

Efectes del canvi climàtic sobre el litoral de Barcelona

Una recopilació dels estudis existents



Ajuntament de Barcelona

Gerència Municipal
Oficina Estratègica de l'àmbit litoral

Medi Ambient i Serveis Urbans – Ecologia Urbana
Barcelona Cicle de l'Aigua, SA
Direcció de platges

BR

BARCELONA
REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ



Crèdits



**Ajuntament
de Barcelona**

Gerència Municipal

Oficina Estratègica de l'Àmbit Litoral

Medi Ambient i Serveis Urbans – Ecologia Urbana

Barcelona Cicle de l'Aigua, SA

Direcció de platges

Redacció



Carrer 60, 25-27. Edifici Z, Planta 2
Sector A, Zona Franca. 08040 Barcelona

T 932 237 400

www.bcnregional.com

br@bcnregional.com

Coordinació

Marc Montlleó, *Director de Medi Ambient i Eficiència Energètica*

Equip redactor

Gemma Conde, *ambientòloga*

Adrián Cabezas, *ambientòleg*

Arnau Lluch, *biòleg*

Marc Cadevall, *geògraf*

Victoria Sol, *ambientòloga*

Daniel Lorca, *projectista*

i l'equip tècnic i administratiu de Barcelona Regional

© 2021, Barcelona Regional

Imatges portada i separadors © Ajuntament de Barcelona

Icones © thenounproject.com

Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i la coberta, no pot ser copiada, reproduïda, distribuïda, transformada, emmagatzemada o transmesa de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació, de fotocòpia o per altres mètodes, sense l'autorització prèvia per escrit dels titulars de la seva propietat intel·lectual.

Document actualitzat al desembre 2021

Contingut

Objectiu del treball	5
Paper dels oceans en el sistema climàtic	6
Efectes del canvi climàtic en els oceans	8
Benchmarking. Estratègies de les ciutats litorals davant el canvi climàtic	11
Boston (Estats Units)	12
Edgemere. New York City (Estats Units)	13
New York. Desing Planning For Flood Resilience	14
Miami Beach (Estats Units)	15
Qingdao (Xina)	15
Venècia (Itàlia)	16
Països Baixos	18
Delta de l'Ebre. Estratègia de prevenció i d'adaptació al canvi climàtic	20
Àrea Metropolitana de Barcelona. Projecte «Dunes Híbrides»	21
Situació del Mediterrani respecte a d'altres oceans i mars	22
El litoral de Barcelona	25
Un àmbit en permanent transformació	25
Estabilització de platges. Evolució dels darrers anys	27
El litoral: la vulnerabilitat de la confluència de dos mons	30
Efectes del canvi climàtic a l'entorn del litoral de Barcelona	34
Increment del nivell del mar	34
Increment i canvi de direcció de l'onatge	41
Increment de les tempestes i episodis extrems	45
Increment de la temperatura	49
Disminució de l'O ₂ de l'aigua	55
Acidificació de l'aigua marina	59
Increment de l'evapotranspiració i de la salinització	61
Salinització dels aqüífers costaners	62
Increment de les descàrregues al litoral provocades per les inundacions	63
Efectes sobre les infraestructures i equipaments estratègics del litoral	64
Efectes sobre la biodiversitat	70
Addenda: informe del grup intergovernamental d'experts sobre el canvi climàtic (IPCC), agost 2021	88
Principals valoracions de l'informe	90
Projeccions en el mediterrani	92
Conclusions i recomanacions	97
Taules resum	100
Bibliografia	105



Objectiu del treball

Els mars i oceans exerceixen un paper clau en la mitigació del canvi climàtic, ja que actua com un dels grans embornals de CO₂ del planeta, emmagatzemant-lo als fons dels nostres oceans a través de processos físics, químics i biològics. Tanmateix, l'increment en les emissions i l'excés de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera poden posar en risc el funcionament correcte d'aquest sistema i desequilibrar el sistema climàtic, reduir el potencial mitigador dels mars i oceans i fins i tot un cop superat cert punt crític, fent que esdevinguin un element potenciador del canvi climàtic.

La història de Barcelona ha estat lligada íntimament al mar Mediterrani. El paper que va tenir l'activitat comercial mediterrània en la generació dels recursos i la diversificació social que va comportar, va permetre la construcció i la consolidació de Barcelona. Aquest creixement de la ciutat ha provocat que la línia de costa s'hagi anat transformant al llarg del temps i hagi passat d'un paisatge de llacunes i maresmes a un paisatge fortament antropitzat, amb predomini d'instal·lacions industrials al segle XIX, fins a arribar a un front urbà consolidat com el que tenim avui en dia. L'obertura de Barcelona al mar realitzada en els darrers 40 anys, ha comportat per a la ciutat disposar de més de 133 ha d'espai lliure en forma de platges i els parcs litorals, i que esdevinguin l'espai públic més utilitzat de la ciutat.

El litoral de Barcelona ens aporta molts serveis ambientals: regula el clima, protegeix les infraestructures i la ciutat que hi ha darrere les platges, s'utilitza per al lleure, etcètera. Però per aprofitar tots els serveis ambientals que ofereix el litoral, és imprescindible tenir-ne cura i mantenir les masses d'aigua marina en condicions per al bany, mantenir els ecosistemes marins en condicions òptimes i donar a conèixer a la població la vulnerabilitat de l'ecosistema marí i les accions que es poden emprendre per mantenir i millorar el seu estat.

La ciutat de Barcelona n'és conscient del paper que tenen els oceans i els mars en aquest procés global de canvi climàtic i la vulnerabilitat de la franja litoral davant dels seus efectes. És per això que l'Ajuntament de Barcelona ha inclòs en el **Pla Clima de Barcelona 2018–2030** una línia d'actuació adreçada a conservar el Mar (amb 14 mesures). També la Declaració d'Emergència Climàtica, aprovada el gener del 2020 ha inclòs accions destinades a l'entorn marí i litoral.

Per altra banda, la ciutat disposa del **Pla Estratègic Litoral (2018-2028)**, eina principal per a dur a terme accions i projectes per fer un litoral més adaptat als canvis, sostenible i arrelat a la ciutat. El Pla, elaborat conjuntament per l'Oficina Estratègica de l'àmbit litoral de Barcelona i Barcelona Regional, té una visió integral i transversal que permet copsar-ne les fortaleses, febleses, amenaces i oportunitats d'aquest territori. El Pla es desplega a través de 61 projectes, dels quals 15 són prioritaris i d'aquests un d'ells és el projecte Un litoral preparat per fer front al canvi climàtic. És precisament en el marc d'aquest projecte, on s'han desenvolupant estudis com els dels Serveis ecosistèmics del litoral de Barcelona (2020), s'ha creat un Grup d'Experts de platges (2021) o el present estudi dels efectes del canvi climàtic (2021).

En aquest context, l'objectiu d'aquest treball és analitzar els efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona, amb una mirada a altres escales: entorn metropolità, català i de conca mediterrània. Cal destacar que aquest treball es basa en la recopilació dels diversos estudis realitzats. No inclou cap modelització específica o treball concret per aquest estudi. Consisteix en tenir una recopilació de tota la informació existent per veure quins són els principals efectes que el litoral de Barcelona haurà d'afrontar en un futur més o menys proper.

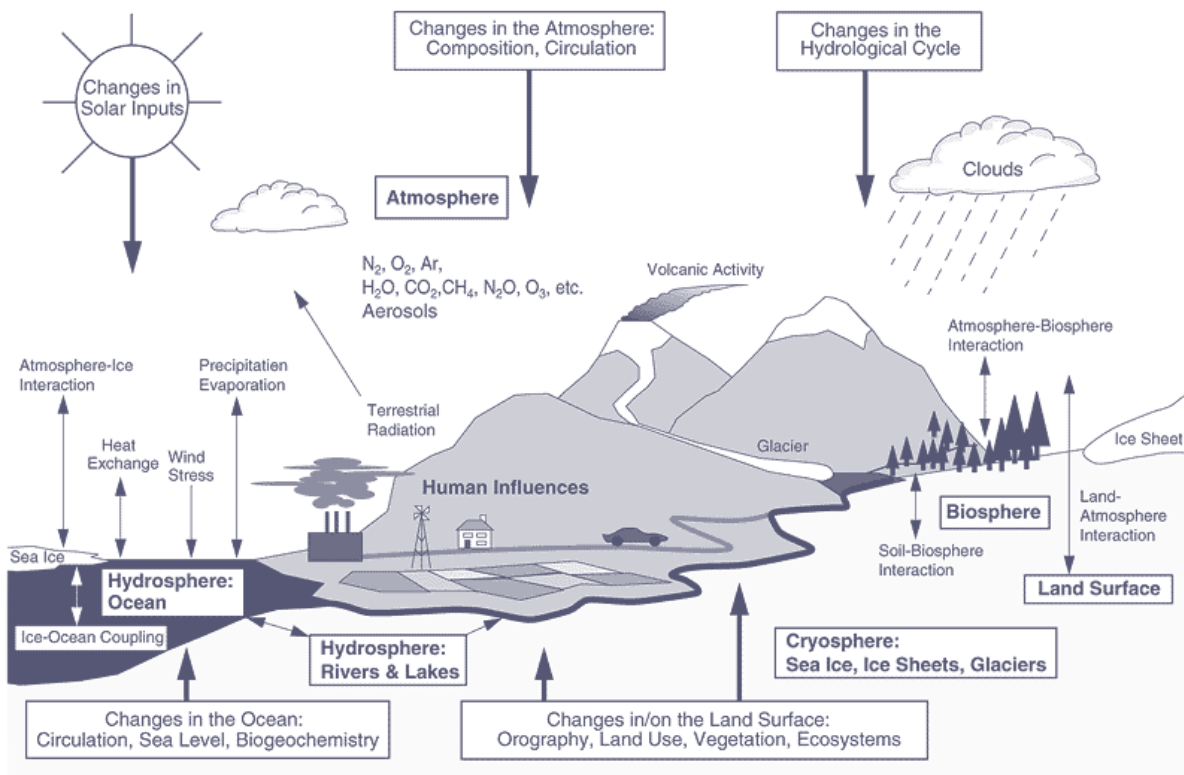
Paper dels oceans en el sistema climàtic

El sistema climàtic està format per l'atmosfera, la hidrosfera, la biosfera i la geosfera i les seves interaccions (*Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic*, signat a Rio de Janeiro l'any 1992). Aquestes interaccions són molt rellevants a l'hora de determinar l'evolució climàtica que té el sistema climàtic.

L'atmosfera, el sòl, els oceans, la superfície de l'aigua, la superfície coberta pel gel i la neu, i la vegetació i altres éssers vius a l'oceà i al sòl, estan fortament acoblats. Aquests acoblaments produeixen els mecanismes de retroacció o feedback, que poden tenir un efecte amplificador o un efecte d'esmoreïment en el clima.

L'atmosfera terrestre és el component més important del sistema climàtic, així com el més variable en el temps i l'espai, amb un temps característic de resposta que va de dies a setmanes. L'atmosfera té una massa de $5,14 \times 10^{18}$ kg, que és relativament petita en comparació amb la massa de la hidrosfera ($1,39 \times 10^{21}$ kg) i de la litosfera ($5,98 \times 10^{24}$ kg).

Imatge 1 Vista esquemàtica dels components del sistema climàtic global (negreta), els seus processos i interaccions (fletxes primes) i alguns aspectes que poden canviar (fletxes negretes).



Font: TAR Climate Change 2001: The Scientific Basis. IPCC, 2001

La hidrosfera és l'altre gran subsistema climàtic, ja que absorbeix la major part de la radiació solar incident (els oceans cobreixen aproximadament el 70 % de la superfície de la Terra) i, per la seva gran massa i capacitat calorífica, constitueix una ingent reserva d'energia solar.

A diferència de l'atmosfera, el temps de resposta de la hidrosfera és a molt més llarg termini. A causa de la inèrcia dels oceans i els mars, aquests són com un element regulador de la temperatura, que actua des d'una escala estacional (és a dir, de mesos) fins a una escala de segles i mil·lennis. L'oceà és un element climàtic essencial, com ho demostra el fet que la meitat de l'energia que es transporta de l'equador cap als pols prové del moviment dels oceans.

L'atmosfera i els oceans estan fortament acoblats i interaccionen en moltes escales espacials i temporals, intercanviant energia, vapor d'aigua i velocitat (a través de la precipitació i l'evaporació o amb l'acció del vent). Tanmateix, la circulació de l'aigua dels oceans és molt més lenta que la circulació atmosfèrica, i segueix uns patrons de moviment que es mantenen durant molt temps.

A dia d'avui s'estima que els oceans han absorbit el 90 % de l'excés de calor generat al sistema climàtic¹. La major part d'aquesta calor, ha estat absorbida per l'oceà superior (de 0 a 700 m de profunditat), mentre que els increments de temperatura a l'oceà profund (>700 m de profunditat) són força menors.

Això ha suposat que es dupliqui la taxa d'esclafament de l'aigua dels oceans, que augmenti la freqüència de patir onades de calor marines, que es produeixi una acidificació de les aigües superficials degut a l'absorció de gran quantitat de CO₂ i que hagi augmentat el nivell del mar a causa de la fusió dels casquets polars i de la pròpia expansió tèrmica de l'aigua.

Així doncs, els mars i oceans són uns dels principals protagonistes del canvi climàtic, ja que actuen de forma lenta sobre el clima però imparabile. A diferència del sistema atmosfèric, que té menys inèrcia, els oceans quan arribin al seu màxim d'absorció, desprendran tota la calor emmagatzemada de manera continua i constant per un llarg període de temps.

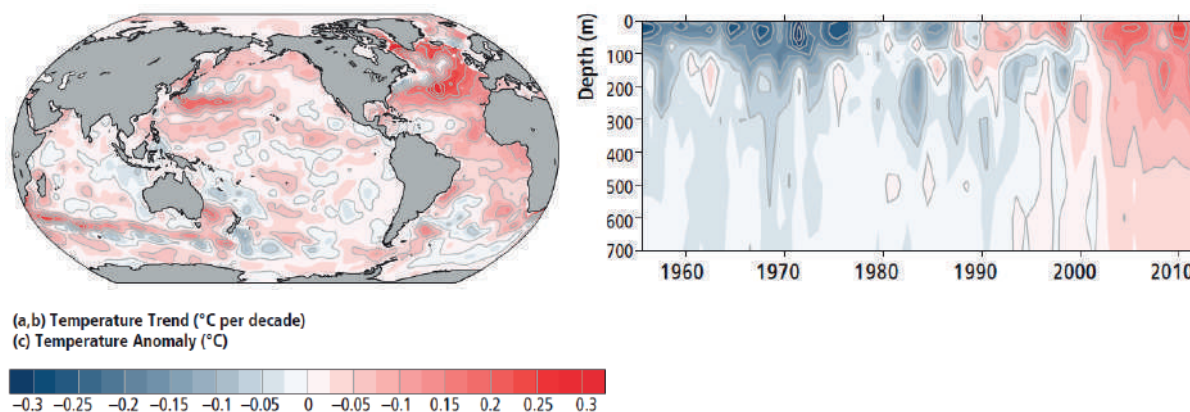
¹ IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)].

Efectes del canvi climàtic en els oceans

Les temperatures dels oceans han augmentat des de principis del segle XX, i especialment en els darrers 30 anys. Aquests canvis han comportat àmplies variacions espacials i estacionals, així com increment dels esdeveniments extrems a les aigües costeres (AR5, IPCC, 2014).

S'estima que durant el període 1971–2010 la capa superior del oceà (des de la superfície fins els 700 metres de profunditat) s'ha escalfat de manera inequívoca. Aquest escalfament és major prop de la superfície, sumant més de 0,1 °C per dècada en els primers 75 m. L'escalfament decreix amb la profunditat i arriba fins als 2.000 m.

Imatge 2 Tendència de temperatura mitjana de 0 a 700 m de profunditat entre 1971 i 2010 (esquerra) i anomalia de temperatura mitjana global en relació amb la mitjana 1971-2010.



Font: Hoegh-Guldberg, O., R. Cai, E.S. Poloczanska, P.G. Brewer, S. Sundby, K. Hilmi, V.J. Fabry, and S. Jung, 2014: The Ocean. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1655-173

Per altra banda, el nivell mig del mar a nivell global ha augmentat en 0,19 m en el període 1901–2010. S'ha detectat una acceleració de la tasa d'augment en les dues darreres dècades: el nivell global mitjà de la mar ha augmentat 1,7 mm/any en el període 1901–2010 i 3,2 mm/any entre 1993 i 2010.

El pH de l'aigua oceànica ha decrescut 0,1 des del començament de l'era industrial, que correspon a un augment del 26 % de concentració d'ions hidrogen.

Els efectes d'aquest increment de les temperatures generalitzades són amplis i notoris. Per exemple, s'associa la decoloració que estan experimentant alguns coralls. En els últims 30 anys, gran part dels esculls de coral han sofert un augment de l'emblanquiment massiu i de la mortalitat, impulsats principalment per l'escalfament global. A més, l'acidificació de l'oceà redueix la taxa de calcificació dels corals i altres organismes.

El canvi climàtic també ha provocat un desplaçament dels límits i rangs de distribució de moltes espècies intermareals. L'escalfament de l'oceà ha contribuït als canvis observats en la distribució d'hàbitats costaners, com els aiguamolls, manglars i prades submarines. La major inèrcia tèrmica de l'oceà fa que les anomalies de temperatura i els extrems siguin inferiors a les observades a terra, però un elevat nombre d'evidències revelen que petites quantitats d'escalfament a l'oceà poden tenir grans efectes sobre els ecosistemes oceànics. L'augment de la temperatura del mar presenta desafiaments per als organismes i ecosistemes, ja que intenten migrar a regions més fredes a mesura que l'oceà continua escalfant-se.

Des de l'IPCC s'ha projectat diversos escenaris globals utilitzant *Vies de Concentració Representatives* (*Representative Concentration Pathways, RCP*) que simulen escenaris climàtics futurs utilitzant sèries d'emissions de gasos d'efecte hivernacle, aerosols, compostos químics i ús del sòl. En tots els escenaris climàtics contemplats, les oceans i mars s'escalfaran. Aquest procés continuarà durant segles a causa de les llargues escales temporals de la transferència de calor entre la superfície i l'oceà profund, fins i tot si les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle decreixen o es mantenen constants.

El pitjor escenari, que consisteix en continuar amb el ritme d'emissions actual (RCP8.5), preveu un augment mitjà de la temperatura global del planeta de 3,2–5,4 °C per a l'any 2100.

En el cas dels oceans, en un escenari RCP8.5 el pH disminueix a 7.7, el nivell del mar augmentaria fins a 0,8 metres, la temperatura de la superfície de augmentaria 3 °C i l'oxigen disminuiria més d'un 4 %.

També es preveu que la circulació termohalina atlàntica s'afeblirà al llarg del segle XXI entre un 1 i 24 % en l'escenari RCP2.6 i entre un 12 i 54 % en l'escenari RCP8.5. És molt improbable que sofreixi una transició abrupta en el segle XXI en els escenaris considerats.



Benchmarking. Estratègies de les ciutats litorals davant el canvi climàtic

Les ciutats litorals de tot el món estan rebent els efectes del canvi climàtic de forma més accentuada, ja que a la franja litoral hi incideixen els efectes provinents del món terrestre (augment de la temperatura, canvis en els patrons de precipitació, més freqüència d'episodis climàtics extrems, etc) i els efectes del món marí (increment del nivell del mar, canvi en els patrons de l'onatge, increment de tempestes, augment de la temperatura de l'aigua, etc).

Actualment gran part de les ciutats litorals estan buscant com redefinir la seva relació amb el litoral, tant des del punt de vista urbanístic, ambiental, social i de gestió. I moltes d'elles estan prenent mesures per adaptar-se als efectes del canvi climàtic a través d'estratègies, polítiques i projectes encaminats a esdevenir entorns urbans més resilents.

Les estratègies adoptades per aquestes ciutats són diferents, ja que no totes elles tenen els mateixos impactes i/o magnituds d'aquestes i a més, parteixen de situacions actuals i de condicionants diferents. Així doncs les diferents estratègies conformen un ventall ampli, on algunes ciutats intenten adaptar el seu litoral als canvis que vindran en el futur, mentre que altres enfoquen la seva estratègia a mesures de protecció per intentar preservar el màxim possible la situació actual. Al mateix temps, algunes ciutats opten per mesures estructurals més dures o altres utilitzen mesures inspirades amb la natura.

Cal ser conscients que moltes d'aquestes propostes sovint no són exportables directament a Barcelona, ja que les condicions de contorn no són equiparables, o en altres casos són propostes que no s'han executat o concretat en projectes executius. I els executats cal veure com es comporten al llarg del temps.

Alguns són plans, per tant estan en l'esfera de la planificació estratègica o són posteriors a respostes a grans tempestes i han servit per fer reflexionar i ampliar imaginaris, però cal ser curosos amb el que s'ha executat, com ha perdurat en el temps i fer seguiment de la seva evolució per poder valorar-les en la justa mesura i extreure'n aprenentatges valuosos.

A continuació es mostra un benchmarking de les estratègies que han adoptat diferents ciutats litorals del món.

Boston (Estats Units)

Imatge 3 Zones afectades per temporal i increment del mar en el 2070 (T=100 anys)



Font: Pla Resilient Boston Harbor City of Boston

En resposta a la creixent amenaça de l'augment del nivell de la mar present a la costa de Boston, la ciutat ha desenvolupat el *Pla Resilient Boston Harbor*. En aquest pla, s'analitzen quines són les zones més afectades de la ciutat en un temporal (en un període de retorn de 100 anys, a l'any 2070). Amb un increment del nivell del mar mig d'1 metre, més els efectes del temporal, la ciutat té analitzat quines són les zones més afectades.

Per tal de protegir aquestes zones més exposades als temporals i l'augment de el nivell de la mar, s'està creant una xarxa d'espais verds oberts i accessibles al llarg de tota la costa, connectat d'aquesta manera, la ciutat amb la seva costa. A més a més, també es preveu protegir els edificis més exposats a les inundacions.

Imatge 4 Zones d'actuació del Pla Resilient Boston Harbor



Font: Pla Resilient Boston Harbor City of Boston

Aquest projecte, que té un horitzó de 30 anys, farà la ciutat més resilient i menys vulnerable als impactes del canvi climàtic, protegint llars i les infraestructures creant una ciutat més habitable. A més a més, l'augment de zones verdes reduirà l'efecte d'illa de calor urbana i millorarà la qualitat de l'aire, així com proporcionar espais per als residents de la ciutat per a una vida sana i més activa.

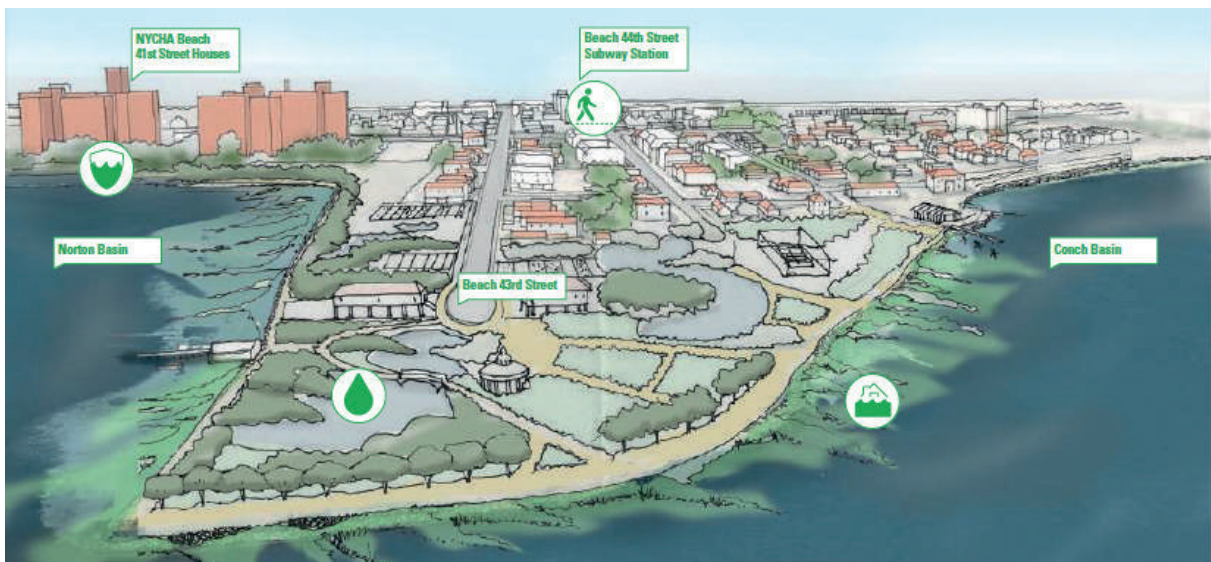
Edgemere. New York City (Estats Units)

El barri costaner d'Edgemere, a la ciutat de Nova York, encara pateix les seqüeles del temporal Sandy de l'any 2012. En la actualitat, s'enfronta a l'amenaça continua d'inundacions a mesura que augmenta el nivell de la mar. Per abordar aquests desafiaments socials i d'infraestructura, els propis membres de la comunitat van participar en el desenvolupament del *Pla Comunitari Resilient Edgemere*. Aquest pla integral inclou l'adaptació climàtica del barri, abordant els riscos d'inundacions i tempestes costaneres, al mateix temps que promou el compromís a llarg termini entre la ciutat i la comunitat.

