell del mar (de 0 a -3 m), malgrat existir-hi més mobilització.



- En l'escenari *high-end* (1,8 metres), **la totalitat de la platja és inundada per al cas de llevant**. Un important flux de massa entra dintre del barri de la Barceloneta, superant la darrera línia de defensa en tot el tram sud. Els calats superen els 2 metres a gran part de la zona emergida. Tal com passava amb els altres casos, el sediment queda retintut entre les isobates 0 i -3 m. En el cas d'ESE, la part nord queda totalment inundada, a més de tenir un ample de platja final pràcticament nul. No obstant això, a la part sud, la làmina d'aigua no supera el límit de la platja emergida. Fins i tot amb aquests alts nivells del mar, el percentatge d'àrea inundada amb el cas d'onatge SE està en una situació intermèdia entre el temporal de llevant sense pujada del nivell del mar i amb un escenari moderat.

Si tan sols es consideren els efectes de l'augment del nivell del mar, s'observa com les platges de Sant Sebastià i Barceloneta experimenten un retrocés d'11 m, 21 m i 43 m per als escenaris moderat, pessimista i *high-end* de pujada del nivell mitjà del mar.

2. Afectació en el cas dels ports.

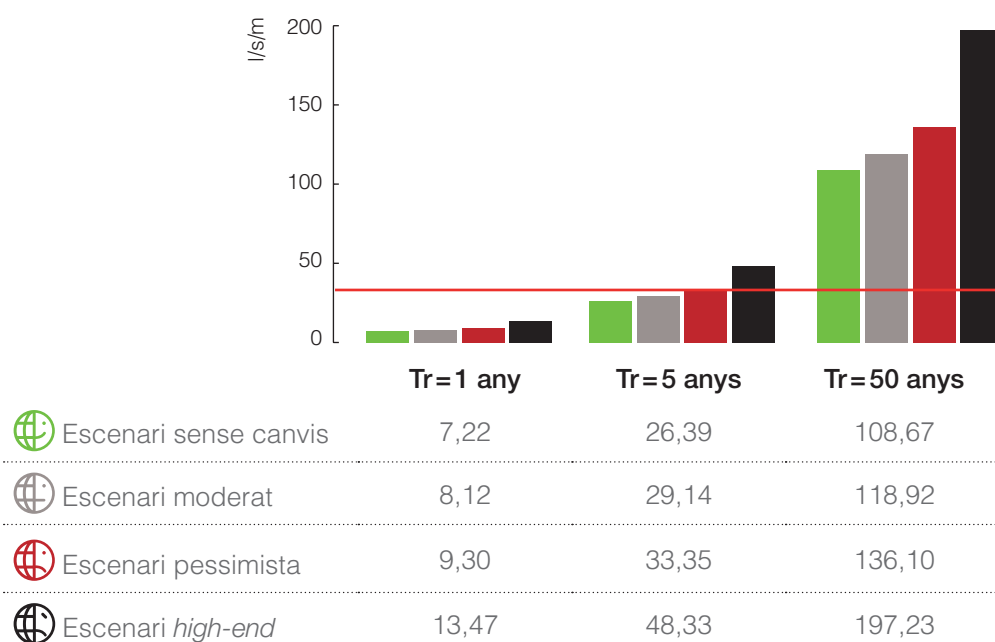
En el cas dels ports el canvi climàtic comportarà canvis en els cabals d'ultrapassament i en els patrons de propagació de l'onatge i, per tant, en l'agitació portuària. Tot això afectarà l'explotació portuària, tant en confort com en impacte.

En el cas del port Olímpic.

Es pot apreciar que en la situació actual ja s'excedeix el límit tolerable en el cas de tempestes fortes o excepcionals, tal com s'ha constatat en la realitat. Els diferents escenaris d'increment del nivell del mar aniran empitjorant la situació. Mereix un esment especial l'escenari 3 (pujada del nivell del mar d'1,80 m), ja que pràcticament duplica els cabals d'ultrapassament per a tots els períodes de retorn i, fins i tot, en el cas de les tempestes freqüents ($Tr = 1$ any), donaria lloc a fluxos que excedirien l'ultrapassament tolerable.

Si es té en compte la pujada del nivell del mar dels tres escenaris considerats, es pot comprovar que a mesura que augmenta el nivell del mar, s'amplifica la penetració de les ones a dins del port i, per tant, l'agitació. Això és degut al fet que, en incrementar-se el nivell del mar, augmenta la profunditat i, per tant, la longitud d'ona de l'onatge incident que, com a conseqüència, en difractar-se ho farà amb coeficients de difracció més grans. Per tant, a nivell del mar més elevat, agitació més elevada.