El *Pla Comunitari Resilient Edgemere* té com a objectiu crear resiliència a llarg termini protegint els 5.235 residents de les inundacions i temporals. El Pla inclou 62 iniciatives durant els propers 5, 10 i 15 anys. Algunes iniciatives inclouen:

- Trasllat de llars i la provisió d'oportunitats de reubicació.
- Mitigació del risc d'inundacions mitjançant la construcció d'una línia costanera elevada.
 - Transformació de les àrees costaneres en parcs i aiguamolls.

Imatge 5 Visió a llarg termini del *Pla comunitari resilient Edgemere*



Font: Resilient Edgemere Community Plan

New York. Desing Planning For Flood Resilience

La franja costanera de Nova York està formada per parcs, platges, passejos marítics i àrees naturals. Aquestes zones són sovint les primeres defenses contra el canvi climàtic.

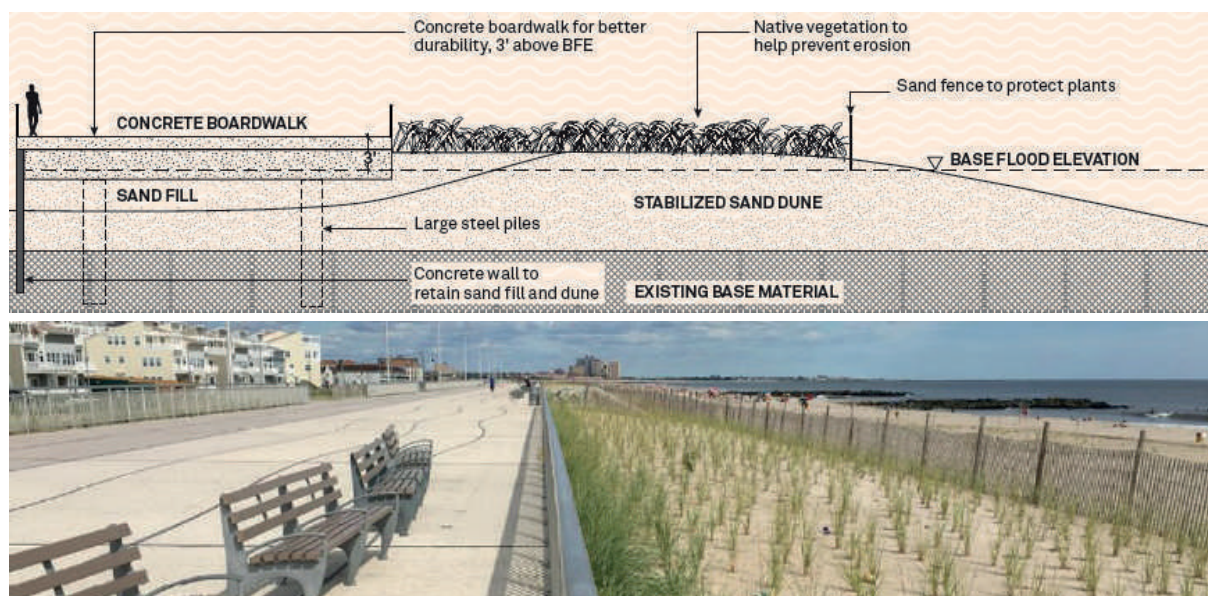
New York ha elaborat una guia on estableix unes pautes per garantir que el front litoral protegeixi la ciutat que té darrera davant dels futurs esdeveniments costaners i davant les adversitats d'un clima canviant. Aquesta guia ofereix exemples pràctics i recomanacions, relacionats sobretot amb el disseny de l'espai públic, amb la finalitat de protegir la ciutat davant les inundacions i temporals.

D'entre les diferents mesures i recomanacions que recull la guia, destaca la regeneració i la creació de dunes. Consisteix en la regeneració de platges i dunes per tal de recuperar la sorra i sediments perduts a causa dels processos d'erosió. Al regenerar les platges i crear dunes, la línia de costa guanya amplitud i altura, protegint d'aquesta manera contra els temporals i l'acció de les onades. Així mateix, les dunes poden acollir vida vegetal, els sistemes d'arrels protegeixen contra l'erosió, al mateix temps que fomenten l'establiment de l'ecosistema.

Algunes recomanacions:

- Reconèixer les platges i les dunes com a sistemes complexos que canvien amb el temps. Analitzar l'àrea complerta de litoral abans de realitzar modificacions puntuals a la costa.
- Utilitzar vegetació pròpia de sistemes dunars que contribueixin a la deposició de sorra.
- Reforçar els ecosistemes propers a les dunes, ja que les dunes són sistemes mòbils que necessiten espai per poder migrar.
- Utilitzar tancat perimetral per tal de protegir la duna i la vegetació present.

Imatge 6 Creació de dunes amb vegetació al passeig marítim de Rockaway Beach (New York)



Font: Design and Plannig for Filod Resiliency

Miami Beach (Estats Units)

La ciutat costera de Miami Beach es caracteritza per una topografia baixa i una franja extensa de litoral, amb uns 100 km de costa. Aquestes característiques fan que Miami sigui força vulnerable als temporals i a les mareas, esdeveniments que seran incrementats en el futur pel canvi climàtic i l'augment del nivell del mar. Per combatre aquesta problemàtica, des de 2014 la ciutat ha començat a implementar un programa d'adaptació a l'augment del nivell del mar. Per reduir el risc d'inundacions, aquest programa inclou:

- Convertir el sistema d'aigües pluvials (basat en la graveta) a un sistema basat en bombes. S'han instal·lat 80 bombes d'aigües pluvials.
- Elevar els dics i carreteres 1 metre amb la finalitat de fer transitables les infraestructures varies durant els períodes de mareas altes.
- Restauració dels sistemes naturals amb plantes endèmiques per reduir les marejades ciclòniques.

Algunes d'aquestes mesures, ja estan experimentant millores substancials durant els esdeveniments d'inundacions que ha sofert la ciutat de Miami.

Qingdao (Xina)

L'augment del nivell de la mar, juntament amb la creixent intensitat i freqüència dels tifons, presenta una amenaça cada vegada més gran per a la ciutat de Qingdao. En un intent per desenvolupar una estratègia d'adaptació climàtica efectiva contra les inundacions costaneres, la ciutat s'ha associat amb una universitat local per desenvolupar un model de sistema de risc costaner que combina factors naturals i humans per proposar una estratègia que redueixi el risc en un 80 % durant la dècada vinent.

En comparació amb altres grans ciutats xineses, aquesta ciutat localitzada a la costa est, té una població de 5,5 milions d'habitants. S'estima que per a 2070, més de 600 mil milions de dòlars en actius estaran exposats a inundacions costaneres com a resultat de l'augment del nivell de la mar induït pel canvi climàtic. Per assegurar que les estratègies d'adaptació climàtica a la ciutat estan dirigides a les zones correctes, la ciutat ha desenvolupat un model de sistema de risc costaner a gran escala.

Aquest model ha elaborat mapes i ha quantificat les inundacions costaneres a la ciutat, simulant diverses estratègies d'adaptació que la mateixa ciutat podria emprar per combatre els pitjors impactes del canvi climàtic. Aquesta eina permet identificar les àrees prioritàries on dirigir-se amb majors mesures d'adaptació. El model no només inclou projeccions sobre aspectes naturals com el nivell de la mar, tempesta marejades i tifons, sinó que també inclou factors socioeconòmics, com el creixement de la població i el desenvolupament urbà.

Imatge 7 Front marítim de la ciutat de Qingdao durant una tempesta



Font: Cities100, 2019

Venècia (Itàlia)

La ciutat de Venècia està patint des de fa anys les conseqüències del canvi climàtic (inundacions, gran pujada del nivell de la mar i erosió costanera entre altres efectes). Per defensar-se d'aquests efectes, la ciutat de Venècia està duent a terme diverses accions en l'àmbit de la mitigació i adaptació al canvi climàtic.

El document *Venice Climate Future* elaborat l'any 2014 constitueix l'esquema preliminar per al desenvolupament del pla d'adaptació al canvi climàtic. Aquest document descriu les diferents àrees que seran abordades en el futur, destacant algunes intervencions ja implementades en alguns punts de la ciutat. L'augment de la freqüència d'alguns fenòmens com el d'aigua alta o les pluges extremes, semblen estar relacionats directament amb el canvi climàtic. A més, el canvi climàtic pot afectar negativament els hàbitats de les llacunes, la biodiversitat i la disponibilitat de recursos d'aigua potable.



Alguns dels objectius que persegueix aquest pla són:

- La seguretat de la ciutat enfront de les mares i les inundacions.
- El manteniment de la morfologia de la llacuna i les platges.
- Conservació de la biodiversitat a la llacuna.
- La millora del cicle de l'aigua.

Imatge 8 Barrera a l'entrada de Chioggia

Font: <https://www.mosevenezia.eu/>

Sistema de dics «MOSE»

Es tracta d'una obra d'enginyeria concebuda en la dècada dels 80, però iniciada l'any 2003, i finalment provat el passat mes de juliol del 2020 amb la finalitat de protegir la ciutat de Venècia i de la seva llacuna del fenomen de mareas també anomenat *acqua alta*. Aquest sistema de dics mecànics, formades per 78 comportes grogues d'unes 300 tones i 60 metres ancorades a una construcció de formigó en el fons, s'activen per un sistema automàtic en casos de marea alta, erigint-se en les tres entrades de la llacuna (Malamocco , Lido i Chioggia), creant una barrera entre aquesta i el mar.

Aquest sistema va ser utilitzat per primera vegada el dia 3 d'octubre amb la finalitat de contenir les inundacions provocades per la pujada de la marea. La previsió màxima de pujada de la marea oscil·lava al voltant dels 125 cm, però, gràcies a la posada en marxa del sistema de dics, va aconseguir frenar aquesta pujada aconseguint només els 70 centímetres.

Així mateix, el canvi climàtic és un dels principals aspectes de discussió entre els venecians en relació al fenomen de *acqua alta*, a causa de les greus conseqüències que comporten la pujada del nivell de la mar a l'illa. D'aquesta manera, el projecte MOSE permetrà frenar la pujada de la marea i mantenir llocs emblemàtics com la plaça de Sant Marc i la seva basílica fora de perill.

Països Baixos

Els Països Baixos, amb una costa de 350 km de longitud, nou milions de residents que viuen a les zones costaneres, està altament exposat al risc d'inundacions costaneres. L'erosió experimentada de la costa, causada tant per processos naturals com per intervencions humanes, dutes a terme a la conca dels últims segles, s'agreuja amb les previsions actuals d'augment del nivell de la mar.

La política costera impulsada pel govern holandès ha estat vinculat a protegir el litoral davant les inundacions i l'augment del nivell del mar. En aquest sentit, els Països Baixos han adoptat un enfocament relativament nou, conegut com «construir amb la natura» que fa ús de la dinàmica de l'entorn natural enfocat en els processos naturals, com el projecte *Sand Motor* (motors de sorra) o la *Restauració d'ecosistemes dunars*.

Projecte «Sand Motor»

El projecte pilot *Sand Motor* consisteix en una gran aportació única de sorra, portada a cap per primera vegada l'any 2011 a la costa de Delfland, al sud dels països baixos. En aquesta zona es realitza aportacions periòdiques de sorra des de la dècada dels 90 per combatre l'erosió costera i l'augment del nivell del mar.

El motor de sorra és una intervenció innovadora per protegir la zona costera dels impactes que produeixen l'augment del nivell del mar. Es depositaran aproximadament 21,5 milions de metres

Imatge 9 Projecte *Sand Motor* a la costa sud dels Països Baixos



Font: <https://dezandmotor.nl/en/>

cúbics de sorra, formant una península en forma de ganxo de 128 ha. La pròpia dinàmica costera s'encarrega de distribuir la sorra al llarg de tota la costa. D'aquesta manera s'evita realitzar una aportació continua de sorra que suposa l'alteració de l'ecosistema.

Des de la seva construcció, l'arena s'ha estès gradualment al llarg de la costa i s'ha creat nous hàbitats per a la flora i la fauna, a més d'oferir noves oportunitats recreatives.

Restauració de ecosistemes dunars

Els Països Baixos alberguen al voltant de l'17 % de les dunes protegides per la Xarxa Natura 2000. Avui en dia, les dunes són l'única defensa al llarg de la costa holandesa, que no estan protegides per dics. I aquesta funció és cada vegada més important, a mesura que la crisi climàtica provoca que el mar sigui cada vegada més impredecible.

Els Països Baixos són més vulnerables a l'increment del nivell de la mar que la resta de països ja que es troben una cota menor sobre el nivell de la mar. Per tal de preservar, restaurar i enfortir els ecosistemes dunars d'aquest país, va néixer el projecte *LIFE dunes* finançat per la Unió Europea. Aquest projecte, ha dut a terme activitats de restauració de dunes en diferents punts de país, com és el cas de la ciutat de Den Haag, on les dunes funcionen com a veritables dics de protecció contra les inundacions i on només es fixen amb plantacions monoespècífiques de borró.

Imatge 10 Regeneració de dunes i plantacions de borró (*Ammophila arenaria*) a la ciutat de Den Haag



Font: © AMB

Delta de l'Ebre. Estratègia de prevenció i d'adaptació al canvi climàtic

Per tal de protegir i restaurar la integritat dels sistemes ambientals del Delta de l'Ebre davant dels efectes del canvi climàtic, la Generalitat de Catalunya ha impulsat una estratègia d'adaptació, on proposa un seguit de possibles mesures d'adaptació generals i específiques.

Com a mesures generals a l'àmbit de tot el Delta, destaquen les següents mesures:

- No intervenir, és a dir, a acceptar a nivell territorial l'ascens del nivell del mar i la pèrdua dels terrenys costaners.
- Redefinició gestionada de la línia de costa.
- Mantenir la línia de costa mitjançant l'aplicació de mesures dures.
- Guanyar-li terreny al mar.
- Mesures de mitigació amb intervenció limitada.

I com a mesures específiques:

- Mesures de lluita contra els efectes de la pujada del nivell del mar mitjançant la formació de sistemes dunars. Aquestes mesures plantegen des de dos punts de vista principals:
 - Formació de sistemes dunars a partir de l'aportació de terres.
 - Actuacions de potenciació dels sistemes dunars, a partir de la ubicació de captadors de sorra en els terrenys adequats. Això implica la disponibilitat de terreny lliure i òptim per a la seva formació.
- Mesures encaminades a l'abandonament progressiu de les àrees urbanes en zones de risc.
- Mesures complementàries com la construcció de motes de protecció o esculleres a l'interior del delta per tal de protegir de la pujada del nivell del mar.
- Regeneració de platges a partir de l'aportació de sorres acumulades que s'hagin pogut acumular en estructures, infraestructures i altres elements que dificultin la dinàmica natural de la sorra.

Garantir el lliure moviment de la sorra i afavorir la protecció global del sistema costaner.

Àrea Metropolitana de Barcelona. Projecte «Dunes Híbrides»

A les platges metropolitanas del Llobregat s'han recuperat antigues dunes i reforçat les existents, gràcies en part al Projecte Dunes Híbrides. A més, s'hi ha sembrat borró (*Ammophila arenaria*) i altres espècies, i s'ha acordonat bona part d'aquestes dunes per evitar l'impacte de persones i animals de companyia com els gossos. En aquest sentit, la protecció perimetral és clau per permetre la colonització i el recobriment de la vegetació psammòfila i, de retruc, el foment de la biodiversitat.

El projecte *Dunes Híbrides* és el fruit de la col·laboració entre l'AMB i el projecte europeu OPERAs; un projecte finançat per la UE orientat a fer operatius els conceptes dels serveis ecosistèmics. Aquest projecte s'ha centrat a les platges públiques metropolitanas al delta del Llobregat pel fet que la resta de les platges de l'àrea metropolitana de Barcelona mai han tingut dunes a causa de la seva configuració, on la sorra té diàmetres superiors als 500 µm, de forma que és massa gruixuda com per poder ser transportada pel vent. Les platges del delta del Llobregat tenen granulometries entorn els 300 µm i hi ha registre fotogràfic històric de dunes construïdes pel vent.

El canvi climàtic i la utilització massiva de les platges per a la població metropolitana ha produït que la generació de dunes de forma natural no es produeixi de la mateixa manera que fa anys. Així, aquesta iniciativa busca donar un ajut artificial per a la recuperació d'aquest ecosistema. D'aquí el concepte de dunes híbrides.

Disposar d'aquetes dunes permet ubicar una mesura natural de defensa als efectes de les tormentes, que es preveu que incrementaran en els propers anys.

Així mateix, la Guia de Gestió de Dunes Metropolitanas que forma part del projecte *Dunes híbrides*, inclou una sèrie d'instruccions per actuar a les zones dunars per mantenir i millorar el seu estat.

Imatge 11 Generació de noves dunes



Font: © AMB

Situació del Mediterrani respecte a d'altres oceans i mars

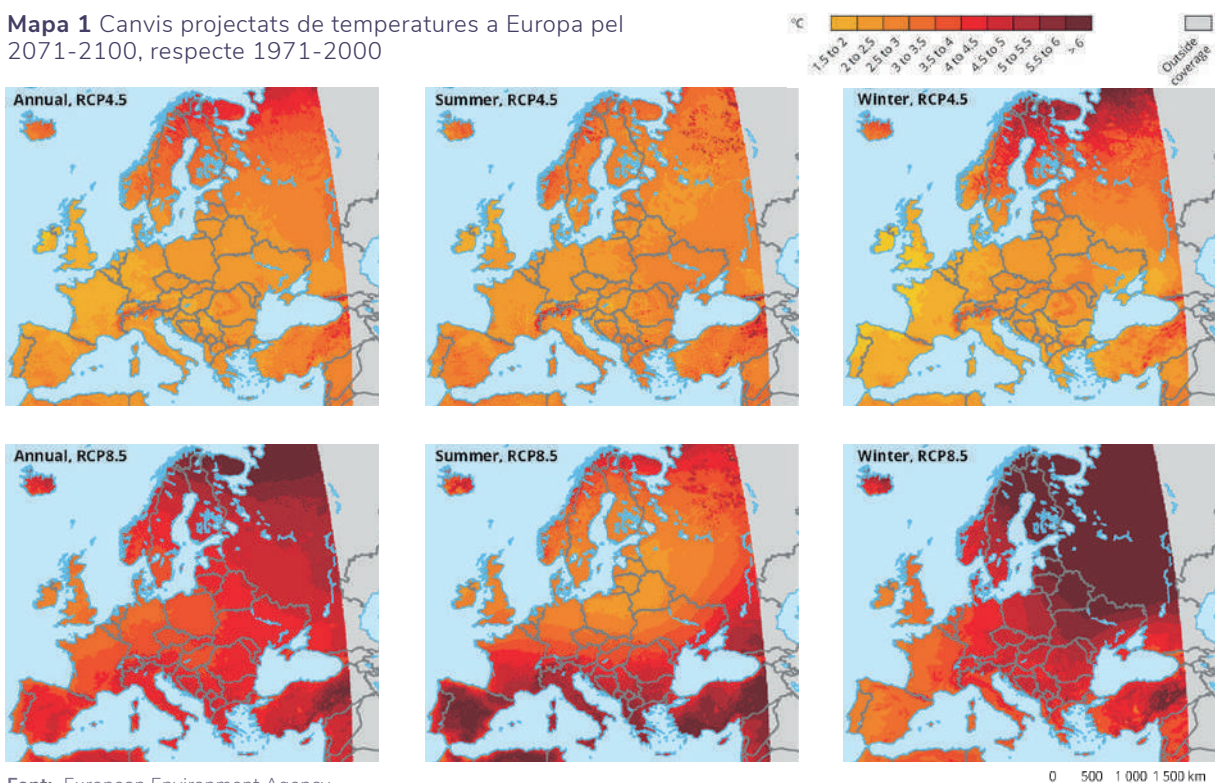
Els canvis que estan experimentant els mars i oceans no serà regionalment uniforme, alguns experimentaran efectes vinculats al canvi climàtic de forma més destacada que altres. Aquest és el cas del mediterrani, que el fet que sigui un mar d'una mida mitjana i envoltat de terra, li confereix unes característiques molt particulars.

La conca mediterrània es considera una àrea clau en l'àmbit mundial (hotspot) a causa de la seva alta vulnerabilitat davant el canvi climàtic la magnitud dels impactes esperats i l'elevada població (500 milions de persones) del seu voltant, la major part d'ella a la franja litoral.

Tots els escenaris climàtics contemplen un increment notable de les mitjanes anuals a la conca mediterrània. En l'escenari RCP 4.5 (Acord de París), l'augment contemplat és d'entre +1,5 °C i +2,5 °C, i en l'RCP 8.5 (d'entre +3,5 °C i +4 °C. A l'estiu, la zona d'Europa on es produeixen increments més destacats és a la conca mediterrània, on els pitjors escenaris plantegen increments d'entre 5+,5 °C i +6 °C.

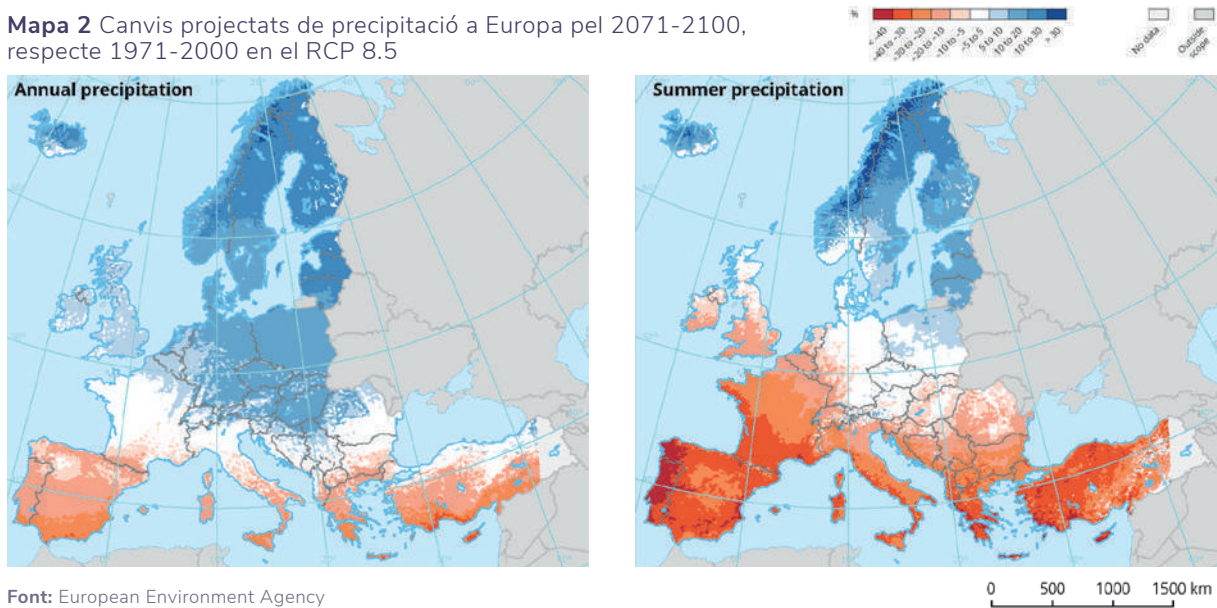
Respecte a la precipitació, aquesta té a nivell europeu un comportament diferenciat en el territori: increments anuals d'entre +20 % i +30 % a Europa del nord, i reduccions anuals a la zona mediterrània al voltant del -20 %. A l'estiu, les reduccions al mediterrani poden arribar a ser del -30 % o -40 %, època coincident amb els majors increments de temperatura.

Mapa 1 Canvis projectats de temperatures a Europa pel 2071-2100, respecte 1971-2000



Font: European Environment Agency

Mapa 2 Canvis projectats de precipitació a Europa pel 2071-2100, respecte 1971-2000 en el RCP 8.5



Font: European Environment Agency

L'efecte conjunt de l'increment de les temperatures i la reducció de la precipitació farà que el mar mediterrani sigui un mar on l'augment de la temperatura de l'aigua sigui força destacat, amb una taxa d'evapotranspiració elevada, que conjuntament amb la reducció de l'aport dels rius (per reducció de la precipitació) farà que la salinitat tingui tendència a augmentar. Això tindrà efectes tant en els ecosistemes marins com en els ecosistemes litorals.

Malgrat les petites dimensions del Mediterrani respecte la superfície dels oceans, que tan sols és d'un 0,82 %, acull a un 18 % del total d'espècies marines conegudes de les quals, es calcula que el 21 % estan catalogades com a vulnerables i un 11 % en perill d'extinció.

La propagació accelerada d'espècies exòtiques està fent que la fauna i la flora del Mediterrani s'estigui tropicalitzant degut al augment de temperatura de les temperatures i de les onades de calor extremes que es porten produint des dels anys 90. La taxa d'acidificació de les aigües del Mediterrani, ha oscil·lat entre pH d'entre 0.055 i 0.156 des de l'època preindustrial, afectant a la seva cadena tròfica.

Les projeccions per als escenaris d'alta emissió (RCP 8.5), mostren que un gran nombre d'espècies estaran en perill d'extinció a mitjans d'aquest segle, canviant els hàbitats naturals d'espècies amb valor comercial, tenint moltes repercussions als serveis dels ecosistemes marins, com és el cas del turisme, la pesca, la regulació del clima i en la salut humana.

Es calcula que entre el 1,2 % al 5 % dels prats de fanerogames marines al Mediterrani, que representen del 5 % al 17 % de l'hàbitat de les praderies marines mundials es perden cada any. Entre ells, gairebé la meitat de la posidònia enquesta ha patit pèrdues de densitat neta de més del 20 % en 10 anys. Pel que fa als peixos, les espècies exòtiques i el canvi climàtic provoquen l'extinció local.

Es preveu que l'increment de la temperatura combinada amb la disminució de la reposició de nutrients i l'acidificació oceànica, modificarà les comunitats de plàncton, causarà impactes a les espècies de peixos, coralls i prats d'herbes marines i la propagació d'espècies exòtiques. L'increment del nivell del mar, la urbanització extensiva i els efectes del canvi climàtic causaran impactes als diferents ecosistemes costaners.



El litoral de Barcelona

El desenvolupament de la ciutat de Barcelona i el seu entorn metropolità no es pot entendre sense el seu litoral. Seguint el mateix patró que altres ciutats, la història de Barcelona està molt vinculada al seu port i a les relacions que el mar mediterrani li ha proporcionat al llarg del temps.

El litoral de Barcelona ha canviat molt, és un àmbit en permanent transformació. Un dels grans canvis ha succeït en les darreres dècades, on la ciutat ha passat a viure de cara al mar i hi ha desenvolupat grans projectes que han ajudat a transformar el front litoral.

Actualment en aquesta franja litoral d'elevada complexitat i vulnerabilitat que és el litoral, hi conviuen activitats, valors ambientals, platges, un dels espais públics més utilitzats de la ciutat, infraestructures essencials pel funcionament de la metròpolis, etc. Però precisament aquesta concentració d'usos comporta una elevada gestió d'aquest espai, com per exemple l'estabilització de platges.

Un àmbit en permanent transformació

Des dels seus inicis, la història de Barcelona ha estat íntimament lligada al mar. La línia de costa s'ha anat transformant al llarg del temps passant d'un paisatge de llacunes i maresmes a un de fortament antropitzat, amb predomini d'instal·lacions industrials al segle XIX, fins a arribar al front urbà consolidat que coneixem avui en dia.

La construcció del primer dic del port de Barcelona entre els anys 1477 i 1487 va suposar el tall del corrent sedimentari natural que circula de nord a sud paral·lel a la costa. La construcció d'aquesta infraestructura va provocar l'avanç de la línia de costa a llevant del dic en uns 250 m en poc més

Imatge 12 El litoral de Barcelona a l'any 1956 (fotografia aèria) amb la línia de riba actual (en groc)



Font: Barcelona Regional

de segle i mig i un segon dic del port al segle XVII va fer avançar la línia uns 400 m més. Aquests terrenys guanyats al mar van fer possible la construcció durant la segona meitat del segle XVII del barri de la Barceloneta.

La inauguració l'any 1848 de la primera línia de ferrocarril a la península, entre Barcelona i Mataró va marcar la relació del proper segle i mig de la ciutat amb el mar, i de la configuració de la seva façana marítima.

Durant aquest període les infraestructures costaneres es dediquen fonamentalment a la protecció de la línia de tren, sense tenir gaire en consideració l'accessibilitat a les platges. Entre finals del segle XIX i mitjans del segle XX la línia de costa es troba ocupada pel barri de barraques del Somorrostro. Les infraestructures costaneres per a la estabilització de la costa es van limitar en aquests període a un sistema artificial de «dunes» i als espigons de protecció dels abocaments de la xarxa de sanejament i del sistema ferroviari.

La celebració l'any 1992 dels Jocs Olímpics es converteix en el catalitzador per a transformar la façana marítima de la ciutat i recuperar la seva relació amb el mar. Aquesta recuperació va acompanyada d'una ordenació d'infraestructures, la consecució de plans de sanejament que a nivell metropolità

Imatge 13 Barraques del Somorrostro



Font: Barraques, la ciutat oblidada, TV3

Imatge 14 Recorregut històric del litoral de Barcelona

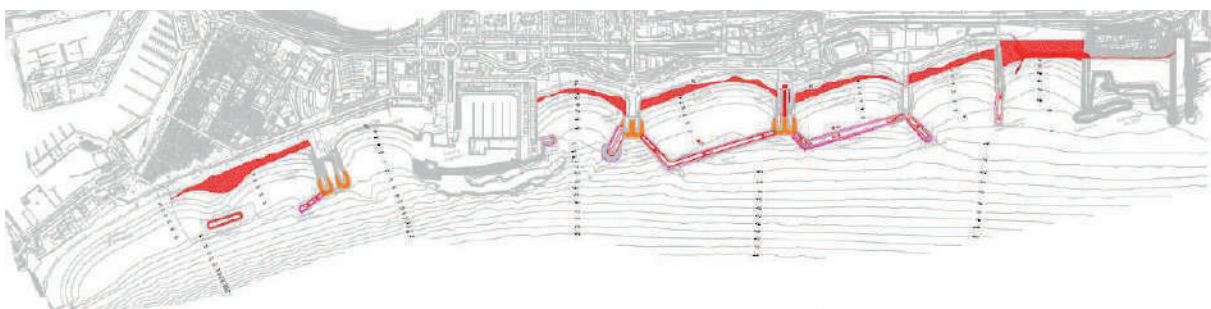
Font: Barcelona Regional

milloren la qualitat de les aigües de bany, la construcció d'un nou port esportiu i l'estabilització i regeneració de les platges. Amb motiu de la celebració l'any 2004 del Fòrum de les Cultures, Barcelona recupera els darrers metres de la seva façana marítima. Es construeixen les platges de Nova Mar Bella i Llevant, un nou port esportiu a ponent de la desembocadura del riu Besòs, una zona de banys artificial i una nova esplanada guanyada al mar per, aleshores, la ubicació d'un nou zoo marí. Es configura finalment la façana marítima que coneixem en l'actualitat entre l'espigó de Sant Sebastià i la desembocadura del Besòs.

Estabilització de platges. Evolució dels darrers anys

Les platges de Barcelona són majoritàriament d'origen artificial. Formen part d'un sistema costaner altament dinàmic que experimenten constantment modificacions com a resposta natural a l'acció de l'onatge.

Aquest sistema manca d'aportacions naturals de sediments, ja que la costa està molt rigiditzada i les aportacions de sediment d'origen fluvial com són els deltes propers estan en erosió. Per tant el volum i l'amplada de les platges de la ciutat resulten del balanç entre les aportacions artificials i les pèrdues de sediment que s'originen com a conseqüència de l'impacte de l'onatge i les corrents marines.

Imatge 15 Obra executada del projecte d'estabilització de les platges de Barcelona (2008)

Font: Barcelona Regional

Els temporals de 2001 i 2003 van posar de manifest que les obres realitzades a l'època olímpica no eren suficients per garantir l'estabilitat de les platges. Durant aquest anys el Ministeri va haver de realitzar diverses campanyes d'aportació extraordinària de sorra. Al 2005 l'Ajuntament de Barcelona i el Ministeri de Medi Ambient van signar el Protocol per a la protecció i reparació de la façana marítima de Barcelona i els anys posteriors es va executar el Projecte d'Estabilització de les platges de Barcelona en dues fases entre el 2006 i el 2011.

En la actualitat les platges de Barcelona disposen d'una sèrie d'infraestructures de protecció costera com espigons i dics emergits i submergits dissenyats per evitar la pèrdua progressiva de sediments. Tanmateix, tot i que les construccions retarden la pèrdua de sorra de les platges, l'acció de l'onatge i les corrents continua treballant la forma en planta de les platges i desencadena un retrocés de la línia de costa fins a amplades que a algun punt arriben a ser crítics (menys de 25 metres d'amplada), especialment en algunes èpoques de l'any. Actualment les pèrdues de sorra es situen al voltant dels 40.000 m³/any.

Per compensar aquestes pèrdues de sediments, des de fa anys es realitza aportacions artificials de sorres. Les darreres aportacions es van fer al 2009 (100.000 m³) i 2010 (750.000 m³) amb sediments procedents de la conca de la Tordera. Des de llavors les úniques aportacions realitzades han estat amb sediment procedent de l'aterrament de la bocana de Port Olímpic de Barcelona, tot i que són d'un ordre menor (entre 6.000 i 8.000 m³ anuals).

Actualment l'Estat s'està replantejant aquestes aportacions artificials ja que cada vegada és més difícil trobar sediment de qualitat per fer aportacions, al marge del cost econòmic i ambiental que això suposa. Les opcions són limitades i tenen les seves avantatges i inconvenients (sediment d'origen marí, fluvial, de presses aterrades, de cantera, etc.) i en cap cas es tracta d'un recurs il·limitat. El sediment ha de complir uns requisits de qualitat i granulometria concrets.

D'acord amb el seguiment topobatimètric que efectua dos cops l'any Barcelona Regional, l'*Estudi d'estabilitat de les platges* realitzat aquest 2019 per la Universitat Politècnica de Catalunya en el marc del Pla litoral dels espais de la ciutat de Barcelona, la Video-monitorització que realitza el Coastal Ocean Observatory de l'institut de Ciències el Mar del CISC i l'*Estudi del comportament morfodinàmic de les platges de Barcelona* realitzat enguany per ECOSOST, el comportament de les platges de Barcelona és clarament erosiu. En efecte, totes les platges de la ciutat experimenten, en menor o major mesura, pèrdues de volum de sorra força pronunciats.

Les pèrdues de sediment registrades des de la darrera aportació realitzada pel Ministerio de Medio Ambiente fins a l'octubre de l'any 2020, s'estimen en 564.115 m³. Així mateix, el ritme anual de pèrdua de sorra a les platges de Barcelona en l'actualitat s'estimen en aproximadament en 32.000 m³/any.

Taula 1 Pèrdues de sorra a les platges de Barcelona

Font: Barcelona Regional

Platja	Volum perdut (m ³) 2011 fins l'actualitat
Sant Sebastià, Sant Miquel i Barceloneta	212.602 m ³
Somorrostro	61.380 m ³
Nova Icària	33.103 m ³
Bogatell	90.135 m ³
Mar Bella	65.128 m ³
Nova Mar Bella	67.194 m ³
Llevant	34.573 m ³
Total platges	564.115 m³

La regressió que pateixen les platges de Barcelona en forma de pèrdua de sorra junt amb les previsions de futur que preveuen temporals més freqüents i intensos i la pujada del nivell del mar fan que a nivell municipal hagi iniciat un procés de reflexió i debat sobre el futur i el model de les platges a seguir.

El litoral: la vulnerabilitat de la confluència de dos mons

El litoral és l'espai frontera entre el món marí i el món terrestre i per tant és un espai més vulnerable, ja que es manifesten els efectes del canvi climàtic per partida doble. S'uneixen els impactes dels dos mons.

Els principals efectes vinculats al canvi climàtic que s'hi produeixen provenen dels dos mons i es manifesten de la següent manera:

- Increment del nivell del mar
- Increment i canvi de direcció de l'onatge
- Increment de les tempestes i episodis extrems
- Increment de la temperatura del mar i del medi terrestre
- Disminució de l'oxigen de l'aigua
- Acidificació de l'aigua marina
- Increment de l'evapotranspiració i de la salinització
- Salinització dels aqüífers costaners
- Increment de les descàrregues al litoral provocades per les inundacions
- Efectes de les infraestructures i equipaments estratègics ubicats a la zona del litoral
- Efectes sobre la biodiversitat

Tal com s'ha esmentat a l'inici, aquest treball es basa en la recopilació d'estudis a diferents escales dels efectes del canvi, sense incloure cap modelització específica.

No es tracta d'un treball que analitzi dades noves, que faci projeccions o que estudiï aspectes nous. És un recull de diversos documents fets per organitzacions, entitats, centres de recerca, que pretén recollir el coneixement sobre els possibles impactes del canvi climàtic a la mediterrània.

Cal dir que en aquest estudi no s'han considerat els efectes sobre els sectors socioeconòmics, bàsicament per dos motius: primer perquè és un impacte indirecte, conseqüència dels impactes que hem llistat, i en segon lloc per la manca d'estudis econòmics vinculats als aspectes climàtics del litoral o al medi marí. En els darrers anys, sí que hi ha un creixent interès en quantificar els impactes climàtics en termes monetaris, però la dificultat i la diversitat de metodologies fa difícil establir una xifra única i acceptada per tothom.

D'entre tots els estudis consultats per detallar els efectes del canvi climàtic al litoral de la nostra ciutat, destaquen dos informes que incorporen projeccions a escala de Barcelona d'algunes de les variables del canvi climàtic analitzades en aquest estudi. Es tracta del projecte europeu RESCCUE i un estudi dels impactes del canvi climàtic en la costa espanyola elaborat pel Institut Hidràulic de Cantàbria.

Institut Hidràulic de Cantàbria

Juliol 2019

Costa espanyola



Aquest estudi elabora una metodologia que resol probabilísticament els impactes del canvi climàtic a la costa tenint en compte tots els agents implicats. Realitza projeccions de canvi climàtic **d'onatge, marea meteorològica, nivell de la mar i temperatura superficial de la mar** al llarg de tota la costa espanyola, que serveixen per alimentar models d'impacte.

Projecte Europeu RESCCUE

2017–2020

Barcelona, Lisboa
i Bristol

S'han obtingut projeccions climàtiques locals futures i prediccions decennals per a Barcelona, Lisboa i Bristol mitjançant la combinació de diversos mètodes estadístics. Les variables climàtiques identificades són: **temperatura, precipitació, vent, humitat relativa, pressió a nivell de la mar, evapotranspiració potencial, nevades, alçada de les ones i nivell del mar.**

L'anàlisi de les diferents variables climàtiques relacionades amb el litoral de Barcelona, se centra en els mateixos escenaris de concentració d'emissions utilitzats pel Ajuntament de Barcelona en el marc del Pla Clima: l'anomenat **escenari compromès** (el RCP4.5) i l'anomenat **escenari passiu** (el RCP8.5).

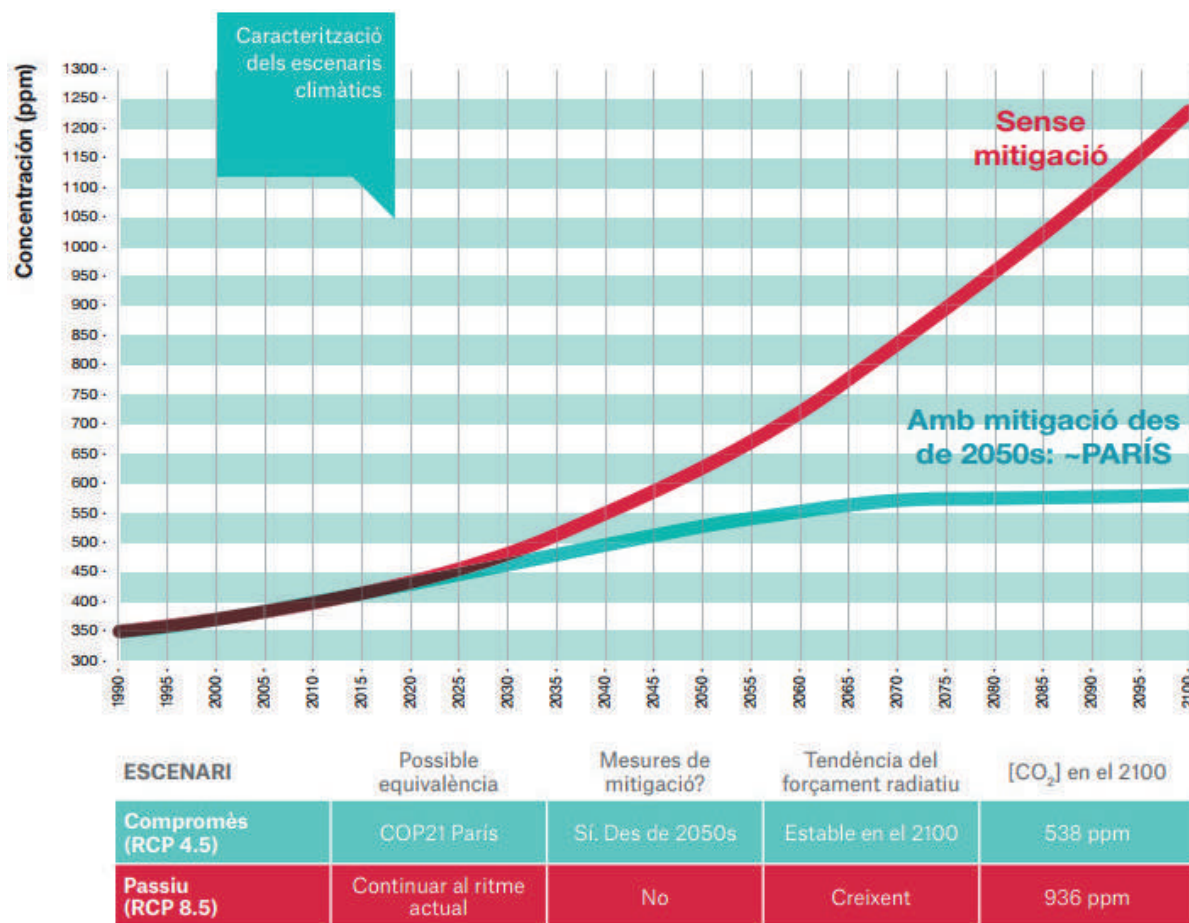


En concret, l'**escenari compromès** (o també RCP4.5) representa el ritme d'emissions si s'assolissin els objectius de l'Acord de París de 2015. En aquest escenari la concentració de GEH arribaria a ser superior a l'actual a final de segle, però l'increment s'atenuaria a partir del 2030 a fi de limitar l'augment màxim de la temperatura global del planeta a 1,5–2°C. .



I l'**escenari passiu** (o també RCP8.5) que representa la situació en que no s'assolirien els objectius marcats a París, de manera que les concentracions de GEH a finals de segle serien molt superiors a les actuals. L'augment de temperatura global superaria àmpliament els 2°C.

Imatge 16 Principals escenaris climàtics analitzats en aquest treball



Font: Pla Clima, Ajuntament de Barcelona

Per últim, destacar que com a eines per ajudar a combatre els efectes del canvi climàtic, tenim directrius, estratègies o normatives a diferents nivells. Les principals són les següents:

Unió Europea

- LIBRO BLANCO - Adaptació al canvi climàtic: Cap a un marc europeu d' actuació
- Directiva Marc sobre la Estratègia Marina
- Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean

Espanya

- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)
- Ley 2/2013 de protección y uso sostenible del litoral y modificación de la Ley 22/1988 de Costas
- Real Decreto 876/2014 por el que se aprueba el Reglamento General de Costas
- Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española

Catalunya

- Llei 16/2017 del Canvi Climàtic (art.15 i art. 16)
- Llei 8/2020 de protecció i ordenació del litoral
- Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic 2021–2030



Efectes del canvi climàtic a l'entorn del litoral de Barcelona

A continuació es detallen els efectes associats al canvi climàtic que es preveuen que més incidiran al litoral de Barcelona i entorns.

El grau de detall de la informació d'aquests impactes és desigual, amb alguns impactes on es disposa d'informació extensa i detallada, mentre que altres impactes la informació és més puntual. A més a més l'escala a la qual analitzen l'impacte també és diversa: mentre que hi ha impactes que es disposa d'informació de detall a nivell de costa de Barcelona o voltants, en d'altres la informació que es disposa és a nivell de costa catalana, o nivell mediterrani o en alguns pocs casos a nivell més global.

Això ens dona com a resultat una recopilació dels efectes del canvi climàtic una mica desigual. Però per altra banda ens aporta una recopilació interessant de la informació més completa disponible de cada un dels efectes que haurà d'adaptar-se el nostre litoral en un futur més o menys immediat.

Increment del nivell del mar

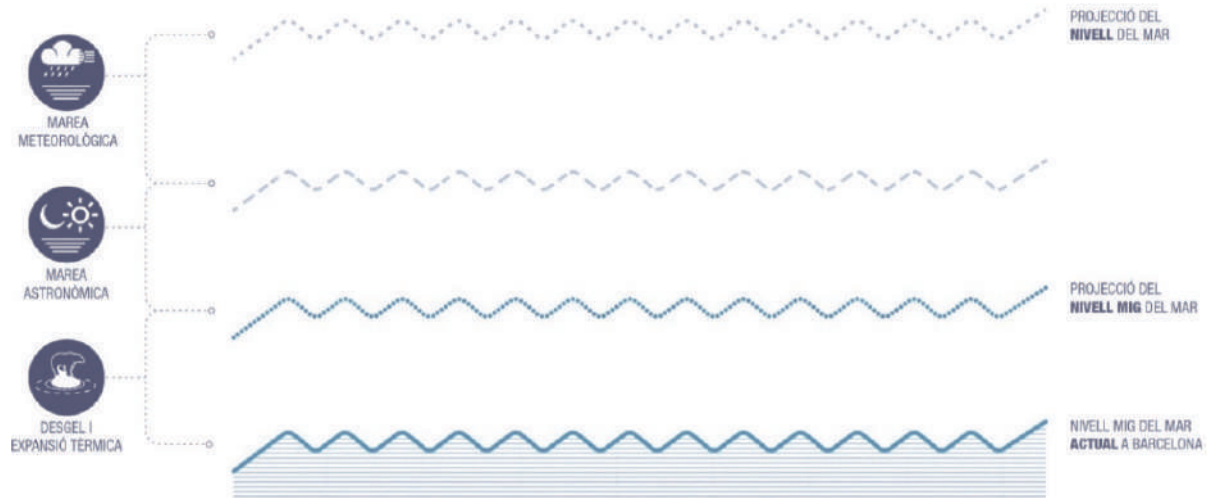
Per les característiques geogràfiques i climàtiques de la nostra zona l'increment del nivell del mar és el que més incidència pot tenir en la ciutat de Barcelona, tot i que, les tendències relatives a la variabilitat de temporals marítics o les variacions de vent i de pressió també tenen un paper molt rellevant.

Existeix una preocupació a causa de l'amenaça que l'increment del nivell mig del mar pot produir sobre els sistemes costaners, preocupació que s'accentua quan ens referim als increments dels nivells extrems del mar que produeixen les onades en períodes de tempesta i que se superposen a aquest nivell mig. En aquest sentit, el canvi climàtic té conseqüències sobre el nivell mig del mar i sobre la marea meteorològica.