Ultrapassament al port Olímpic.



Tr correspon a període de retorn. La línia horitzontal vermella indica el cabal tolerable.

En el cas del port del Fòrum.

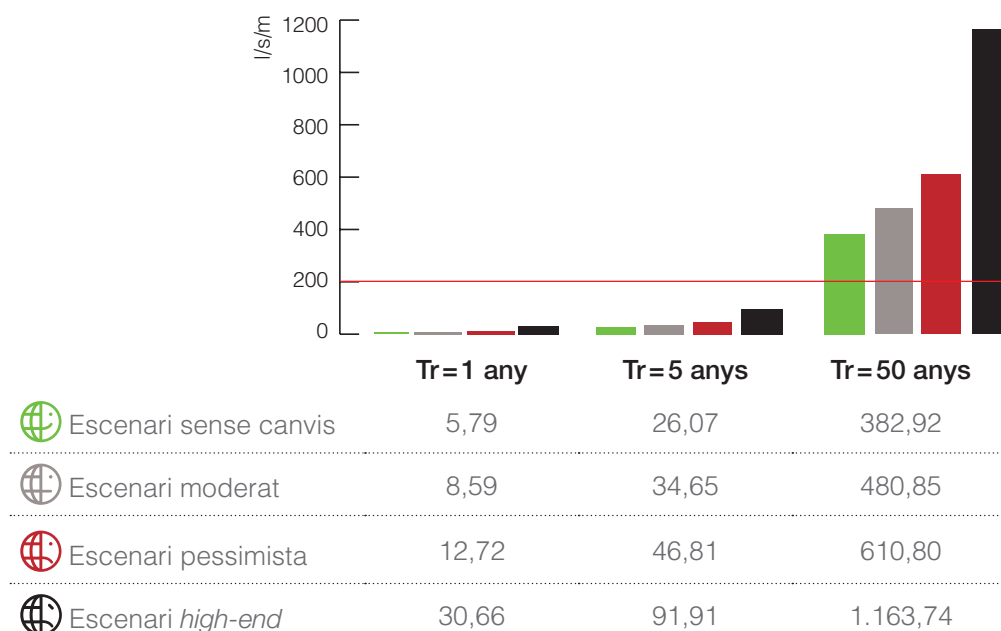
El port del Besòs, per la seva cota de coronació relativament baixa, té cabals d'ultrapassament bastant més grans. No obstant això, com que no hi ha activitats darrere del dic de recer, l'ultrapassament admissible és molt més gran (200 l/s/m) i només s'excedeix en el cas de tempestes excepcionals i per als quatre escenaris. Cal esmentar que l'escenari 2 (augment del nivell de 0,88 m) pràcticament duplica l'ultrapassament de la situació present, mentre que l'escenari 3 quadruplica o quintuplica (segons el període de retorn) els cabals actuals.

En els casos en els quals els canvis es deuen només a la modificació dels patrons d'onatge, s'observa que la Hs disminueix lleugerament a gran part del port, encara que hi ha àrees on l'agitació augmenta. Aquests comportaments oposats s'expliquen per la complexitat dels processos de propagació de l'onatge a dins del port, principalment la reflexió de l'onatge. La mitjana per a tot el port resulta en una certa disminució de l'agitació, de l'ordre del 4 %.

Un augment del nivell del mar de 0,47 m produeix una reducció addicional de l'alçada de l'ona, sobretot a la dàrsena més interior del port. Aquesta disminució s'explica perquè els processos de *shoaling* i refracció produeixen una Hs menor i, en aquest cas concret, aquesta reducció predomina sobre l'efecte de la difracció, que tendeix a amplificar l'agitació.

En el cas de pujades superiors del nivell del mar, l'efecte de la difracció s'imposa als altres processos i, a mesura que el nivell del mar és més alt, l'agitació a l'interior del port és més gran, i destaca el cas d'un increment del nivell d'1,80 m, que dona lloc a un augment important de la Hs a tot el port.

Ultrapassament al port Fòrum.



Tr correspon a període de retorn. La línia horitzontal vermella indica el cabal tolerable.