El càlcul del nivell del mar en una determinada zona es realitza en base a tres factors:

- **El nivell mig del mar:** nivell de les aigües tranquil·les del mar promitjat durant un període de temps per tal de veure compensats els fenòmens de marees, temporals, etc.
- **La marea meteorològica:** sobreelevació generada per fenòmens atmosfèrics.
- **La marea astronòmica:** determinada per l'atracció del Sol i la Lluna.

Imatge 17 Esquema dels factors d'increment del nivell del mar



Font: Barcelona Regional

Increment mig del nivell del mar

El canvi en el nivell mig del mar és la conseqüència d'una sèrie de processos físics que ocorren en l'oceà, però també sobre l'atmosfera, terra, gel i cicle hidrològic. D'altra banda, és important destacar que els canvis en aquests processos sobre una determinada zona poden derivar en canvis en zones remotes (per exemple, canvis en la temperatura de l'aigua de mar en oceà obert pot donar lloc a canvis locals en un tram costaner). Els processos que donen lloc a canvis en el nivell mig del mar són de diferent índole. Els més rellevants a considerar són:

- Canvis en els corrents marins i la seva densitat (al seu torn, en la temperatura i salinitat de les masses d'aigua)
- Anomalies en la pressió atmosfèrica,
- Intercanvi de les masses gel i aigua entre la terra i l'oceà,
- Canvis en l'aportació d'aigua dolça a l'oceà (causant canvis en la temperatura i salinitat de les masses d'aigua),
- Canvis en el camp de la gravetat i moviments verticals de terra oceànic associat amb la deformació visco-elàstica,
- Processos antropogènics que influeixen en la quantitat d'aigua emmagatzemada (subterrània, en llacs o altres reservoris), alterant el cicle hidrològic.

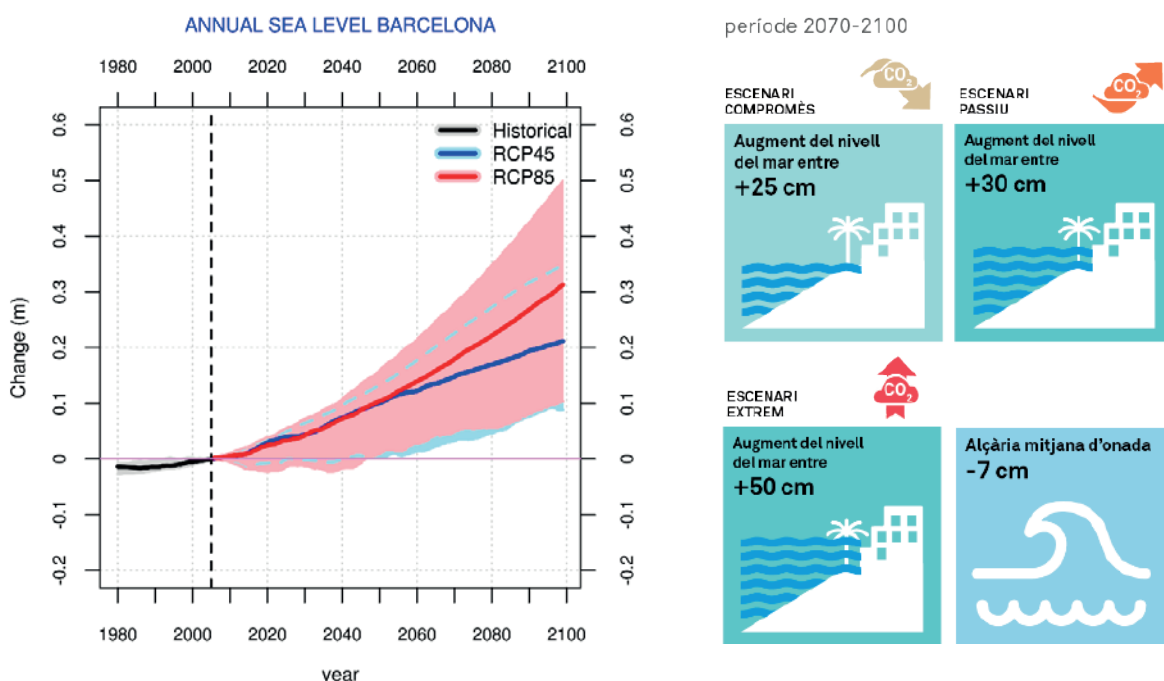
Els processos més rellevants per estimar canvis en el nivell mig del mar són la captació de calor i expansió tèrmica de l'oceà, la contribució de les glaceres i les dinàmiques de les masses de gel associades a Groenlàndia i Antàrtida.

A l'àmbit de Barcelona hi ha dos estudis que destaquen, ja que tenen dades específiques de l'increment del nivell del mar a Barcelona. Especialment cal mencionar l'estudi RESCCUE, un projecte europeu on hi participava l'Ajuntament de Barcelona, on les dades van ser específicament treballades a escala de ciutat. L'altre estudi de referència és el realitzat per la Universidad de Cantabria. A continuació es detallen les principals conclusions.

Projeccions al litoral de Barcelona segons RESCCUE

Pel que fa a les projeccions de l'increment del nivell de mar que estableix el projecte europeu RESCCUE per al litoral de Barcelona, s'espera un augment significatiu. Si bé els augments del nivell de mar deguts al canvi climàtic són molt més notables als oceans, també s'espera que la mar Mediterrània els pateixi, amb augments de +25 centímetres al final del segle en l'escenari compromès (RCP4.5), i de +30 centímetres de mitjana en l'escenari passiu (RCP8.5), amb extrems possibles de fins a +50 centímetres, tal com mostra la següent imatge:

Imatge 18 Projeccions climàtiques del augment del nivell mig del mar a Barcelona



Font: RESCCUE, Final Climate Scenarios Report, 2017

Aquest resultat és coherent amb els +40 cm / segle projectats per l'IPCC per a tota la conca de la Mediterrània a la fi de segle (IPCC, 2015). No obstant això, el nivell d'incertesa es reflecteix en les recents observacions dels satèl·lits (1992-2014), que mostren un augment del nivell de la mar superior a + 20 cm / segle a Barcelona.

Taula 2 Projeccions en l'Increment mig del nivell del mar per als diferents models climàtics

Font: RESCCUE, Final Climate Scenarios Report, 2017

	2035		2100	
	RCP4.5 (2006–2035)	RCP8.5 (2006–2035)	RCP4.5 (2071–2100)	RCP8.5 (2071–2100)
Increment del nivell del mar (cm)	-1 / +10	-1 +10	+10 / +40	+10 / +50

Tenint en compte els increments del nivell del mar per a final de segle que estableix el projecte RESCCUE per a la ciutat de Barcelona, des de l'Ajuntament van desenvolupar un model d'inundació del litoral que analitza l'impacte sobre les platges, les infraestructures costaneres i els sistemes de drenatge urbà. El model es basa en una anàlisi espacial GIS que, atesa la futura pujada mitjana del nivell del mar simulada a partir dels resultats de les projeccions climàtiques, avalua l'àrea d'estructures inundades permanents i zones costaneres.

L'anàlisi comparativa entre zones inundades reals i futures per a la costa i les seves infraestructures associades pren com hipòtesi principal i punt de partida la no afectació de les mateixes per l'escenari actual, i per tant, es mesura l'afectació a les zones costaneres de l'impacte per l'augment del nivell del mar en dos escenaris futurs diferents per a l'horitzó 2071–2100:

- Pujada del nivell del mar mitjà de 35 cm segons RCP 4.5
- Pujada del nivell del mar mitjà de 50 cm segons el RCP 8.5

Els impactes de l'augment del nivell del mar es quantifiquen en termes de:

- Principals punts de descàrrega del sistema unitari (DSU) i canonades que podrien ser parcialment inundades per l'augment del nivell del mar (produint-se a més el problema indirecte de la introducció de salinitat en el sistema de sanejament).
- Platges permanentment inundades (pràcticament totes perdudes), deltes fluvials, etc.
- Infraestructures crítiques (espigons i molls), potencialment exposades a les inundacions produïdes per la pujada del nivell del mar.

Les platges sense dubte, són les zones més afectades com a conseqüència de l'increment del nivell del mar. Prenent com a referència l'estat actual, on les platges ocupen una superfície de 30,32 ha, segons els resultats del projecte RESCCUE, aquesta superfície es veurà reduïda aproximadament 3,19 ha (aproximadament un 11 % del total) en el cas d'un increment de 35 cm d'alçada mitjana del nivell del mar i 5,02 ha (aproximadament un 17 % del total) en el cas d'un increment de 50 cm d'alçada mitjana del nivell del mar.

A més, altres infraestructures com esculleres i els molls també es veurien afectats per l'increment del nivell de mar. Les platges són el principal element afectat a tots dos escenaris climàtics, englobant més de la meitat del de la superfície total afectada.

La superfície afectada és major a l'escenari passiu, destacant l'escullera de protecció del port de Barcelona, que triplica la superfície afectada pel increment del nivell del mar. Les esculleres, que actuen de protecció enfront de les onades i els temporals també es veurien afectades. És el cas dels espigons del Gas, del Bogatell, de la Mar Bella i de Bac de Roda. La zona del Fòrum també patiria els efectes de l'increment del nivell del mar. Pel que fa a la resta d'infraestructures costaneres afectades, a la taula següent es pot veure com resultaran afectades en els dos escenaris de canvi climàtic estudiats:

Taula 3 Superfície afectada segons els diferents escenaris
 Font: Barcelona Regional

Zona afectada	Àrea (m ²) 35 cm segons RCP 4.5	Àrea (m ²) 50 cm segons RCP 8.5
Platges	31.967	50.272
Escullera dels ports	10.883	27.559
Escullera	4.126	8.017
Molls (port)	4.078	5.598

Segons conclouen els resultats del projecte RESCCUE, pel que fa a les platges i infraestructures costaneres de ponent, les 4 platges es veuen afectades en els dos escenaris climàtics analitzats, tal i com es pot veure en el mapa següent. També s'observen efectes en l'escullera de la platja de Sant Miquel, a l'Espigó del Gas i a l'escullera del Port Olímpic.

Al litoral de Llevant, l'increment del nivell del mar no té pràcticament repercussió a les platges de la Nova Icària i Bogatell. Aquestes platges, en tractar-se d'una de les platges amb pendent més suau, els increments del nivell del mar no tenen gaire repercussió en cap escenari i en cap cas, arribaria a la cota del passeig marítim.

Mapa 3 Impacte de l'increment del nivell del mar a les platges de Ponent



Font: Barcelona Regional

Mapa 4 Impacte de l'increment del nivell del mar a les platges de Llevant



Font: Barcelona Regional

Per contra, les platges de la Mar Bella, Nova Mar Bella i Llevant, sí patirien els efectes de l'increment del nivell del mar, destacant la platja de la Nova Mar Bella. En el cas de la Nova Mar Bella, la pujada del nivell del mar arriba en tots els escenaris de futur fins a la base del mur del passeig, el que implicaria que els locals situats a cota de sorra quedessin anegats en casos de temporals. En qualsevol dels casos, l'increment del nivell del mar pot tenir conseqüències en el funcionament dels sobreeixidors de la xarxa de clavegueram, que en cas de pluges intenses, i quan el cabal circulat supera la capacitat dels col·lectors, aboquen puntualment al mar.

Projeccions al litoral de Barcelona segons Institut Hidràulic de Cantàbria (IHC)

D'altra banda, l'Institut hidràulic de Cantàbria també ofereix els canvis en els valors mitjans del nivell del mar (MSL) per als dos escenaris climàtics (RCP 4.5 i RCP 8.5) i per a tots dos períodes futurs (2026–2045 i 2081–2100). Aquesta informació ve en forma de punts repartits al llarg de tota la costa espanyola. Per a la costa de Barcelona, s'ha agafat el punt més proper a la costa Barcelonina, localitzat a la desembocadura del riu Besòs.

Taula 4 Projeccions en l'Increment mig del nivell del mar per als diferents models climàtics
Font: Institut Hidràulic de Cantàbria

	2045		2100	
	RCP4.5 (2026–2045)	RCP8.5 (2026–2045)	RCP4.5 (2081–2100)	RCP8.5 (2081–2100)
Increment del nivell del mar (cm)	14,98 cm	16,03 cm	43,03 cm	57,48 cm

Els resultats de les projeccions climàtiques del nivell mitjà del mar mostren un augment a curt termini (2026–2045) d'entre 0,1498–0,1603 m a les costes de Barcelona, per ambdós escenaris climàtics. No obstant això, l'augment estimat a llarg termini (2081–2100) varia en funció de l'escenari climàtic. Mentre que per a l'escenari RCP 4.5 (compromès) s'estima un ascens de 0,4303 m, per a l'escenari RCP 8.5 (passiu), es preveu una pujada del nivell mitjà del mar de 0,5748 m.

Taula resum

Comparant els resultats de les dues projeccions analitzades, s'observa que tots dos estudis realitzen estimacions semblants pel que fa a pujada del nivell del mar es refereix. En aquest sentit, l'Institut d'Hidràulica de Cantàbria projecta majors increments del nivell del mar que l'estudi elaborat pel RESCCUE per als dos períodes i escenaris.

Increment mig del nivell del Mar (cm)	2035		2100	
	RCP4.5 (2006–2035)	RCP8.5 (2006–2035)	RCP4.5 (2071–2100)	RCP8.5 (2071–2100)
RESCCUE	-1 / +10	-1 / +10	+10 / +40	+10 / +50
Institut Hidràulic de Cantàbria	+15,13	+16,22	+43,11	+57,62

Incrementats esperats de les mareas meteorològiques i astronòmiques

Es coneix com a marea meteorològica o maror ciclònica la conjunció de diversos fenòmens que donen com a resultat una alteració anòmala del nivell del mar respecte de la que hi hauria, tenint en compte les mareas astronòmiques naturals. Aquestes aportacions provenen de l'embranchida persistent d'un vent fort i de la dilatació de la superfície oceànica per la baixa pressió atmosfèrica.

La marea astronòmica és el canvi periòdic del nivell del mar produït per la força d'atracció gravitatòria que exerceixen el Sol i la Lluna sobre la Terra. Aquestes variacions en el nivell del mar són predicibles i quantificables, i no són conseqüència del canvi climàtic. Són també temporals, i com a tals no impliquen un augment del nivell del mar de manera permanent. Tot i això, s'han considerat de cara a determinar el possible abast de les inundacions d'origen marí, ja que al final suposen un increment de cota del nivell del mar.

Projeccions al litoral de Barcelona

Si sumem la marea meteorològica a la marea astronòmica, obtenim valors de l'increment del nivell del mar que oscil·len depenent del període de retorn. Per al període de retorn 100 anys, els valors de l'increment del nivell del mar oscil·la entre el 10 % i el 15 % dels valors actuals, fets que podria suposar un augment d'aproximadament 1,3 metres en la pitjor de les situacions estudiades si afegim l'augment del nivell mitjà del mar.

A continuació es mostren els valors observats i les variacions futures esperades per a cada període.

Taula 5 Variacions esperades de les mareas astronòmica i meteorològica
Font: RESCCUE

Període de retorn (anys)	Observat	% de Canvi relatiu i Augment total		
		2011–2040	2041–2070	2071–2100
2	0.54 m	5 %	30 %	45 %
		0,57 m	0,7 m	0,78 m
10	0.74 m	0 %	15 %	30 %
		0,74 m	0,85 m	0,96 m
100	1.15 m	0 %	10 %	15 %
		1,15 m	1,26 m	1,32m

Percentatge del canvi relatiu associat a les mareas

Increment total si afegim l'augment mitjà del nivell del mar observat

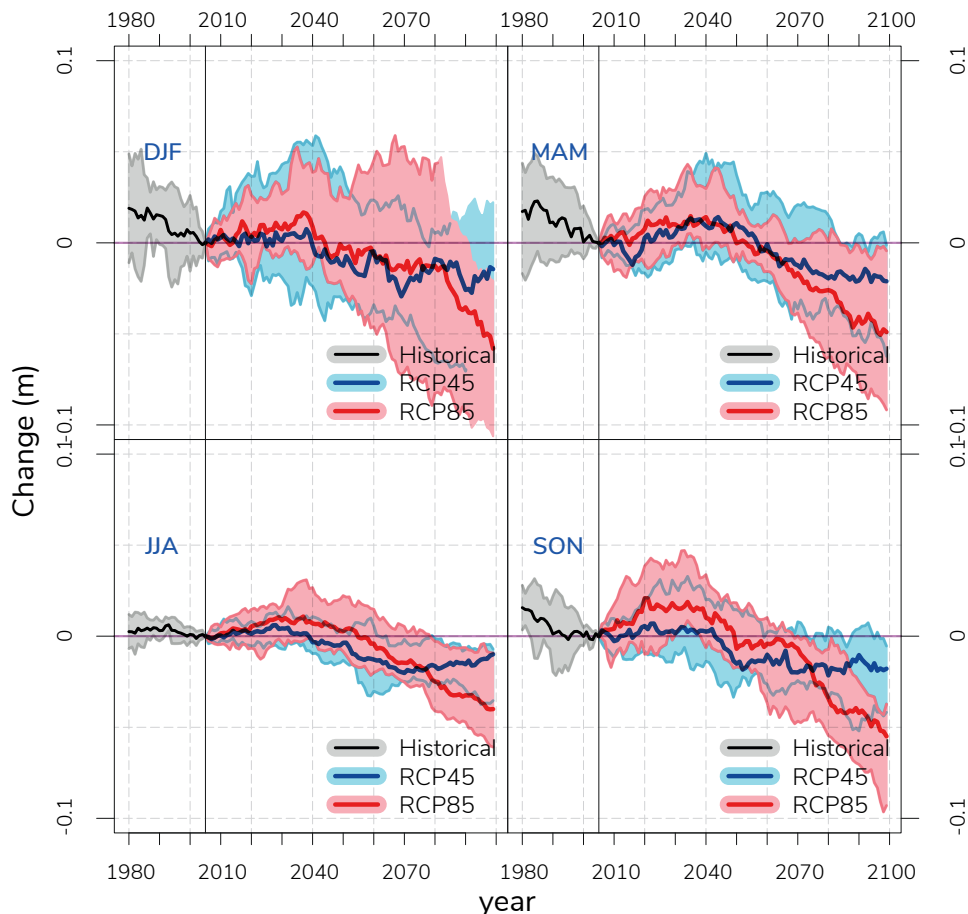
Increment i canvi de direcció de l'onatge.

Alçària mitjana d'onada

Un altre variable analitzada en el marc del projecte europeu RESCCUE és l'alçària mitjana d'onada. S'espera que l'alçària mitjana d'onada es redueixi, previsiblement a causa d'un augment de les situacions anticiclòniques al llarg de l'any, al voltant de 5–10 centímetres cap al final del segle.

Les simulacions de l'alçada mitjana de les ones indiquen una tendència canviant al llarg de segle. A la primera meitat de segle, els dos escenaris contempen una tendència ascendent fins a 2040, on l'altura de les ones aconseguiria un pic de fins a 5 cm. No obstant això, en la segona meitat de segle, experimentarien un descens. Aquesta caiguda seria més gran amb l'escenari passiu RCP 8.5, que estima canvis de fins a -10 cm per 2100. Aquest resultat és coherent amb l'augment projectat de la pressió mitjana, probablement a causa d'una major prevalença de sistemes d'alta pressió en detriment de les zones de baixa pressió.

Imatge 19 Projeccions climàtiques de l'alçària mitjana d'onada a Barcelona



Font: RESCCUE, Final Climate Scenarios Report, 2017

Taula 6 Projeccions climàtiques de l'alçària d'onada a Barcelona
Font: RESCCUE, Final Climate Scenarios Report, 2017

	2035		2100	
	RCP4.5 (2026–2045)	RCP8.5 (2026–2045)	RCP4.5 (2081–2100)	RCP8.5 (2081–2100)
Alçària mitjana d'onada (%)	(+0/+4)	(+0/+4)	(-5/-0)	(-10/-0)

L'Institut d'Hidràulica Ambiental de Cantàbria també ofereix valors de l'alçada d'onada mitjana per a la costa espanyola. Els resultats de les projeccions a futur mostren que els valors tendeixen a disminuir, igual que el projecte europeu RESCCUE, tant a curt com a llarg termini, en tota la costa espanyola excepte en el mar d'Alboran i illes Canàries. El descens més acusat s'espera en el Golf de Cadis per a l'escenari RCP8.5 i el període 2081-2100, on s'estima que tant el valor mitjà com el percentil del 99 % disminueixin en un 10 % respecte al seu valor actual.

Els valors de canvi proporcionats per al litoral de Barcelona per tots dos períodes i escenaris també estableixen un descens de l'alçada mitjana de l'onada. El descens més acusat correspon a l'escenari passiu (RCP8.5) cap a finals de segle.

Taula 7 Projeccions climàtiques de l'alçària d'onada a Barcelona
Font: Institut Hidràulic de Cantàbria

	2045		2100	
	RCP4.5 (2026–2045)	RCP8.5 (2026–2045)	RCP4.5 (2081–2100)	RCP8.5 (2081–2100)
Alçària mitjana d'onada (%)	-2,24	-0,4	-3,58	-5,12

Alçària màxima d'onada

Aquesta variable denota el valor màxim que s'espera que assoleixi el pic d'una onada, entès com la diferència en altura entre la cresta de l'onada i la seva part més baixa. Aquests valors s'associen a situacions de temporals marítics extrems. En el cas de Barcelona, les dades corresponen a una única sèrie històrica i el nombre d'esdeveniments d'aquest tipus registrats és molt escàs (fins al 2018), per la qual cosa les simulacions fetes no són prou consistents. De fet, en la data de redacció d'aquest document, el temporal Glòria (gener del 2020) va fulminar tots els rècords registrats fins llavors, i aquesta efemèride no s'ha pogut utilitzar en els càlculs. Amb les dades disponibles en el moment de fer l'estudi climàtic, els resultats indiquen un descens d'entre mig metre i gairebé un metre de l'alçària màxima d'onada.

Segons les dades proporcionades pel projecte RESCCUE, l'alçada màxima d'onada tendiria a disminuir al voltant d'un 5 % per als períodes de retorn 2 i 10 anys, encara que alguns models estimen disminucions superiors a l'10 %, mentre que altres suggereixen augments molt lleus inferiors al 2 %. Per a períodes de retorn de 100 anys, les disminucions projectades de l'altura de les onades són una mica més grans, al voltant de l'10 %.

Taula 8 Variacions esperades de l'alçària màxima d'onada
Font: RESCCUE

	Període de retorn (anys)	Observat	% de Canvi relatiu i Augment total		
			2011–2040	2041–2070	2071–2100
Alçària màxima d'onada	2	6,6 m	-1 %	-4 %	-4 %
			6,53 m	6,33 m	6,33 m
	10	7,7 m	-4 %	-5 %	-5 %
			7,4 m	7,31 m	7,31 m
	100	9,2 m	-13 %	-12 %	-11 %
			8 m	8,1 m	8,18 m

Canvi esperat

Alçària màxima d'onada (m)

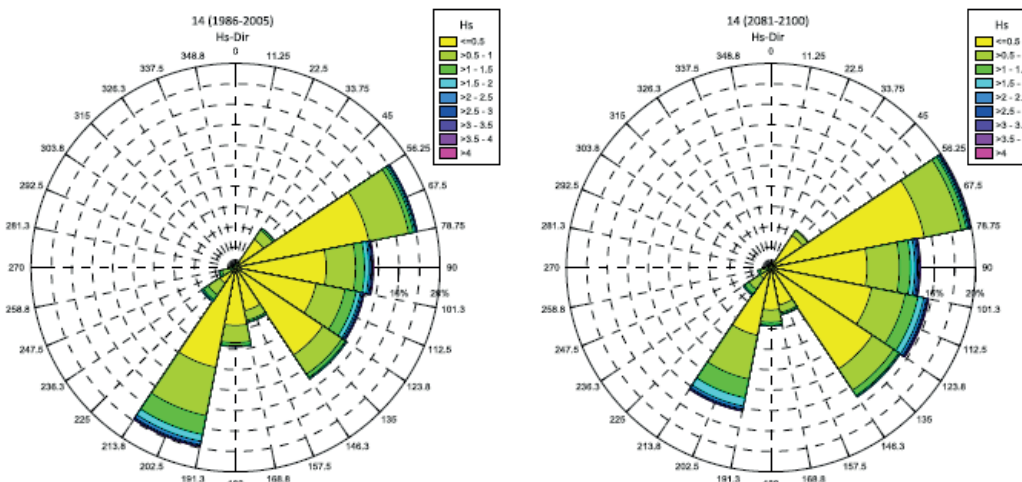
Canvi de direcció de l'onatge

Pel que fa a la direcció de l'onatge, s'ha constatat que durant les darreres 6 dècades s'ha produït una lleugera tendència de variació de l'angle de procedència mig de l'onatge, especialment en la zona de Catalunya, detectant-se un gir important en el sentit de les agulles del rellotge (0,04 %/any).

Aquesta variació tindria conseqüències directes sobre la geometria en planta de les platges de la ciutat, que tendeixen a orientar-se en direcció perpendicular a l'onatge incident. De manera simplificada, i sense tenir en compte els efectes de refracció d'espigons i obres de protecció, un gir en la direcció de l'onatge provocaria una basculació en planta del límit de les platges, incrementant la seva amplada en un dels extrems però reduint la de l'altre.

L'estudi *Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona* elaborats pel METROBS l'any 2015, afirma que les condicions futures portaran una disminució de la freqüència dels onatges de component Sud (SSE a SW), mentre que la dels de component Est (ENE a SE) augmentarà.

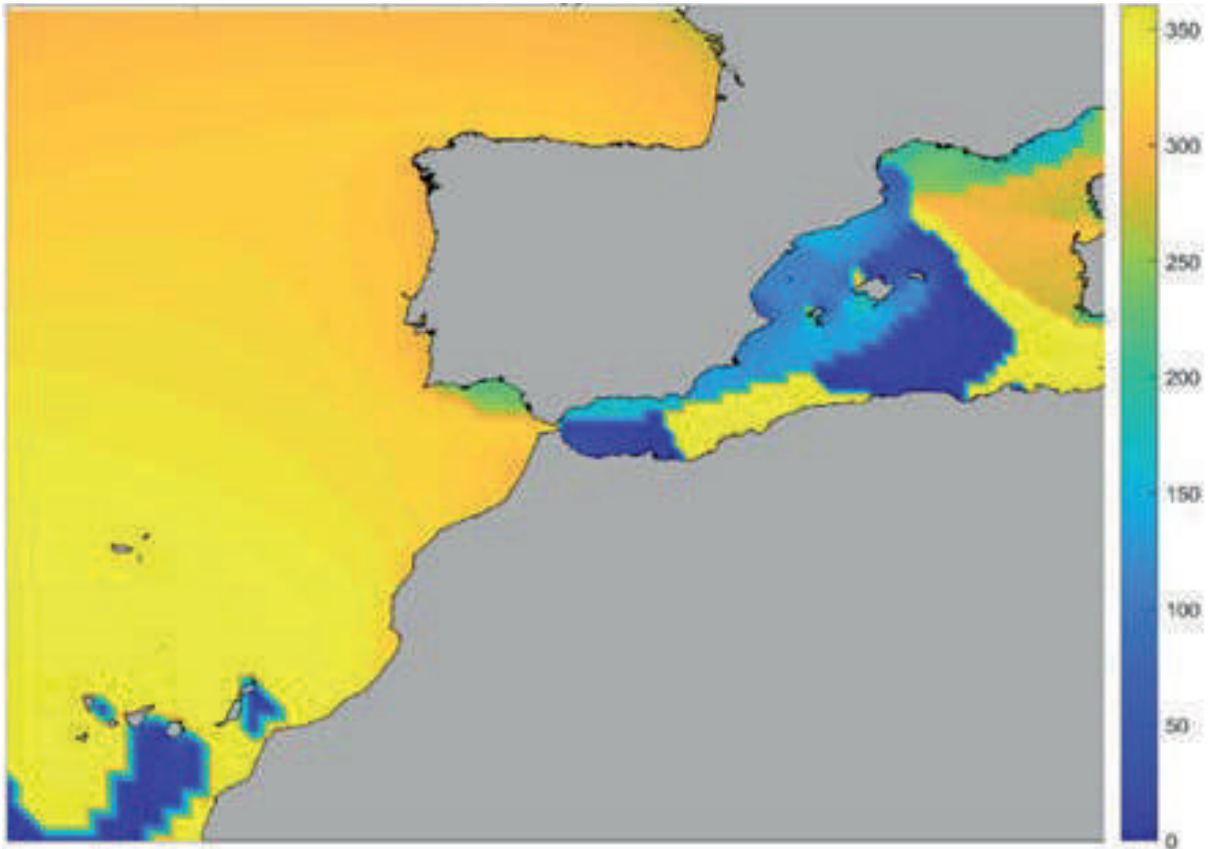
Imatge 20 Roses d'onatge del clima mitjà per a condicions presents i futures



Font: Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona, METROBS 2015

En aquesta línia, l'Institut d'Hidràulica Ambiental de Cantàbria ofereix valors de canvis de la direcció mitjana de l'onatge per a cada escenari climàtic. A les costes cantàbriques i gallegues predomina l'onatge de nord-oest (NO) i, en el Golf de Cadis, de l'SO. Mentrestant, a la regió nord de les illes Canàries l'onatge té, principalment, component nord. D'altra banda, a la costa mediterrània predomina la component est i sud-est. A Barcelona, predomina la component sud-est (137,36°).

Imatge 21 Valor mitjà de la direcció mitjana d'onatge (°) del període històric de referència (1985-2005)



Font: Institut Hidràulic de Cantàbria

Pel que fa a la direcció de l'onatge al llarg del segle XXI, no s'esperen canvis significatius a les costes cantàbriques i Golf de Cadis. No obstant això, a la Mediterrània, i concretament al litoral de Barcelona, la direcció mitjana de l'onatge tendeix a disminuir lleugerament direcció component est, més acusat a l'escenari passiu (RCP 8.5). Els valors negatius representen canvis en sentit anti-horari, és a dir, direcció est.

Increment de la freqüència de l'onatge de component est

Taula 9 Projeccions climàtiques de canvi de direcció a Barcelona
Font: Institut Hidràulic de Cantàbria

	2045		2100	
	RCP4.5 (2026-2045)	RCP8.5 (2026-2045)	RCP4.5 (2081-2100)	RCP8.5 (2081-2100)
Canvi de direcció (°)	-1,0589	-1,507	-1,0334	-1,9154

Increment de les tempestes i episodis extrems

Les tempestes són perturbacions meteorològiques de l'atmosfera acompanyades de fortes precipitacions, forts vents, increment del nivell del mar, forts corrents i un onatge extrem. Tots aquests efectes impacten severament sobre la costa, on les platges experimenten una reculada significativa.

Les conseqüències provocades per temporals com el de *Glòria*, esdevingut el gener del 2020, serveixen com a lliçó clara sobre la vulnerabilitat del litoral mediterrani a perturbacions atmosfèriques intenses, amb molt importants afectacions no sols a les comunicacions terrestre-marítimes i a les infraestructures turístiques, sinó també a gran part de l'ecosistema marí i litoral, i de retruc a les pesqueries i l'aqüicultura.

Episodis extrems més freqüents en les pròximes dècades

Durant el temporal *Glòria*, l'acumulació total màxima de precipitació a la ciutat va ser de 139 mm. La ratxa màxima de vent es va registrar a la bocana del Port de Barcelona amb 113 km/h i s'estima que les onades més elevades van arribat als 7 metres d'alçada, amb efectes significatius a les platges. L'alçada d'onada màxima a les platges de la ciutat des de que es tenen registres (1958) és de 4,8 metres a l'any 2008, quedant per tant totalment superat pel temporal *Glòria*.

La vulnerabilitat costanera enfront dels temporals es pot analitzar considerant dos efectes que estan interrelacionats: l'erosió i la inundació. L'erosió i la inundació a la costa augmenten amb l'alçada i el període d'ona, així com amb el nivell del mar. Per tant, les grans onades i l'elevat nivell del mar durant les tempestes comporten impactes severos a la costa.

D'acord amb les projeccions climàtiques regionalitzades dutes a terme pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), es configura per al conjunt de Catalunya un augment en la probabilitat d'ocurrència d'episodis de precipitació extrema (superior als 200 mm en 24 hores), malgrat aquesta probabilitat continuaria essent baixa. Així, doncs, és probable que com a conseqüència de l'escalfament global, episodis com el *Glòria* siguin cada vegada més freqüents en les pròximes dècades. Per tant, és indispensable millorar la capacitat de predicció d'aquests esdeveniments i de les seves conseqüències.

En aquest sentit, a l'informe "Estudi *Onatge en situació actual i revisions de canvi climàtic a les platges de Barcelona* realitzat per l'empresa Ecosost per tal d'enfortir l'anàlisi dels ultrapassaments dels espigons del litoral de Barcelona, s'analitza l'efecte que el canvi climàtic tindrà sobre algunes variables oceanogràfiques al litoral de Barcelona com el nombre de temporals. Aquest anàlisi s'ha dut a terme en base a les dades de la Boia de Barcelona i analitza les tendències del nombre de temporals per sectors a partir de dades recollides des de l'any 2004.

Augment important en el nombre de temporals entre els sectors S i el SW

Els resultats mostren que pels sectors de llevant (ENE, E i ESE), les tendències són lleugerament decreixents, és a dir, que el nombre de temporals per any al llarg dels 12 anys considerats ha disminuït. Pel sector SE mantenen una tendència constant. Però, els sectors amb component sud, especialment entre el S i el SW, hi ha unes tendències creixents que impliquen un augment important en el nombre de temporals al llarg dels anys, que podria ser molt rellevant si aquesta tendència es manté de cara al futur.

Taula 10 Tendències variació de temporals per sector
Font: Ecosost

Sector	Tendències temporals
ENE	-0.1003
E	-0.173
ESE	-0.0594
SE	-0.0297
SSE	0.3726
S	0.3869
SSW	0.4422
SW	0,435

Efectes sobre el litoral del temporal Glòria

El temporal *Glòria* va impactar severament sobre la franja litoral de Barcelona, on hi va causar grans afectacions a tots els nivells.

Pèrdua de sorra generalitzada en la línia de costa i moviment de sorra als passejos

El volum de sediment perdut és de 45.781 m³ (dades de 30 de gener 2020 respecte al gener del 2019). Sumant aquesta quantitat a la pèrdua acumulada, que les platges de la ciutat presentaven des de 2011, resulta un volum total de sediment perdut de 300.000 m³ de sorres. La superfície mitjana perduda és del 8,4 % que representa 18.313 m².

Imatge 22 Platja de la Nova Icària abans (esquerra), durant (centre) i després (dreta) del temporal *Glòria*



Font: Resum sobre la Formació i Conseqüències de la Borrasca *Glòria*

Trencament i danys a les infraestructures de protecció

Afectacions a les infraestructures de protecció com la Duna de la Mar Bella, l'Espigó del Guti, l'espigó de la Nova Mar Bella, espigó de Bogatell, dic en T de la Barceloneta i l'espigó de Bac de Roda entre d'altres.

Altres afeccions sobre les infraestructures, equipaments i mobiliari

Hi ha hagut una afectació de les infraestructures, equipaments i serveis de titularitat municipal, afectant la senyalització, locals, mobiliari, paviments, instal·lacions, panells informatius, clavegueram, infraestructures del Port Olímpic i del Port del Fòrum. Queda pendent de valoració les afectacions al Port Olímpic.

Imatge 23 Estat del espigó de la Nova Mar Bella



Font: www.barcelonaaldia.com

Desperfectes i desplaçament del mobiliari urbà

Afectacions a les instal·lacions. Afectacions majoritàries a la xarxa de megafonia, instal·lacions de les concessions; fuites a les canalitzacions dels locals dels porxos. Per efecte de vent i onades s'han malmès dos panells de la platja (mar Bella i Bogatell) a l'obrir-se els tancaments i afectant-se les instal·lacions interiors.

Trencament de paviments, tant de fusta com de pedra. Les afectacions són majoritàriament al paviment de pedra i marbre al Fòrum, Nova Icària i passeig Bogatell, reparacions davant dels locals de Llevant, i reposició de paviments de fusta a la Barceloneta.

Afectacions a la població i les activitats econòmiques a les platges de Barcelona

L'estimació de pèrdua potencial d'usuaris és d'uns 4.800 usuaris/dia, que per tota la temporada alta equivaldria aproximadament unes 550.000 persones. Aquest és el volum de població que es calcula que es veurà directament afectada, estimant-se que aproximadament el 62 % són residents de Barcelona.

Imatge 24 Desperfectes en el mobiliari urbà de les platges



Font: Betevé

A nivell econòmic, els costos de les afeccions descrites s'han estimant en més de 23 milions d'euros.

Taula 11 Costos aproximats de les afeccions causades pel temporal Glòria
Font: Barcelona Regional

	Import
Danys en infraestructures, equipaments i serveis de titularitat pública municipal (Temporal Marítim)	1.438.984,00 €
Danys en infraestructures, equipaments i serveis de titularitat pública de la Generalitat de Catalunya (Temporal Marítim)	5.765.954,03 €
Danys en el domini públic marítim terrestre (Temporal marítim)	5.411.451,18 €
Danys a les entitats i instal·lacions del litoral de Barcelona (Temporal marítim)	1.302.135,30 €
Danys en infraestructures, equipaments i serveis de titularitat pública municipal a la ciutat (Vent/Pluja)	9.694.554,69 €
TOTAL	23.613.079,20 €

En el context actual d'emergència climàtica, els efectes produïts pel temporal *Glòria* apunta a la necessitat de millorar la capacitat per a predir la freqüència i intensitat d'esdeveniments meteorològics i oceanogràfics extrems, explorar les seves possibles conseqüències, i proposar possibles mesures preventives i paliatives. Això requereix, establir i consolidar sèries temporals llargues d'observació marina i estudiar els processos dinàmics de resposta i reajustament dels sistemes del litoral i la plataforma continental. Les sèries temporals són fonamentals per a caracteritzar els ecosistemes litoral i marí, identificant tant el seu estat mitjà actual (baseline) com els períodes de retorn d'esdeveniments singulars, com per exemple borrasques extremes.

Increment de la temperatura

El medi litoral es veu afectat per l'increment de les temperatures del medi terrestre (especialment les temperatures nocturnes) i per l'augment de les temperatures de l'aigua del medi marí. Ambdós efectes fan que sigui una zona especialment vulnerable.

Increment de la temperatura del medi terrestre

Els entorns urbans són més vulnerables a les altes temperatures que no pas els entorns rurals o menys urbanitzats. Actualment, als entorns urbans és on es registren les temperatures més elevades. La presència massiva d'asfalt i d'edificis amb materials que absorbeixen les temperatures elevades durant el dia i a la nit alliberen calor a l'atmosfera i les condicions atmosfèriques pròpies de la ciutat contribueixen, en els entorns urbans, a un increment de temperatura associat al canvi climàtic, amb la qual cosa s'agreuja un problema que ja existeix.

Diversos estudis mostren que l'augment de la calor i especialment dels episodis de temperatura extrema són un dels perills climàtics més rellevants per a la població europea. Segons dades de l'Organització Meteorològica Mundial (WMO), els episodis climàtics extrems que han produït més mortalitat en els darrers anys a Europa són precisament els associats a les altes temperatures. Entre els anys 1970 i 2012 es van produir 1.352 desastres associats a episodis climàtics extrems, dels quals les temperatures extremes només representaven el 17 % del nombre de desastres, però, en canvi, van causar el 94 % de les morts ocorregudes, amb un total d'unes 141.000 vides perdudes.

Per tant, l'increment de les temperatures té una incidència molt directa sobre un entorn tan urbanitzat com és el territori barceloní i afecta no tan sols la salut de les persones i la seva qualitat de vida, sinó també la qualitat i l'ús de l'espai públic i les demandes energètiques dels diferents teixits urbans.

En aquest sentit, en qualsevol dels escenaris climàtics previstos (RCP 4.5 i RCP8.5) l'increment de la **temperatura mitjana augmenta** de manera notòria, sent el litoral de Barcelona una de les zones on aquest increment serà més acusat. La temperatura mitjana anual al medi litoral és d'aproximadament 17,3 °C. Amb el canvi climàtic es preveu a final de segle increments entre els +1,86 °C i els +2,95 °C. Això equival a tenir un clima similar a Màlaga, en el cas més favorable, o al del Nord d'Àfrica, en el cas més desfavorable.

Increment notori de la temperatura mitjana en qualsevol escenari

Taula 12 Projeccions climàtiques de la temperatura mitjana al litoral de Barcelona
 Font: Àrea Metropolitana de Barcelona, Servei Meteorològic de Catalunya i Barcelona Regional.

	Temperatura mitjana anual actual (1971-2000)	2070		2100	
		RCP4.5 (2041-2070)	RCP8.5 (2041-2070)	RCP4.5 (2071-2100)	RCP8.5 (2071-2100)
Temperatura mitjana (°)	17,32	19,03 (+1,71)	19,41 (+2,09)	19,18 (+1,86)	20,27 (+2,95)

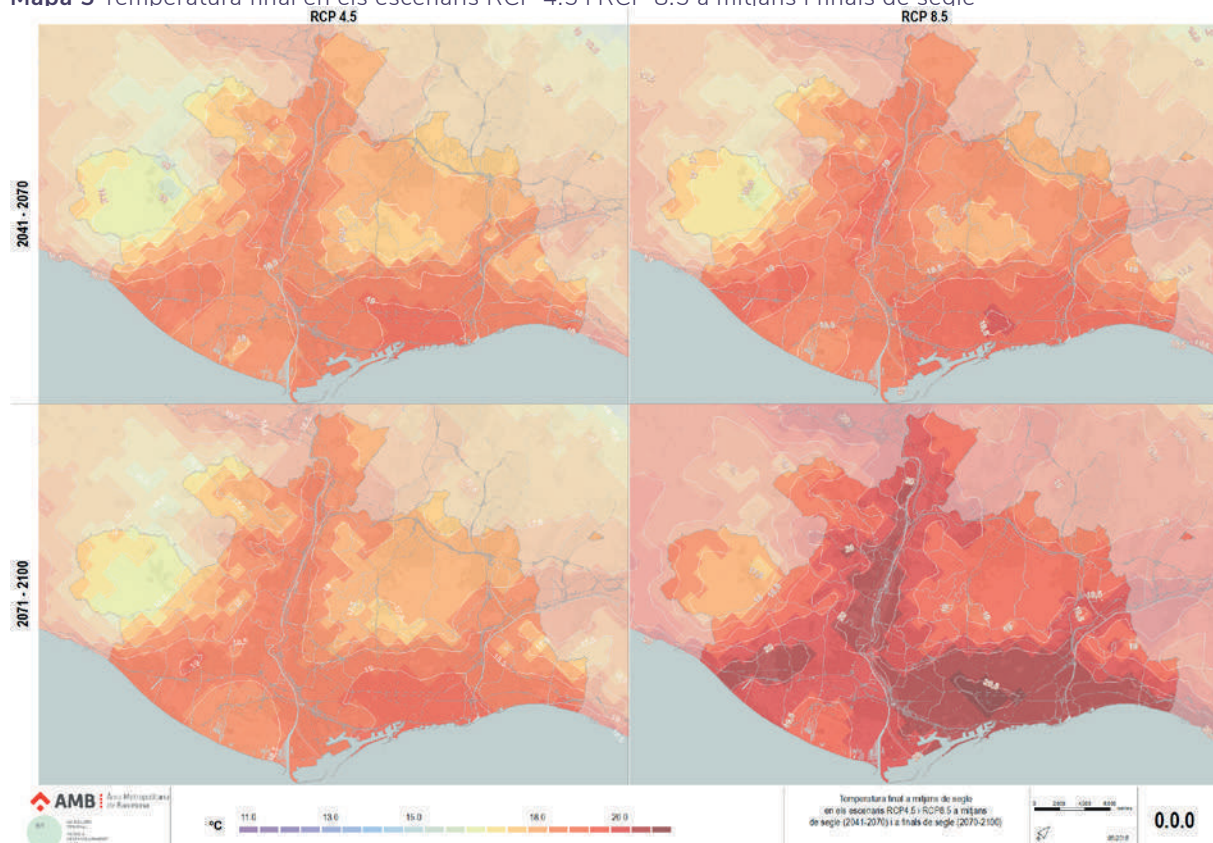
Al litoral de Barcelona, destaquen sobretot els increments previstos relacionats amb les temperatures nocturnes (nits tropicals i nits tòrrides). Pel que fa a les nits tropicals (temperatura mínima >20 °C), actualment tenim a Barcelona una mitjana de 38 nits a l'any. Amb les projeccions s'estima que tinguem màxims superiors a 1 mes sota l'escenari compromès (RCP4.5) a pràcticament tota Barcelona. Els augments màxims són de 45 nits tropicals sota l'escenari compromès (RCP4.5) i de 74 nits sota l'escenari passiu (RCP8.5) a l'àmbit litoral de Barcelona.

Incrementos de les nits tropicals i nits tòrrides

Pel que fa a les nits tòrrides (temperatura mínima >25 °C), també tenen en el futur un increment destacat, potser no tant pel nombre d'increment de nits, sinó per les molèsties que poden generar a la població en el període de descans.

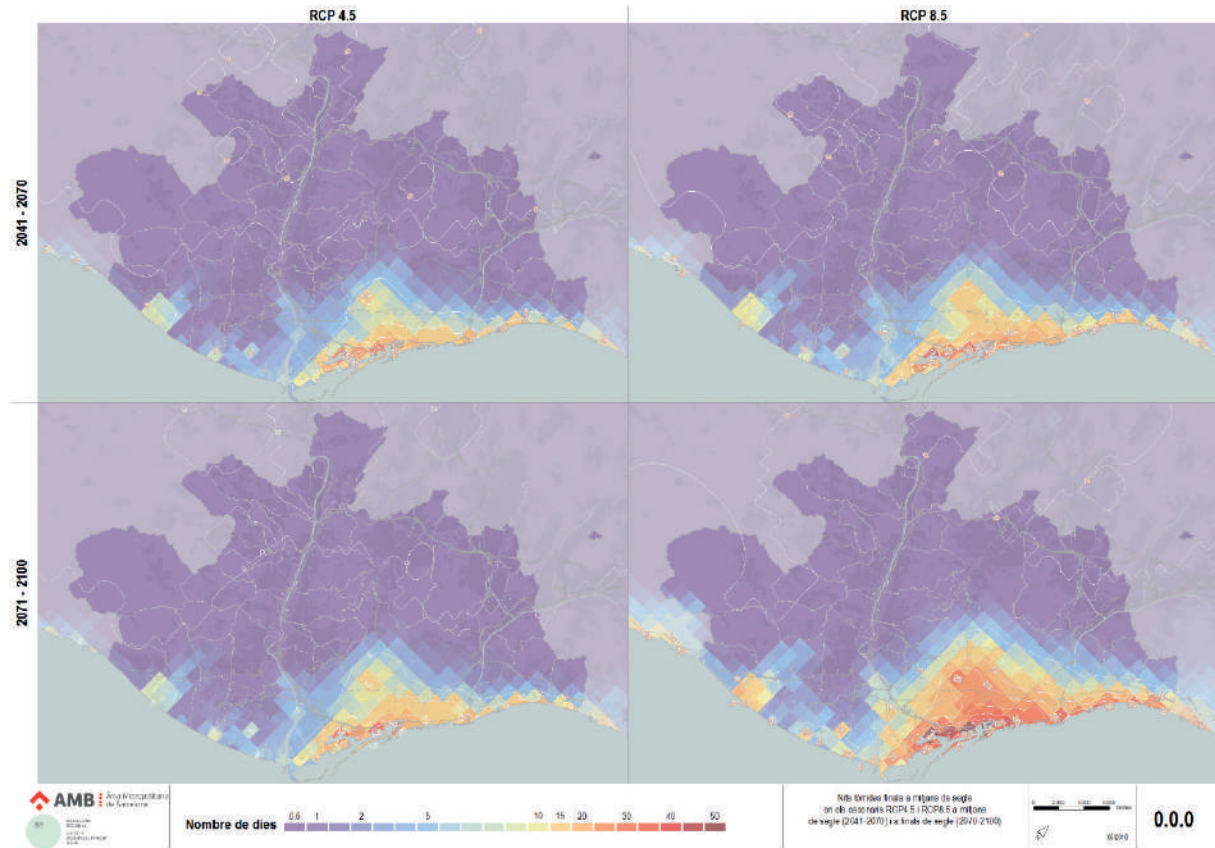
Tal com es pot veure en el següent mapa, les projeccions climàtiques preveuen increments importants al litoral de Barcelona de les nits tòrrides en qualsevol dels escenaris analitzats, destacant màxims de fins a 50 nits tòrrides sota l'escenari passiu a finals de segle als barris del litoral com la Barceloneta.