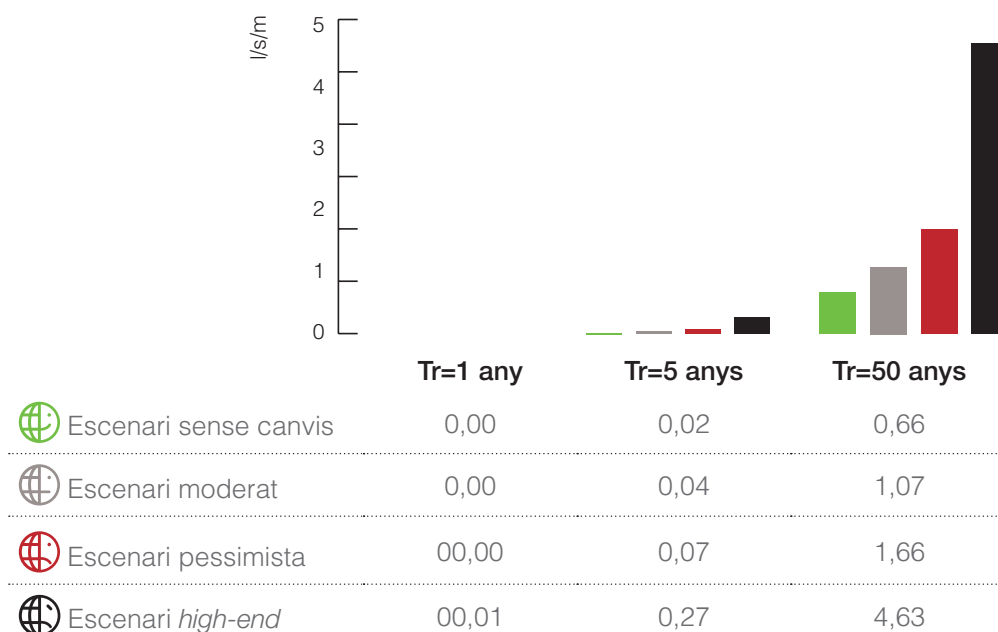
En el cas del port de Badalona.

Per la seva elevada cota de coronació, és el que està més ben preparat per fer front a l'ultrapassament, tant en les condicions actuals com en les futures. Es pot comprovar que per a tempestes freqüents o d'intensitat mitjana, els fluxos d'aigua per sobre del dic de recer són negligibles. En el cas de tempestes excepcionals, si bé per al escenari pessimista s'incrementa significativament l'ultrapassament, aquest es manté per sota del límit tolerable (10 l/s/m). Per tant, es pot concloure que, des del punt de vista de l'ultrapassament, el port de Badalona no necessitarà mesures d'adaptació.

Al port de Badalona, el comportament futur de l'agitació, si no hi ha pujada del nivell mitjà del mar, és completament diferent que en els dos casos anteriors, amb increments de Hs a tot el port. En aquest cas concret, això és degut als canvis en la distribució direccional futura de l'onatge, ja que l'augment de les freqüències de les ones de l'ENE, E i ESE genera més ones reflectides als espigons situats a prop de la bocana del port. Aquest espigons són els que protegeixen el sobreeixidor del carrer de la Mar Jònica.

Una pujada extrema d'1,8 m faria que predominessin els efectes de la difracció i, per tant, s'incrementaria notablement l'agitació a l'interior del port.

Ultrapassament al port de Badalona.



Tr=1 any. Tr són tempestes freqüents.

RESILIÈNCIA AL CANVI CLIMÀTIC AL LITORAL METROPOLITÀ: SOLUCIONS FLEXIBLES I ADAPTADES

Les estratègies d'adaptació/mitigació analitzades a les dues platges consisteixen a implementar un sistema dunar amb alçades variables (entre 1 o 2 m) més dics exempts flexibles de 140 m de longitud. D'ambdues estratègies, l'estudi conclou que l'eficiència del sistema dunar ha estat superior, tant en temes d'inundabilitat com en conservació de volum de sorres per a la zona emergida.

La zona litoral és un ambient altament dinàmic que respon a les escales de temps i espai dels agents impulsors. **Les característiques específiques de cada platja fan que la seva gestió s'hagi de fer de forma particularitzada.**

Per a les platges, el ventall d'alternatives possibles és molt ampli. Per això, **s'han prioritzat actuacions que tenen per missió defensar el rereplatja de la inundació** i alhora poden servir com a font de sediment al sistema, sense repercutir negativament a les platges adjacents. **Aquestes alternatives es corresponen amb un cordó dunar i alimentació de sorres.**

Les alternatives "rígides" es reserven a casos particulars per a les platges encaixades de Sant Sebastià i Barceloneta.

En el cas dels ports i també per a les platges properes, les principals línies de futur a desenvolupar serien:

- L'ús de solucions flexibles (com ara dics vegetals) per reduir l'impacte del canvi climàtic en platges i ports.
- L'ús de barreres parcials que es puguin activar quan hagi d'arribar la tempesta per protegir les platges d'erosió i inundació i també per reduir l'ultrapassament dels ports.
- La gestió "intel·ligent" del litoral considerant la previsió climatològica, l'augment del nivell del mar i la minva creixent del sediment disponible.