Mapa 5 Temperatura final en els escenaris RCP 4.5 i RCP 8.5 a mitjans i finals de segle



Font: Àrea Metropolitana de Barcelona, Servei Meteorològic de Catalunya i Barcelona Regional.

Mapa 6 Nits tòrrides en els escenaris RCP 4.5 i RCP 8.5 a mitjans i finals de segle



Font: Àrea Metropolitana de Barcelona, Servei Meteorològic de Catalunya i Barcelona Regional.

Efectes sobre la salut degut a l'increment de la calor

La calor excessiva i sostinguda tindrà efectes directes sobre la salut de les persones, ja que comportarà un augment de la mortalitat, la morbiditat i un agreujament de les afeccions sensibles a la calor (especialment les cardiovasculars i les respiratòries), especialment en els grups més vulnerables com ara les persones amb patologies cròniques; les persones amb problemes de salut tals com problemes cardíorespiratoris, asma, etc.; les persones que prenen medicació que actua sobre el sistema nerviós central; dones embarassades; persones amb discapacitat, física i/o mental que tenen limitada la mobilitat i l'autocura; gent gran, major de 75 anys; nadons, infants i nens; persones que viuen en condicions socials precàries; i, personal laboral exposat de forma contínua al sol, d'entre altres.

Efectes directes greus sobre la salut de les persones i un augment de la mortalitat

Altres efectes sobre la salut de les persones es poden donar en forma de cops de calor, esgotament, síncope, granellades, fatiga i rampes són alguns dels símptomes provocats per la calor. D'altra banda, l'exposició a la calor també afecta a l'estat d'ànim i la salut mental de les persones. Així mateix, l'increment del nombre de nits tòrrides al litoral de Barcelona, comportarà una afecció en el descans nocturn de les nits estivals, sobretot entre la població sensible anteriorment esmentada.

Imatge 25 Proposta pel passeig Marítim de Llevant



Font: Barcelona Regional

Per pal·liar aquest efecte, s'haurà d'apostar de forma decidida per **incrementar la presència del verd urbà**, especialment en alguns trams del litoral on la presència de verd és escassa. L'efecte de l'evapotranspiració de la vegetació fa disminuir la temperatura de l'aire i ajuda a generar brises i espais d'obra que també ajuden a refrescar l'ambient. A més a més, la mateixa presència de la vegetació en la majoria dels casos comporta un grau de permeabilització dels sòls que també contribueix a la regulació tèrmica. Per tant, el verd urbà té efectes positius tant en la qualitat de l'espai públic, millorant la qualitat tèrmica de l'espai públic, com en la reducció dels efectes de les altes temperatures sobre les persones, sense consum d'energia.

Els parcs urbans poden tenir una important reducció de l'efecte tèrmic en un entorn urbà, ja que són grans àrees que normalment concentren molta vegetació.

Una altra mesura a adoptar per combatre les altes temperatures és incentivar la rehabilitació dels teixits urbans litorals amb criteris tèrmics.

A mesura que pugen les temperatures a causa del canvi climàtic, existeix paral·lelament un sobreescalfament dels edificis, sobretot aquells ubicats en zones crítiques, com el litoral de Barcelona. En aquest sentit, per tal de reduir la incidència sobre la salut de les persones i tenir un major confort als habitatges, els edificis poden ser rehabilitats amb criteris tèrmics, eliminant l'excés de calor a l'interior. Aquesta rehabilitació podria reduir el consum energètic derivat de la calefacció i refrigeració, que suposa aproximadament el 50% del consum d'energia final en Europa.

Així mateix, la rehabilitació dels habitatges en aquests teixits, hauria de prioritzar l'eficiència energètica mitjançant l'ús de fonts d'energia renovables, que permetran reduir les emissions de CO₂.

Increment de la temperatura de l'aigua

L'avaluació de les variacions en l'oceà a llarg termini és una de les claus per entendre com el clima està canviant i per identificar els mecanismes que el controlen. L'augment de temperatura en mars i oceans és una de les respostes més conegudes als canvis naturals i / o antropogènics que posen en relleu l'important paper de l'oceà en el canvi climàtic.

En aquest sentit, la temperatura superficial de la mar (SST) és una variable física important dels mars i oceans per a la qual existeix un registre exhaustiu. Per això, les tendències en SST s'utilitzen generalment com a indicador per avaluar la incidència del canvi climàtic.

Amb relació als ecosistemes marins propers a la costa de Catalunya ja s'evidencien canvis a causa de l'increment de temperatures. La costa catalana i en aquest cas la barcelonina, es mostra especialment sensible al canvi climàtic a causa de les característiques de conca tancada típica del mar mediterrani i a l'elevada biodiversitat.

Pel que fa a la temperatura superficial de l'aigua, la conca mediterrània presenta una important variabilitat segons l'època de l'any. Segons diversos estudis, la temperatura superficial en els mesos d'estiu no només presenta valors més alts, sinó que segueix patrons espaials molt marcats que són molt diferents dels de d'hivern. Això s'ha de tenir en compte a l'hora d'estudiar la relació entre la temperatura superficial i els esdeveniments meteorològics extrems, com les pluges torrencials. Les taxes d'escalfament de la temperatura superficial de l'aigua no són només constants, sinó que s'han accelerat en els darrers anys (1982–2016) en un total d'entre $1,27 \pm 0,12$ °C (F. Pastor et Al. 2019).

Altres informes, com el tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya segueixen aquesta mateixa línia i evidencien que la mar catalana s'està escalfant a una velocitat de 0,3 °C per decenni. Aquests canvis progressius, juntament amb episodis puntuals de sobreescalfament a l'estiu o amb un augment de les tempestes de tardor, poden tenir efectes negatius sobre la biodiversitat, tal com se detallen en el apartat 8.11.

**Increment
de 0,3 °C
per decenni**

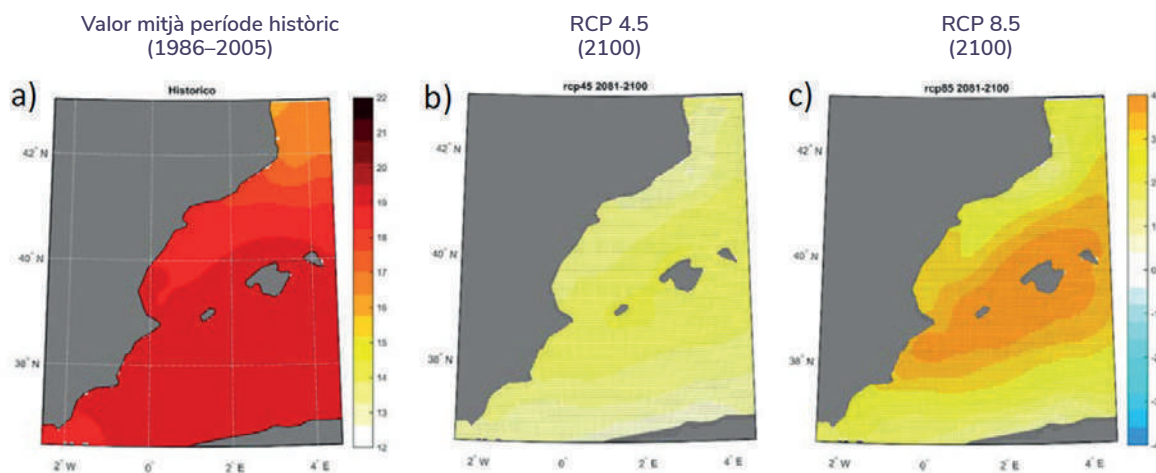
Projeccions al litoral de Barcelona

L'Institut hidràulic de Cantàbria ofereix projeccions climàtiques de la temperatura superficial de l'aigua del mar (Sea Surface Temperature, SST) per als dos escenaris climàtics (RCP 4.5 i RCP 8.5) i per a tots dos períodes futurs (2026–2045 i 2081–2100). Per a la costa de Barcelona, s'observa un augment de la temperatura per ambdós escenaris i períodes. Per a l'escenari passiu a finals de segle es preveu un augment de la temperatura de fins a 1,5 °C. Cal destacar, que per altres zones com les Illes Balears s'esperen canvis màxims de 4.0 °C, especialment per a l'escenari passiu (RCP 8.5).

Taula 13 Projeccions de la temperatura superficial de l'aigua del mar per als diferents models climàtics
Font: Institut Hidràulic de Cantàbria

Valor mitjà període històric (1986-2005)	2045		2100		
	RCP4.5 (2026–2045)	RCP8.5 (2026–2045)	RCP4.5 (2081–2100)	RCP8.5 (2081–2100)	
Variació de la Temperatura superficial de l'aigua (SST)	17,94	0,4710	0,5605	0,8089	1,5446

Imatge 26 Temperatura superficial mitjana en el període històric (1986-2005) i els canvis projectats a finals de segle per als escenaris RCP 4.5 i RCP 8.5



Font: Institut Hidràulic de Cantàbria

Efectes de l'increment de la temperatura de l'aigua

A banda dels efectes sobre la biodiversitat, que es comenten àmpliament a l'apartat 8.11, els increments de temperatura superficial de l'aigua comporten altres efectes irreversibles en els ecosistemes i els cicles biogeoquímics, com per exemple:

- A llarg termini, els augments en la temperatura superficial de la mar també poden **reduir la quantitat de nutrients** subministrats a les aigües superficials de la mar profunda (upwelling). Això comporta una **disminució de les poblacions de peixos**. (EPA, 2010).
- L'increment de temperatura produeix un **augment progressiu de l'estratificació** en les aigües superficials en regions tropicals i temperades. Les conseqüències són una reducció en l'aportació de nutrients a la zona fòtica (on al fitoplàncton li arriba llum per fotosintetitzar), amb la consegüent disminució de la producció primària a escala global, disminuint l'eficiència de la bomba biològica. Les espècies de fitoplàncton més grans (diatomees, cocolitofòrids), que al seu torn contribueixen més a la captació de CO₂ i al transport de carboni cap a aigües profundes, són substituïdes per espècies més petites (flagel·lats i cianobacteris), amb menys requeriments nutritius, però amb menor productivitat i taxes de sedimentació gairebé menyspreables. En condicions d'oligotròfia extrema i temperatures altes, els cianobacteris fixadors de N₂ poden arribar a predominar, **alterant el cicle de nitrogen** en els oceans, per la seva alta capacitat de fixar nitrogen molecular amb relació al carboni.
- Aquest augment de l'estratificació dels oceans té conseqüències importants en les regions d'aflorament costaner (*upwelling*), ja que el **contingut d'oxigen disminueix** amb l'augment de la producció biològica, promovent entorns subòxics o anaeròbics. Això afecta no només la distribució vertical dels organismes marins, sinó també l'estructura i el funcionament de la cadena alimentària sencera.

Disminució de l'O₂ de l'aigua

La concentració d'oxigen dissolt és la variable ecològica que més ha canviat en els últims anys a conseqüència de les activitats humanes. L'actual desoxigenació dels mars i oceans està començant a alterar progressivament l'equilibri de la vida, afavorint a les espècies tolerants a la hipòxia a costa de les sensibles a la hipòxia. La pèrdua d'oxigen en mars i oceans pot atribuir-se en general a dues causes subjacents:

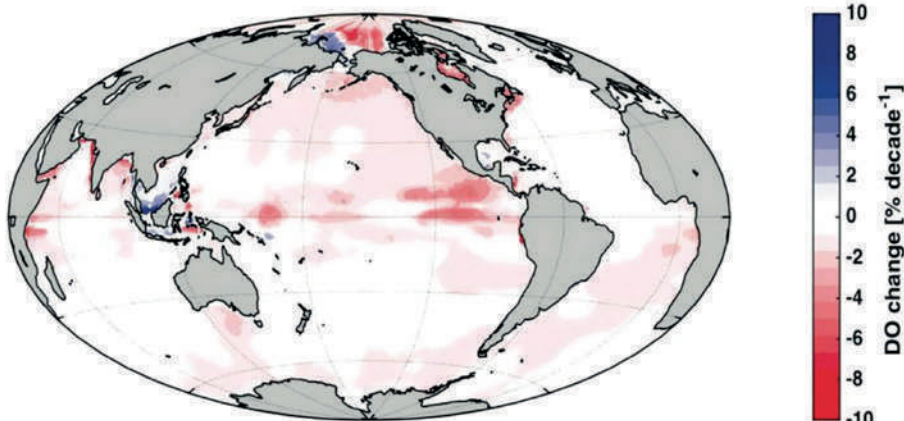
- **Escalfament de les aigües dels oceans** a causa del canvi climàtic, que provoca sobretot un canvi en la ventilació amb l'atmosfera suprajacent i una menor capacitat de retenció d'oxigen soluble.
- **Eutrofització** com a resultat del vessament de nutrients de la terra i la deposició de nitrogen per la crema de combustibles fòssils.

En aquest sentit, l'escalfament atmosfèric resultant de les emissions de gasos d'efecte hivernacle que es produeix en l'aigua està provocant grans canvis en la composició física i biològica de la mar. Les dues causes també interactuen; la pèrdua d'oxigen induïda per l'escalfament causa una hipòxia impulsada per l'eutrofització en les zones costaneres i pot contribuir a l'augment dramàtic de la hipòxia costanera. La combinació d'hipòxia induïda per l'eutrofització, està provocant el sorgiment de la desoxigenació dels oceans com un nou problema d'importància mundial.

**Disminució
del 2%
d'oxigen dissolt**

El contingut global d'oxigen de l'oceà ha disminuït aproximadament entre l'1 i el 2 % des de mitjans de segle XX. Diversos estudis demostren que els augments de temperatura expliquen aproximadament el 50 % de la pèrdua d'oxigen en els 1000 m superiors de l'oceà, el que equival a una pèrdua d'oxigen impulsada per la solubilitat del voltant de $0,013 \text{ pmol O}_2 \text{ any}^{-1}$. Fins ara, la contribució de la solubilitat a la pèrdua d'oxigen per sota dels 1000 m de profunditat és d'aproximadament un 2 % (al voltant de $0,001 \text{ pmol O}_2 \text{ any}^{-1}$), i d'acord amb el càlcul més recent de la desoxigenació global ($0,096 \pm 0,042 \text{ pmol O}_2 \text{ any}^{-1}$), els canvis en la solubilitat representen el 15 % (rang del 10 % al 30 %) de la pèrdua total d'oxigen en el període comprès entre 1960 i 2010.

Imatge 27 Canvi aproximat impulsat per l'escalfament climàtic en el contingut d'oxigen dels oceans del món des de 1960



Font: Schmidtko et al., 2017

Projeccions a nivell mundial

Simulacions actuals de models de canvi climàtic per a finals d'aquest segle preveuen una disminució de l'oxigen de l'oceà tant en els escenaris passius com compromesos mentre que les projeccions de les exportacions fluvials als oceans costaners indiquen que l'eutrofització probablement continuarà o empitjorarà en moltes regions del món. Es preveu que l'escalfament amplifiqui encara més el problema de la desoxigenació en zones costaneres influenciades per l'eutrofització mitjançant l'enfortiment i l'ampliació de l'estratificació de l'aigua de mar.

A mesura que l'oceà s'escalfa des de la superfície, es preveu que l'estratificació augmenti, amb una tendència a la desacceleració de la circulació oceànica a l'oceà obert. La circulació desaccelerada podria representar fins al 50 % de la desoxigenació observada en els 1000 m superiors i fins al 98 % de l'observada en l'oceà profund (>1000 m de profunditat). Els patrons espacials i mecanismes individuals encara no es coneixen prou i és necessari seguir millorant els models per optimitzar les projeccions.

A mesura que mars i oceans continuen escalfant-se, perdrà encara més oxigen a causa de l'efecte directe de la temperatura sobre la solubilitat del gas. A més, es produiran reduccions en les mescles verticals relacionades amb una millor estratificació de la flotabilitat a la capa superior de l'oceà, el que donarà lloc al fet que en la profunditat ocorri un esgotament de l'oxigen impulsat per la respiració. Es preveu que l'oceà en el seu conjunt perdi entre el 3 i el 4 % del seu inventari d'oxigen per a l'any 2100 per a l'escenari passiu (RCP8.5), i que la major part d'aquesta pèrdua es concentrarà en els 1000 m superiors de la columna d'aigua on la riquesa i abundància d'espècies és major.

Malauradament no existeixen projeccions a una escala més local que ens permeti saber la tendència del litoral proper a Barcelona.

Taula 14 Projeccions de concentració de O₂ dissolt en l'aigua
Font: © 2019 IUCN

	Valor mitjà període històric (1960–2010)	RCP8.5 (2100)
Disminució de la concentració d'O ₂	2 %	3–4 %

Efectes de la disminució de l'O₂ de l'aigua

La desoxigenació està passant en àrees cada vegada més grans de les plataformes continentals. Es preveu que les conseqüències de la pèrdua constant de oxigen dissolt en els oceans de món provoquin canvis en els ecosistemes, compressió dels hàbitats actualment disponibles des del punt de vista biològic i canvis a gran escala en els serveis dels ecosistemes. Algunes conseqüències són:

Pèrdua de biomassa

- Mortalitat directa d'espècies pesqueres
- Mortalitat directa d'espècies de presa
- Reducció de el creixement i la producció

Pèrdua de biodiversitat

- Mortalitat d'espècies sensibles
- Major susceptibilitat a malalties i altres factors estressants
- Menor complexitat de la cadena alimentària

Pèrdua d'hàbitat

- Amuntegament d'organismes en hàbitats subòptims
- Major risc de mortalitat per depredació natural i pressió de pesca
- Rutes de migració alterades o bloquejades

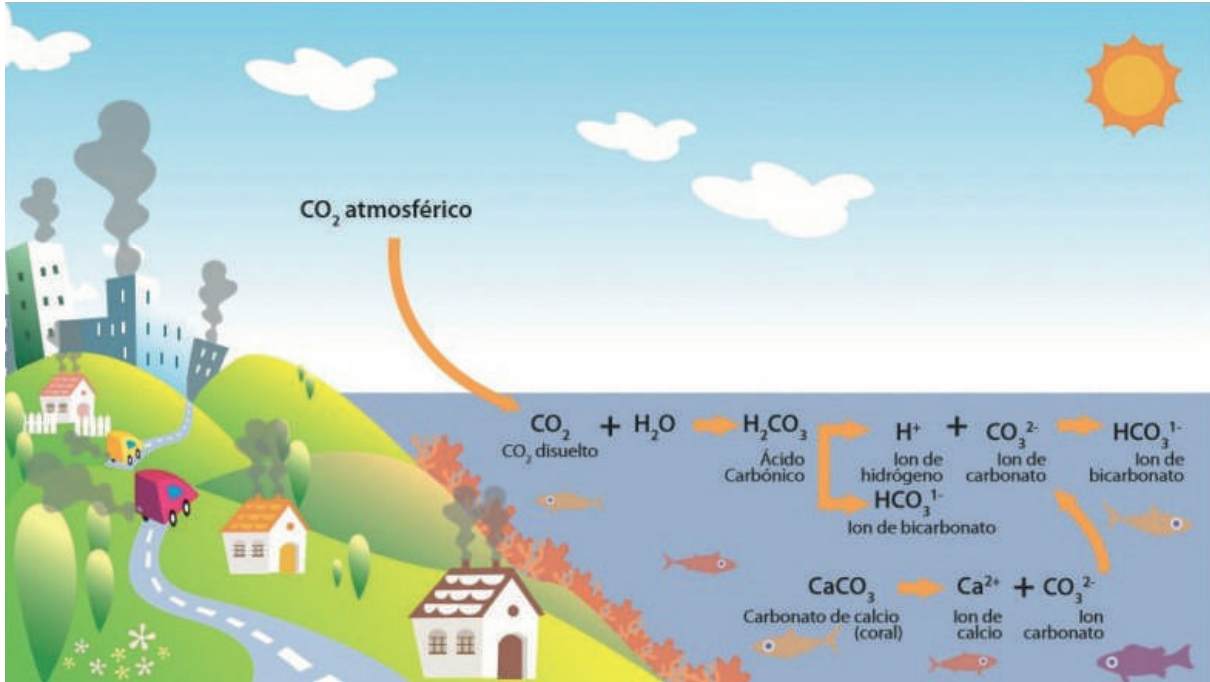
Energia i cicles geoquímics alterats

- Major flux d'energia a través de microbis
- Producció de sulfur d'hidrogen tòxic
- Alliberament de fòsfor i altres nutrients de sediments que alimenten les floracions d'algues
- Pèrdua de la desnitrificació



Acidificació de l'aigua marina

Imatge 28 El procés d'absorció de CO₂ i d'acidificació

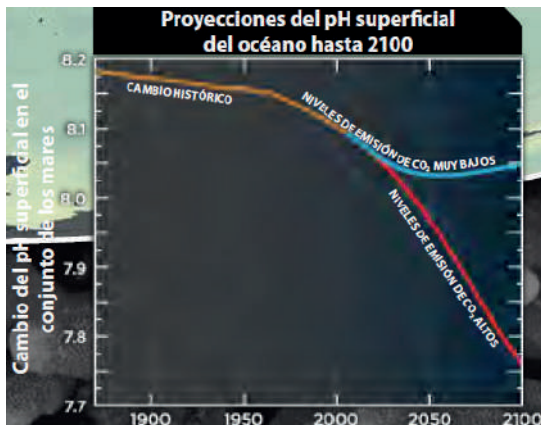


Font: IGBP, COI, SCOR (2013): La acidificación del océano. Resumen para responsables de políticas – Tercer simposio *El océano en un mundo con altos niveles de CO₂*. Programa Internacional Geosfera – Biosfera, Estocolmo (Suecia)

El CO₂ absorbit per l'atmosfera reacciona amb l'aigua del mar formant àcid carbònic (H₂CO₃), el qual allibera un ió bicarbonat (HCO₃⁻¹) i un ió d'hidrogen (H⁺). L'augment dels ions d'hidrogen en el medi fa disminuir el pH.

El pH de la superfície de l'oceà ha disminuït des de 8,2 a 8,1, que correspon amb un augment del 26 % de H⁺. Mentre continui augmentat el CO₂ atmosfèric, els mars i oceans el seguiran absorbint, fent-lo més àcid i així reduint el pH.

Imatge 29 IProjeccions del PH superficial de l'oceà fins el 2100



Font: IGBP, COI, SCOR (2013): La acidificación del océano. Resumen para responsables de políticas – Tercer simposio *El océano en un mundo con altos niveles de CO₂*. Programa Internacional Geosfera – Biosfera, Estocolmo (Suecia)

Segons les projeccions futures, si les emissions de diòxid de carboni segueixen el ritme actual (RCP 8,5), es preveu que l'any 2100 l'augment de l'acidesa serà de fins a un 170 %. El ritme d'acidificació actual és 10 vegades superior al de qualsevol altre moment en els últims 55 milions d'anys (Font: IGBP, UICN)

L'acidificació de l'oceà no està explícitament regulada pels tractats internacionals. Els processos i convenis internacionals i regionals de les Nacions Unides estan començant a posar en relleu el fenomen de l'acidificació de l'oceà (Conveni de Londres i Protocol, Convenció de les Nacions Unides sobre el Dret de la Mar, Conveni sobre la Diversitat Biològica, entre d'altres).

Conseqüències de l'acidificació

Les repercussions de l'acidificació són variades:

- Afectacions als processos biològics i fisiològics de molts organismes (tractat a l'apartat de biodiversitat)
- Efectes en els processos que originen les correntes marines i els moviments verticals de l'aigua
- Impactes en les societats humanes a nivell socioeconòmic i de seguretat alimentària
- El turisme es pot veure afectat per l'acidificació oceànica i per l'escalfament a causa de la degradació d'ecosistemes marins (pèrdua d'espècies emblemàtiques coral·lines, com les gorgònies-corals tous) en experiències de busseig, i a causa de la proliferació massiva de meduses.
- Saturació de diòxid de carboni a l'aigua amb la subseqüent incapacitat d'absorció d'aquest i per tant una acceleració del canvi climàtic.

L'acidificació al mar mediterrani

El Mar Mediterrani és particularment sensible a l'acidificació a causa del seu caràcter semitancat, a les propietats químiques i mecanismes de circulació de les seves principals masses d'aigua i al fet que rep carboni antropogènic des de l'Atlàntic Nord a través de l'Estret de Gibraltar. Segons el projecte europeu *MedSea* (que ha analitzat els efectes de l'acidificació i de l'escalfament a la Mediterrània, 2014) l'acidesa de les seves aigües s'ha incrementat un 10 % des de 1995, i ho farà un 30 % més fins a l'any 2050 si continua el ritme actual de les emissions de CO₂. En unes poques dècades l'acidificació del mar Mediterrani probablement haurà augmentat en un 60 % des de l'inici de la revolució industrial, i a finals de segle aquest increment haurà pogut arribar al 150 %. Així mateix les condicions de sobrepesca i la contaminació accentuen encara més els efectes de l'acidificació al Mediterrani.

El mediterrani és un mar profund i semitancat que es caracteritza per un actiu intercanvi d'aigües des de la superfície fins a les profunditats, un procés conegut com a «ventilació», que distribueix la calor i el carboni antropogènic efectivament cap a l'interior de la conca marina, de manera que les aigües profundes també s'estan escalfant i acidificant.

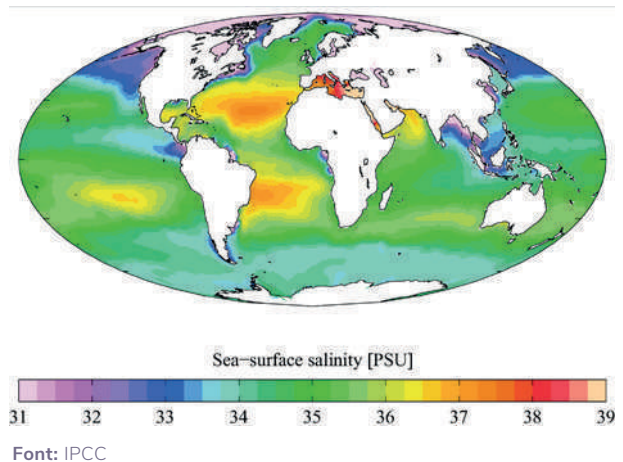
L'eficiència de la captació i exportació de carboni des de les aigües superficials cap a l'interior de la conca depèn de les escales de temps relativament ràpides per a l'intercanvi d'aigües superficials i profundes i de la circulació general mediterrània. Per tant, l'efecte combinat de l'acidificació de l'aigua de mar del Mediterrani (absorció de CO₂ antròpic per unitat d'àrea), amb un baix escalfament troposfèric sobre la biogeoquímica mediterrània, els ecosistemes i els serveis ecosistèmics que donen suport, a través d'impactes directes sobre els seus organismes calcaris i no calcaris altament adaptats és més gran que en altres regions europees.

**Increment
del 30 %
fins a l'any
2050**

Increment de l'evapotranspiració i de la salinització

Els nivells de salinitat són importants per dos motius. En primer lloc, juntament amb la temperatura, afecten directament la densitat de l'aigua de mar (l'aigua salada és més densa que l'aigua dolça) i, per tant, determinen la circulació dels corrents oceànics des dels tròpics fins als pols. Aquests corrents controlen el transport de la calor als oceans i, en última instància, regulen el clima mundial. En segon lloc, la salinitat de la superfície del mar està íntimament relacionada amb el cicle global de l'aigua de la Terra i amb la quantitat d'aigua dolça que surt i entra als oceans per evaporació i precipitació. Mesurar la salinitat és una manera de sondejar el cicle de l'aigua amb més detall.

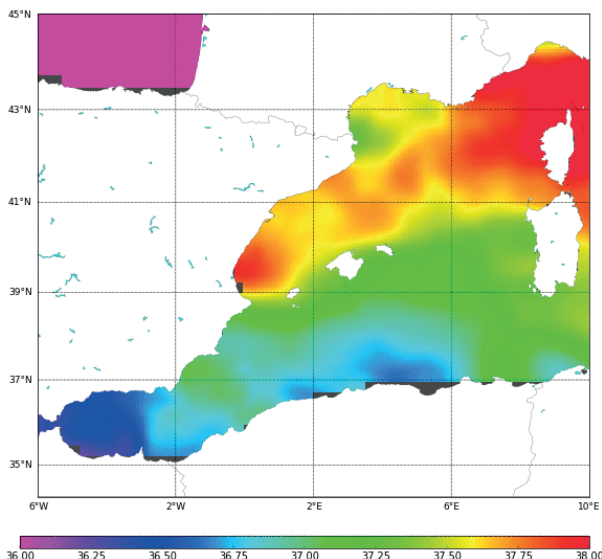
Imatge 30 Grau de salinitat dels mars i oceans (grams de sals per litre d'aigua)



A escala global, des de meitat del segle XX, les regions dels oceans amb més influència de la precipitació han vist reduïda la seva salinitat, mentre que hi ha augmentat a les zones dominades per processos d'evaporació (Skliris *et al.*, 2014; Durack, 2015). (Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya).

Projeccions en el Mediterrani

Imatge 31 Oscil·lacions del nivell de salinitat al mediterrani occidental



Font: Barcelona Expert Center (BEC). <http://bec.icm.csic.es/six-years-of-the-new-smos-sss-maps-in-the-mediterranean-sea-now-available/>

El mar mediterrani és un dels més salats del planeta, ja que es troba aïllat, és a dir, amb poques connexions amb altres mars i oceans, i a més les aportacions d'aigua dolça (per l'aigua de pluja i les desembocadures dels rius) són menors que l'evaporació. Tot i això el mar mediterrani no s'asseca gràcies a les aportacions d'aigua de l'oceà atlàntic per l'estret de Gibraltar.

Pel que fa a projeccions de futur, per bé que en general per a la Mediterrània s'apunta a un increment continuat de la salinitat, la zona de la mar catalana és una excepció on, segons quina sigui la simulació, es projecten increments o disminucions de la salinitat (Adloff *et al.*, 2015). (Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya).

Precisament estem en un àmbit del mediterrani, on no estan clares quines són les previsions previstes en el futur.

Salinització dels aqüífers costaners

A l'àrea mediterrània és molt habitual que una part important dels recursos hídrics s'abasteixin mitjançant els recursos subterranis. Amb un clima amb una pluviometria escassa i molt variable, el paper dels aqüífers al mediterrani és clau per garantir el subministrament d'aigua pels diferents usos necessitats.

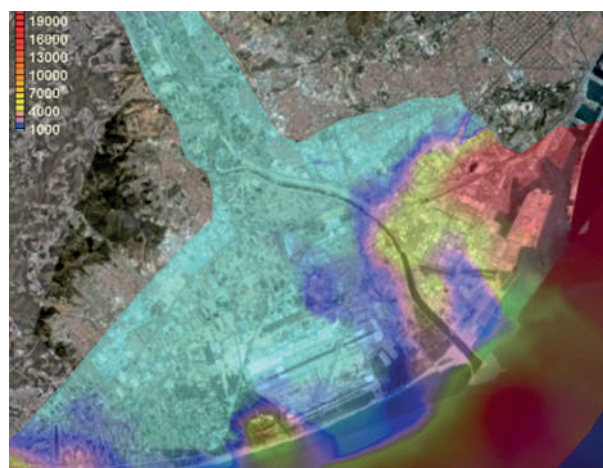
Això comporta que una part important d'aquests aqüífers estiguin sobreexplotats, i en el cas dels aqüífers litorals, aquesta sobreexplotació moltes vegades comporta una salinització, ja que l'excés de bombeig dels pous, comporta una depressió del nivell freàtic que afavoreix la intrusió salina.

Això és el que ha passat amb els aqüífers del nostre litoral, on el paper de l'aqüífer del Delta del Llobregat té un paper estratègic per a l'abastament d'aigua potable. Els nivells d'explotació que ha tingut aquest aqüífer des dels anys 70, conjuntament amb les obres d'ampliació del port, van fer que una falca d'aigua marina salinitzés una part de l'aqüífer.

Amb el canvi climàtic es preveu una reducció de recursos hídrics (-20 % dels recursos actuals), i especialment en el recursos hídrics superficials (-12 %). Això pot comportar un major ús de les aigües subterrànies i per tant un major risc de salinització dels aqüífer. A més, encara que amb un grau d'impacte menor, l'increment del nivell del mar també suposarà un factor afegit a la salinització, ja que l'entrada d'aigua marina s'incrementa lleugerament al tenir més superfície de contacte l'aqüífer amb la massa marina.

En el cas de l'aqüífer del Pla de Barcelona, l'altre aqüífer que Barcelona utilitza la seva aigua, el risc de salinització és menor, ja que la seva actual explotació és menor i destinada per usos municipals. Malgrat això s'ha de dir, que els pous de la xarxa freàtica municipal situats més pròximes al litoral actualment tenen alguns problemes de salinitat. Caldrà prevenir que aquesta salinització no vagi a més i s'eviti d'aquesta manera perdre recursos hídrics necessaris pels funcionament de la ciutat.

Imatge 32 Concentració de clorurs a l'aqüífer principal del Llobregat el 2007



Font: La barrera hidráulica contra la intrusión marina y la recarga artificial en el acuífero del Llobregat (Barcelona, España). F. Ortuño Gobern, J.M. Niñerola Pla, J.L. Armenter Ferrando y J. Molinero Huguet.

Increment de les descàrregues al litoral provocades per les inundacions

Un dels efectes del canvi climàtic és l'increment de les inundacions urbanes i fluvials. Tal com ens mostren les projeccions climàtiques, s'estima que a mitjans de segle, la quantitat de pluja serà més o menys igual (les reduccions es notaran a finals de segle), però sobretot el que ens portarà el canvi climàtic és una major freqüència d'episodis extrems. Canviarà la forma de ploure, amb menys dies de pluja, però amb un 17% més de pluges torrencials.

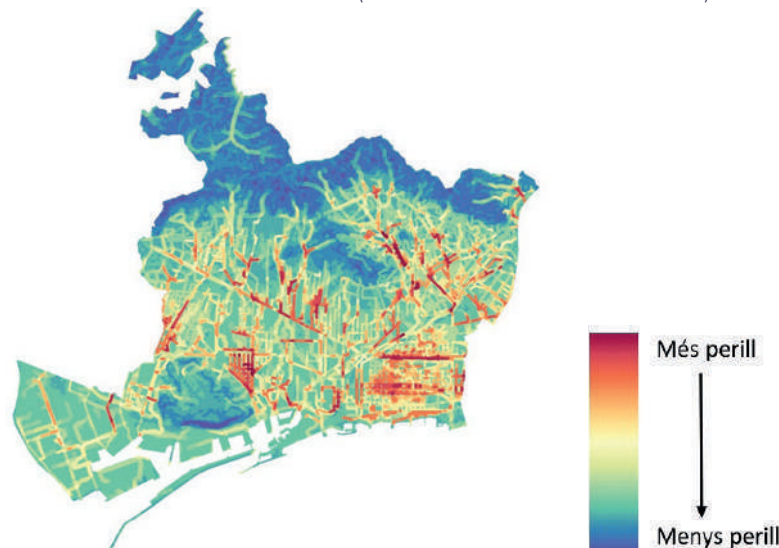
Això comportarà un major risc d'inundació fluvial, que actualment l'Ajuntament de Barcelona està treballant amb el Pla Director Integral de Sanejament de Barcelona (PDISBA) per evitar possibles inundacions o abocaments als medi receptor (el litoral) d'aigua sense tractar.

El PDISBA està plantejant la infraestructura de drenatge i clavegueram necessària per donar resposta a grans reptes de futur com són l'augment del risc inundacions derivades de l'increment de la freqüència de fenòmens torrencials i el retrocés de les platges.

Aquest nou Pla replanteja la infraestructura de sanejament i clavegueram partint de la base que les pluges torrencials augmentaran un 17%, i preveu un seguit de dipòsits, com per exemple el Dipòsit de Prim, i un increment notable dels Sistemes Urbans de Drenatge Sostenible (SUDS), que regulen l'escorrentia superficial i permeten minimitzar la quantitat d'aigua que arriba al sistema col·lector, ajudant així a reduir les possibilitats de descarregues al medi marí.

L'objectiu és evitar que amb el canvi de patró de les pluges, s'incrementen els abocaments de les descàrregues del sistema unitari (aigües pluvials + residuals), al mar, afectant a la qualitat de les seves aigües.

Imatge 33 Grau de perillositat per inundabilitat, a mitjans de segle, en un context de canvi climàtic (sense les mesures del PDISBA)



Efectes sobre les infraestructures i equipaments estratègics del litoral

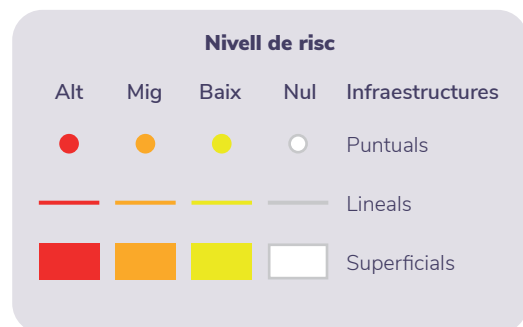
Els canvis d'origen marítim com l'increment del nivell del mar o l'augment de la freqüència dels temporals marítics derivats del canvi climàtic poden tenir conseqüències sobre les infraestructures portuàries i equipaments estratègics propers al litoral.

El treball elaborat per Barcelona Regional en el marc del *Pla Clima 2017*, «Risc sobre les infraestructures» analitza els impactes sobre les infraestructures i equipaments de la ciutat tenint en compte, entre altres riscos, els associats al canvi climàtic com l'increment del nivell del mar o l'augment dels temporals marítics. Per fer les anàlisis dels possibles efectes dels dos riscos anteriorment esmentats, es va triar com a escenari climàtic el corresponent al passiu (RCP 8.5) per a finals de segle i les condicions de cota i topobatimetries donades en el Capítol IV «Inundabilitat Marítima del Pla Clima».

Cal dir que aquest treball es va fer abans de disposar de tota la informació elaborada pel projecte RESCCUE. Està basada amb la informació de l'Institut de Cantàbria, que en aquell moment era la més actual, i que ara caldria tornar a validar amb la informació més actualitzada.

En primer lloc es realitza una classificació dels perills en 4 categories: alt, mig, baix i nul.

Posteriorment, tenint en compte les infraestructures i equipaments existents es va realitzar els mapes de valoració de risc para cada risc associat al canvi climàtic. El mapa de valoració del risc identifica totes les infraestructures litorals en risc classificades segons el seu nivell de risc: risc alt, risc mig, risc baix i nul.



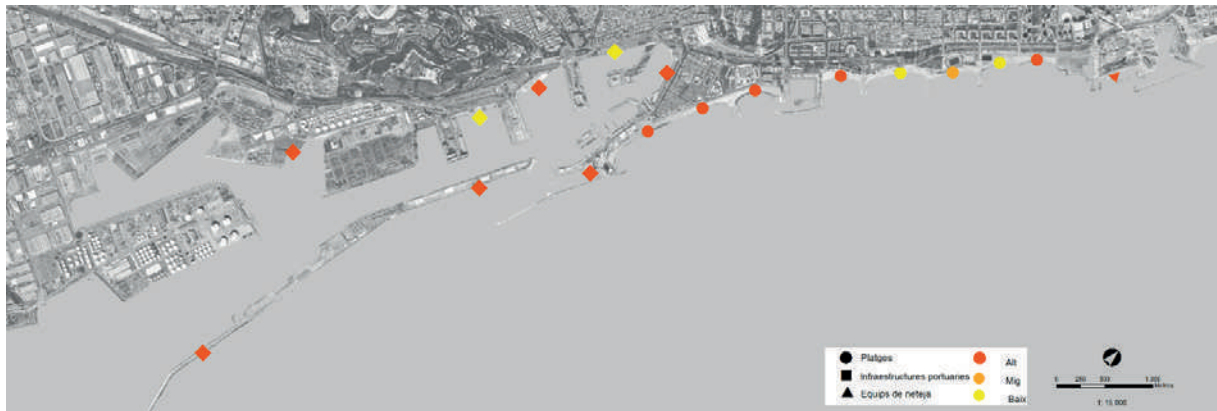
Increment del nivell del mar

El mapa de valoració del risc identifica totes les infraestructures litorals que poden quedar afectades per inundacions marítimes degudes a l'increment del nivell del mar. Es classifiquen segons el seu nivell de risc: risc alt, risc mig, risc baix i nul.

Infraestructures en risc alt

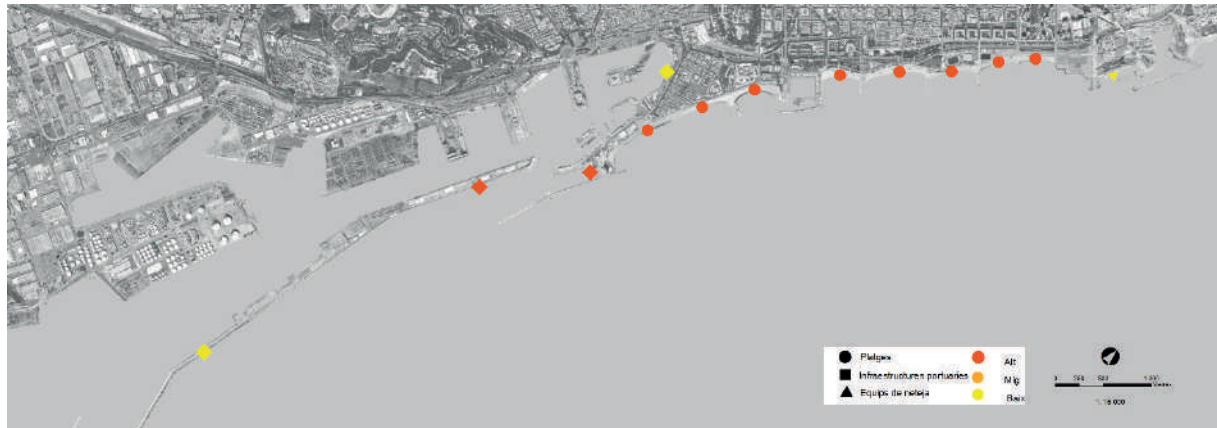
- Hi ha 1 km de línies elèctriques d'alta tensió que podria veure's afectat, però caldrà veure fins a quin punt aquest tram està preparat per aquesta possible afectació.
- Més de 7,5 km de xarxa de sanejament en alta, dels que 1,1 km són col·lectors interceptors que es podrien veure afectats.
- 28 sobreexidors es podrien veure afectats, caldrà analitzar les cotes a les que estan situats cadascun d'ells i avaluar la seva possible afectació.
- La depuradora del Besòs, en l'àmbit Fòrum, podria tenir una part de la seva superfície afectada per risc alt però de forma molt marginal pel que gairebé podria no tenir-se en consideració.

Mapa 7 Valoració del risc de deguts a l'increment del nivell del mar



Font: Barcelona Regional

Mapa 8 Valoració del risc deguts a temporals marítims



Font: Barcelona Regional

- Un **equip de neteja**, al Parc dels Auditoris, podria veure afectada un 10 % de la seva superfície amb risc alt.
- El **port**, tot i les **proteccions existents** es podria veure afectat en gairebé un 5 % de la superfície, però això és fruit de l'estat actual del Port, on hi ha zones que estan en construcció i no han assolit el seu estat final. És de preveure que un cop acabada aquesta transformació no es produeixi, però caldrà assegurar-se'n.
- Per últim, les **platges** són la infraestructura més afectada per l'increment del nivell del mar. En aquest senti, totes les platges de Barcelona estan afectades, en especial les de ponent, ja que estan a una cota menor.

Temporals marítims

Es va calcular l'abast territorial de les inundacions marítimes corresponents, i es va valorar quines infraestructures quedarien afectades. S'ha considerat que els temporals marítims no poden tenir un abast espacial il·limitat, ja que la força de les onades arribarà només fins a un cert punt. No es disposa de referències específiques per tal de determinar quina hauria de ser aquesta distància. S'ha utilitzat com a hipòtesi que podrien arribar a afectar a una franja de 500 m, que és la distància que utilitza el *Pla Director Urbanístic de les Zones Costaneres* (PDUSC) per identificar les zones litorals no urbanitzades que estan subjectes al Pla. El mapa de valoració del risc identifica totes les infraestructures litorals en risc classificades segons el seu nivell de risc: risc alt, risc mig, risc baix i nul.

Infraestructures en risc alt

- Hi ha 36 sobreeixidors que es podrien trobar en situació de risc alt. Caldria fer una anàlisi més detallat incloent les dades referents a les cotes dels sobreeixidors.
- Les 10 platges de Barcelona es veuen afectades en risc alt pels temporals marítics, i a excepció d'una, la platja de la Barceloneta, la resta tenen més del 80% de la seva superfície afectada.

Les principals dades a destacar per temàtiques són:

- **Aigua:** 8,5 km de la xarxa de sanejament en alta i 250 m de col·lectors interceptors es troben en risc mig, i a més dels 36 sobreeixidors en risc alt cal afegir un que està en risc mig.
- **Transport:** gairebé 1 km de la xarxa estructurant es podria veure afectat en risc mig o baix, i 1,2 km de viari local podria tenir risc baix.
- **Port:** un 2,5 % de la seva superfície podria veure's afectada en grau mig o baix.
- **Platges:** totes les platges es veuen afectades, majoritàriament en risc alt però també mig, assolint un 81% de la superfície afectada, i 7 de les platges tenen més del 80 % de la superfície afectada.

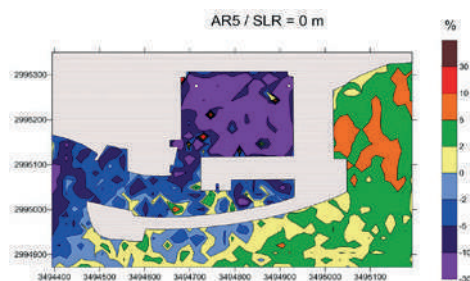
Impactes al Port Olímpic

Les variables de referència analitzades a l'estudi *Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona* elaborat l'any 2015 pel METROBS i l'Àrea Metropolitana de Barcelona per estudiar el canvi climàtic als ports són l'agitació interior i l'ultrapassament del dic de recer.

Agitació interior

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 (16 sectors de 22,5°) i rangs d'altura d'ona (0–1 m, 1–2 m, 2–3 m, 3–4 m i >4 m), determinant 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 la Hs a cada punt del port. Multiplicant les Hs obtingudes per a cada onatge per la seva freqüència de presentació, s'obté la Hs promig anual a cada punt del port, per a condicions presents i futures. Comparant ambdues, es pot estimar la magnitud del canvi de l'agitació en el futur.

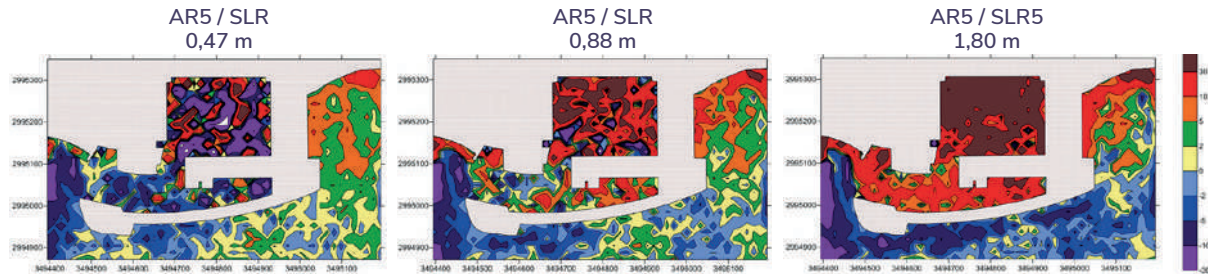
Imatge 34 Diferències (en percentatge) entre les condicions futures i les presents al Port Olímpic per a una pujada del nivell del mar de 0 m.



Font: Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona (METROBS i AMB)

Considerant que el nivell del mar es manté constant (pujada del nivell del mar de 0 m), els canvis són relativament homogenis a la dàrsena interior del port, amb reduccions de Hs superiors al 10 % en gairebé tota la zona. En la dàrsena exterior la disminució de l'agitació és menor i hi ha alguns punts que mostren lleugers increments de Hs. El promig per a tot el port dóna una disminució de l'ordre del 10 %.

Imatge 35 Diferències (en percentatge) entre les condicions futures i les presents al Port Olímpic per als diferents escenaris de pujada del nivell del mar



Font: Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona (METROBS i AMB)

Si es té en compte la pujada del nivell del mar dels tres escenaris considerats (pujades del nivell del mar de 0,47 m, 0,88 m i 1,80 m), pot comprovar-se 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 difractor-se ho farà amb coeficients de difracció més grans. Per tant, a major nivell del mar, major agitació.

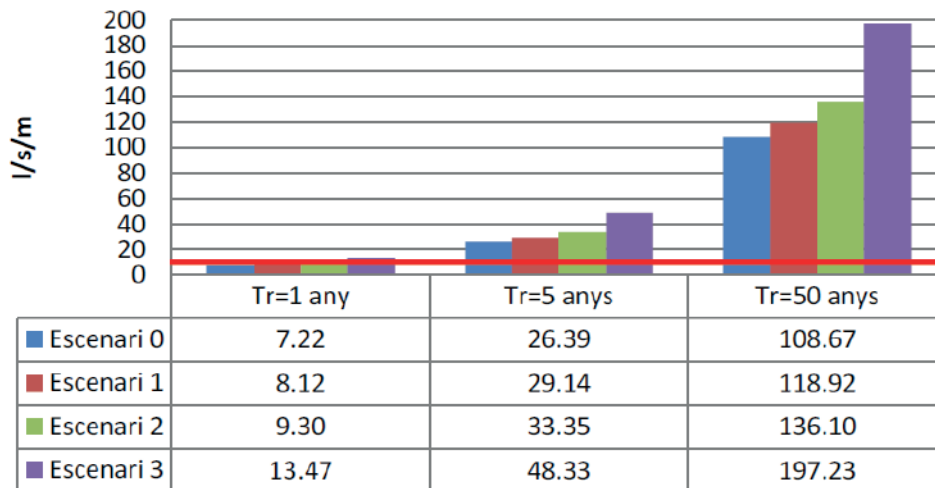
Ultrapassament del dic de recer

Per ultrapassament s'entén el cabal d'aigua que passa per sobre del dic de recer 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). En 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 en les àrees exposades durant les grans tempestes. Tenint en compte això s'ha considerat un cabal d'ultrapassament tolerable de 10 l/s/m al Port Olímpic. Això és així perquè, al Port Olímpic hi ha embarcacions amarrades al moll adossat. Aquest valor és el que correspon al flux que podria produir danys en l'estructura.

Els cabals d'ultrapassament s'han calculat per a diferents períodes de retorn $Tr = 1$ any corresponent a tempestes relativament freqüents, 5 anys per a tempestes relativament intenses i 50 anys per a tempestes excepcionals.

Pot apreciar-se 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. Menció especial mereix l'escenari 3 (pujada del nivell del mar de 1.80 m), ja que pràcticament duplica els cabals d'ultrapassament per a tots els períodes de retorn i inclús, en el cas de les tempestes freqüents ($Tr = 1$ any), donaria lloc a fluxos que excedirien l'ultrapassament tolerable (línia horitzontal vermella).

Imatge 36 Ultrapassament al Port Olímpic



Font: Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona (METROBS i AMB)

Impactes sobre els espigons

Les platges del litoral de la ciutat de Barcelona, des de la seva construcció a inicis de la dècada dels anys 90, han suposat un rotund èxit pel que respecta a la seva utilització. Les platges estan compartimentades lateralment per una sèrie d'espigons aproximadament perpendiculars a la línia de costa que habitualment són utilitzats pels ciutadans per a realitzar diverses activitats lúdiques. Aquests espigons, amb cotes de coronació relativament baixes, són ultrapassables durant els temporals.

En aquest sentit, l'estudi encarregat per BR *Anàlisi dels ultrapassaments dels espigons del litoral de la ciutat de Barcelona i la seva afecció pel canvi climàtic* realitzat per l'empresa Marciglob Consultancy Solutions va analitzar el grau d'ultrapassaments dels espigons del litoral de Barcelona i l'afecció que sobre ells pot tenir el canvi climàtic. En particular s'han analitzat els espigons de Ginebra, Bogatell, la Mar Bella (o el Ferrocarril) i Bac de Roda.

Per tal d'analitzar els impactes del canvi climàtic sobre els ultrapassaments dels espigons s'ha utilitzat els valors donats a l'informe *Estudi d'onatge en situació actual i previsions de canvi climàtic a les platges de Barcelona* per a l'escenari actual i la situació futura per a un període de 30 anys (2051). L'augment del nivell de mar previst és de 0,25 m.

En l'actualitat de tots quatre espigons, el més ultrapassable és el costat nord de l'espigó de Bac de Roda amb una probabilitat mitjana d'excedència dels valors llindars d'ultrapassament de 113 h/any, seguit de les plataformes sud i nord de l'espigó de la Marbella (amb unes excedències de 20,9 i 16,8 h/any), la plataforma sud de l'espigó de Bac de Roda (11,8 h/any), la plataforma nord de l'espigó de Ginebra (10,1 h/any), la plataforma nord de l'espigó de Bac de Roda (9,4 h/any), la plataforma sud de l'espigó de Ginebra (8,5 h/any) i el costat sud de l'espigó de Bac de Roda (0,35 h/any).

L'espigó de Bac de Roda és el més ultrapassable

En la situació futura (any 2051) el comportament és pràcticament el mateix pel que fa als espigons més ultrapassables. D'aquesta manera l'any 2051 de tots quatre espigons, el més ultrapassable és el costat nord de l'espigó de Bac de Roda amb una probabilitat mitjana d'excedència dels valors llindars d'ultrapassament de 377 h/any, seguit de les plataformes sud i nord de l'espigó de la Marbella (amb unes excedències de 139 i 112 h/any), les plataformes sud i nord de l'espigó de Bac de Roda (79,8 i 63,7 h/any), les plataformes nord i sud de l'espigó de Ginebra (54,2 i 46,0 h/any) i el costat sud de l'espigó de Bac de Roda (3,1 h/any).

Imatge 37 Probabilitats mitjanes d'excedència dels valors llindars $q = 0,3$ l/s/m i $V_{\text{màx}} = 600$ l/m¹

Situació	Plataforma / Costat	Espigó de Ginebra		Espigó de Bogatell		Espigó de la Mar Bella		Espigó de Bac de Roda	
		P($q \geq 0,3$ l/s/m)	P($V_{\text{màx}} \geq 600$ l/m)	P($q \geq 0,3$ l/s/m)	P($V_{\text{màx}} \geq 600$ l/m)	P($q \geq 0,3$ l/s/m)	P($V_{\text{màx}} \geq 600$ l/m)	P($q \geq 0,3$ l/s/m)	P($V_{\text{màx}} \geq 600$ l/m)
Actual (2021)	Sud	7,8 h/a	8,5 h/a	11,8 h/a	11,2 h/a	20,9 h/a	17,6 h/a	0,35 h/a	0,17 h/a
	Nord	9,9 h/a	10,1 h/a	9,4 h/a	9,3 h/a	16,8 h/a	14,8 h/a	113,0 h/a	112,5 h/a
Futura (2051)	Sud	45,5 h/a	46,0 h/a	79,8 h/a	70,2 h/a	139 h/a	109,2 h/a	3,1 h/a	1,4 h/a
	Nord	56,8 h/a	54,2 h/a	63,7 h/a	59,2 h/a	112 h/a	92,8 h/a	377 h/a	338 h/a

Font: MARCIGLOB

1 En negreta es presenta el valor més desfavorable per a cada espigó

Efectes sobre la biodiversitat

Molts dels efectes que s'han descrit anteriorment tenen o poden tenir un efecte important sobre la biodiversitat, des de l'increment de la temperatura i l'acidificació de l'aigua marina fins a la salinització o la disminució de l'oxigen. Aquests efectes poden tenir un impacte per si sols en la biodiversitat, o sumar-se entre si i ser acumulatius sobre els impactes que les pressions antròpiques ja tenen sobre la biodiversitat (sobreexplotació de recursos pesquers, contaminació de les aigües, etc.).

La mar Mediterrània presenta una elevada biodiversitat marina, doncs amb menys de l'1 % de la superfície marina del planeta s'hi troben un 10 % de totes les espècies marines, i d'aquestes un 30 % són endèmiques. La costa catalana presenta una gran diversitat d'habitats, degut a l'elevada variabilitat geomorfològica i de gradients fisicoquímics. Segons la classificació del European Nature Information System (EUNIS), hi ha 122 hàbitats marins, el 38 % dels quals són hàbitats d'interès comunitari i estan protegits per la Directiva Hàbitats (92/43/CEE) (Estat de la Natura a Catalunya, 2020). La regió mediterrània concentra el 10 % de la biodiversitat mundial i el 80 % de totes les espècies europees mediterrànies. El 68 % dels amfibis, el 63 % dels peixos d'aigua dolça, el 35 % dels rèptils i el 28 % dels mamífers són endèmics del Mediterrani.

Com ja s'ha apuntat en apartats anteriors, els estudis sobre el canvi climàtic en un àmbit tan reduït com el litoral de Barcelona i els seus entorns són més aviat escassos, i el cas dels impactes sobre la biodiversitat no n'és una excepció. Així mateix, cal tenir en compte que prèviament a estudiar-ne els impactes cal conèixer quina biodiversitat tenim al litoral de Barcelona i existeixen pocs estudis que es focalitzin sobre la biodiversitat del litoral a Barcelona. En aquest sentit es considera adequat, reservar un apartat del present treball a descriure la informació i estudis sobre la biodiversitat a Barcelona.

En tot cas, exceptuant alguns fenòmens molt visibles (com la proliferació de meduses a l'estiu en moment d'elevada temperatura de l'aigua del mar) o tota aquella informació que pugui ser útil i extrapolable a nivell local dels estudis a escala regional (mediterrània occidental) i global, els impactes del canvi climàtic sobre la biodiversitat a Barcelona són encara poc coneguts i estudiats.

Biodiversitat a la costa de Barcelona

Per tal de descriure els efectes del canvi climàtic en la biodiversitat, es considera adequat fer un apartat previ de resum de la biodiversitat present al litoral barceloní, per tal de posar en context la biodiversitat coneguda a Barcelona. Com ja s'ha apuntat anteriorment la informació sobre la biodiversitat del litoral a Barcelona és més aviat escassa, probablement a conseqüència que a Catalunya els esforços tècnics i científics d'estudi sobre la biodiversitat s'han centrat i se centren sobretot en les zones que a priori tenen més valor, com el Cap de Creus, el delta de l'Ebre i la costa Brava, entre d'altres. Tot i això, s'ha realitzat un esforç de recopilació d'estudis existents i informació que es desgranaran a continuació, i iniciatives portades a terme els últims anys encarades a potenciar la biodiversitat marina, com ara el parc d'esculls artificials, iniciat el 2002.

A més de descriure la biodiversitat a Barcelona, val a dir que la pèrdua de biodiversitat apuntada per l'informe *Estat de la Natura a Catalunya* a nivell català, de ben segur que també s'ha donat al litoral de la ciutat. Una de les pressions antròpiques sobre el medi marí i la biodiversitat és la contaminació de les seves aigües per abocament d'aigües residuals que s'ha donat durant dècades a la ciutat i a molts mars i rius de Catalunya. Només cal recordar que el riu Besòs a finals del segle XX era un dels rius més contaminats d'Europa i que les seves aigües afectaven inevitablement la qualitat de l'aigua del mar al litoral de Barcelona i de retruc la seva biodiversitat.

Tot i això, els darrers anys hi ha hagut una millora substancial en aquest aspecte. La implantació i millora dels sistemes de sanejament de les aigües residuals, com les EDARS del Besòs i del Llobregat han propiciat que la qualitat de les aigües hagi anat millorant molt amb els anys. Altres actuacions que han afavorit una millora de la qualitat de les aigües són els dipòsits Anti-DSU, que minimitzen les descàrregues al mar d'aigües grises en episodis de pluges intenses.

Malgrat això, avui en dia encara existeixen problemes de descàrregues d'aigües residuals a les costes del litoral properes a Barcelona, com el cas del municipi de Badalona, que no ha resolt encara aquest problema i sovint té episodis de contaminació de les aigües del mar després de pluges intenses quan la precipitació excedeix la capacitat de drenatge.

En un escenari de canvi climàtic on es preveuen més episodis de temporals amb pluges intenses, la minimització de les descàrregues d'aigües residuals al mar ha de ser una prioritat per no afectar la qualitat de l'aigua i la biodiversitat.

Els hàbitats a la costa de Barcelona

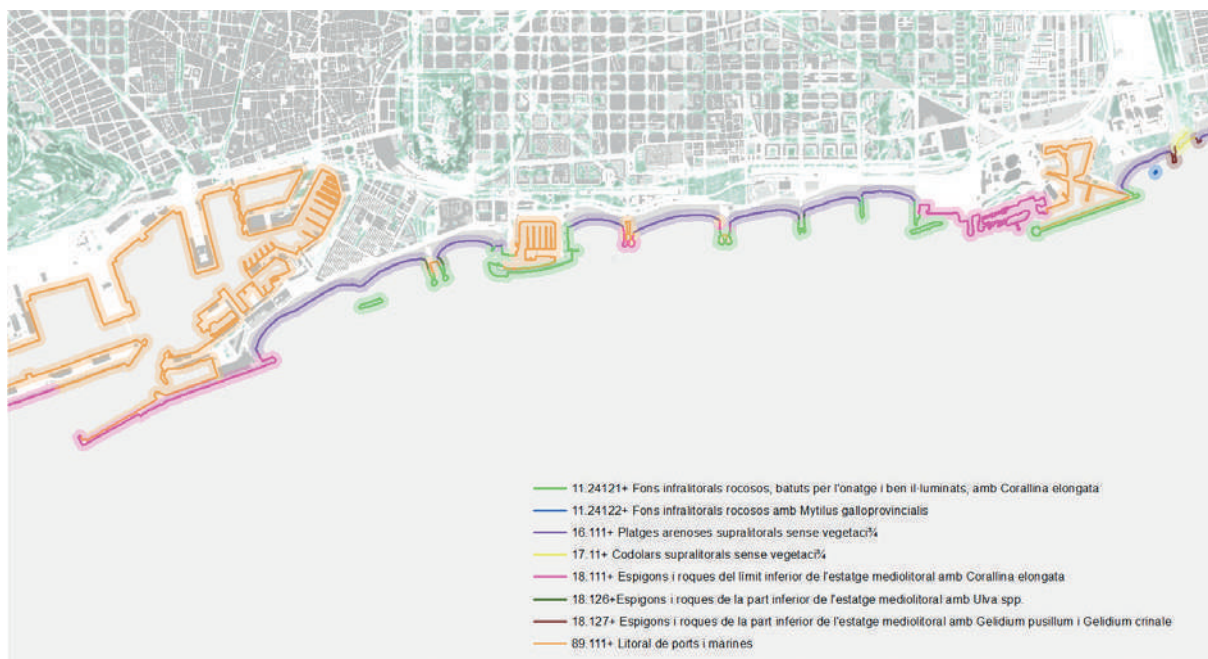
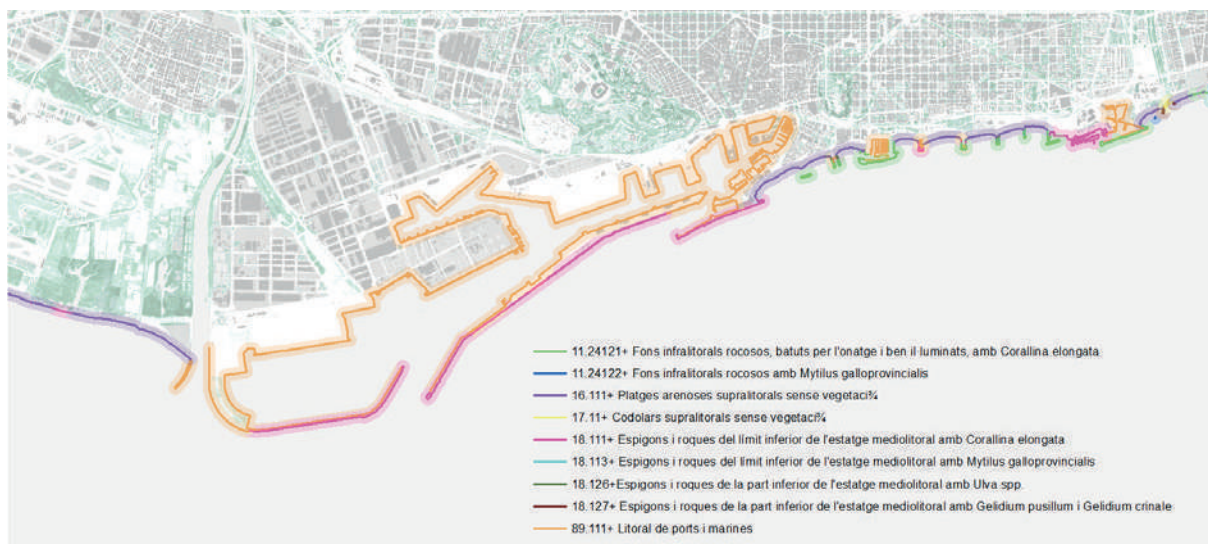
La *cartografia dels hàbitats litorals de Catalunya* (CHLC) es va realitzar entre els anys 2010 i 2012 i descriu els hàbitats marins. Igual que la *cartografia dels hàbitats de Catalunya* (CHC) que es centra en els hàbitats terrestres, la CHLC classifica els hàbitats amb el sistema CORINE, i quan s'escau n'afegeix alguns que no consten al sistema CORINE.

En un mateix tram de costa els hàbitats marins presenten una variabilitat molt gran en la seva distribució al llarg d'un gradient vertical perpendicular a la costa que va des de l'estatge supralitoral (per sobre el nivell del mar i remullada per les onades) fins a la zona infralitoral (zona totalment submergida). La distribució de les comunitats respon a un gradient d'humectació que va des de la dessecació gairebé constant de la zona supralitoral fins a la zona totalment submergida. L'estatge supralitoral és una franja del litoral remullada esporàdicament per les onades quan hi ha maregassa, molt sotmès a canvis molt bruscos de temperatura i salinitat. L'estatge mediolitoral està remullat per les onades, però els organismes que hi viuen no poden suportar una immersió continuada. L'estatge infralitoral ja és habitualment o sempre submergit i en la cartografia només es considera el seu límit superior, ja que el seu límit inferior, situat entre 15 i 25 metres a la costa catalana, queda fora dels objectius de l'estudi.

Cartogràficament tota aquesta informació està representada amb una capa de línies, que recullen el tipus de substrat, l'hàbitat principal i el número d'horitzons de comunitats, entre d'altres. Val a dir, que en alguns casos, no s'ha trobat informació associada.

Els principals hàbitats del litoral de Barcelona venen clarament determinats per l'elevat grau d'artificialització de la costa. Domina el «litoral de ports i marines» al Port de Barcelona, al Port Olímpic i al Port de Sant Adrià, i les «platges arenoses supralitorals sense vegetació». A l'exterior dels espigons dels ports dominen les roques del límit inferior de l'estatge mediolitoral amb *Corallina elongata* i als espigons de separació de les diferents platges dominen els «fons infralitorals rocosos, batuts per l'onatge i ben il·luminats, amb *Corallina elongata*».

Mapa 9 Els hàbitats marins a la costa de Barcelona



Font: Cartografia dels hàbitats litorals de Catalunya (CHLC)

Altres hàbitats marins destacats, però que no estan presents al litoral del municipi de Barcelona, són les praderies de Posidònia, presents a diferents indrets de Catalunya encara que en regressió des de fa anys. La *Posidònia oceànica* és una fanerògama marina, endèmica del mediterrani que forma alguers en l'estatge infralitoral, sobre fons sorrencs. L'alguer de *Posidònia oceànica* és una de les comunitats marines més amenaçades per les activitats humanes com la construcció d'estructures litorals, l'efecte de l'ancoratge de les embarcacions o la contaminació de les aigües litorals. A tot això s'afegeix els efectes que el canvi climàtic tindrà sobre aquestes comunitats, en que l'augment de la temperatura de l'aigua, entre altres modificacions ambientals podrien tenir una influència negativa en aquesta espècie d'herba marina.

Les projeccions que s'han fet pel que fa a l'augment gradual previst de la temperatura (que arribarà a superar els 28 °C de l'aigua superficial, la temperatura crítica per sobre de la qual la mortalitat de la Posidònia augmenta molt), així com l'augment de la freqüència dels episodis d'increment extrem de la temperatura (onades de calor), indiquen que a mitjans del segle XXI l'alguer de *P. oceànica* podria estar funcionalment extingit (*Tercer Informe del Canvi Climàtic a Catalunya*)

Els alguers de Posidònia, a més de tenir un paper ecològic molt destacat (és un hàbitat molt important pel refugi, alimentació i reproducció de moltes espècies de fauna marina), són també un embornal de carboni, de manera que la seva desaparició també comportaria una menor retenció de carboni per part del mar i alhora una alliberació d'aquest. Això s'explica perquè l'augment de la temperatura altera la taxa de mineralització del carboni i del nitrogen (Pedersen et al., 2011): s'incrementa entre 15 i 25 °C, però es redueix per sobre de 25 °C. El resultat és que el paper d'embornal de CO₂ de l'herbei s'inverteix a temperatures altes, i l'alliberament de diòxid de carboni augmenta.

Mapa 10 Les praderies de Posidònia més properes a Barcelona



Font: Departament de Territori i Sostenibilitat

A Barcelona no hi ha praderies de *Posidònia*, i les més properes es situen per una banda al sud de l'àrea metropolitana, davant la costa de Sitges, i al nord, davant la costa de Mataró entre les rieres d'Argentona i de Llavaneres.

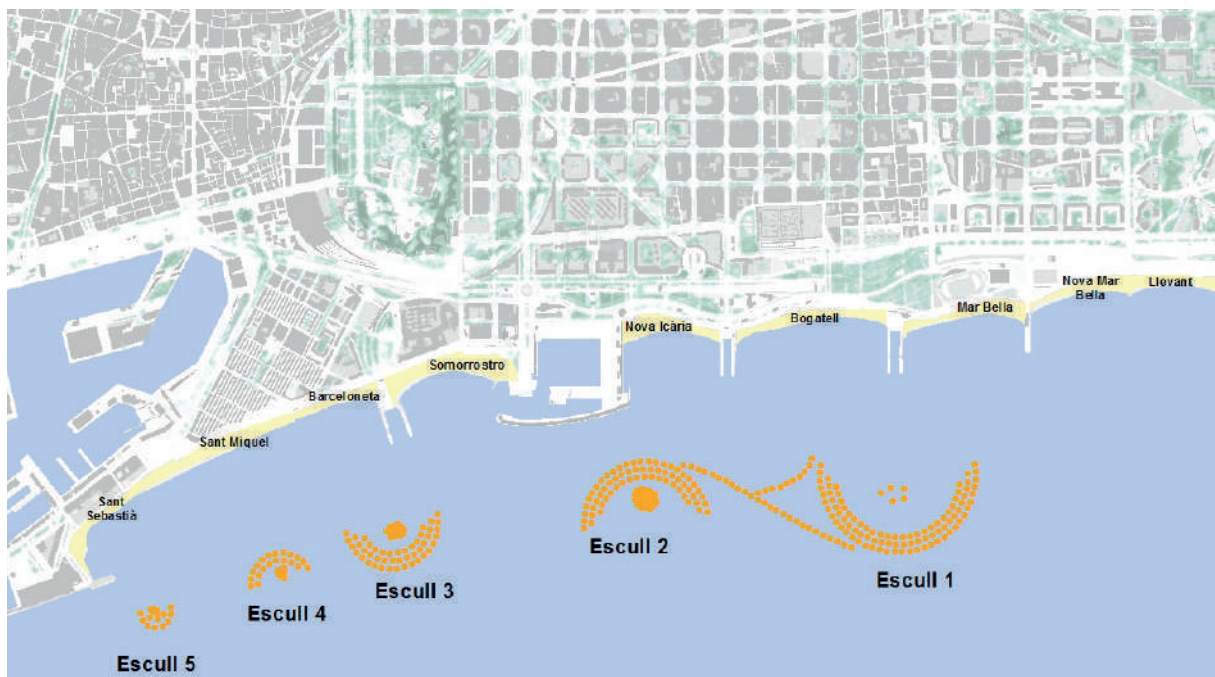
Tanmateix, no gaire lluny del municipi de Barcelona, a Badalona, fins a finals del segle XX existia el que els pescadors anomenaven «l'Alguer», una praderia de *Posidònia oceànica* a tocar de Montgat que va desaparèixer a causa de la contaminació de les aigües, entre altres factors. Per tant, no es pot descartar que la *Posidònia* pogués habitar el litoral del municipi de Barcelona, tot i que cal tenir en compte que el municipi se situa entre dos deltes, el del Llobregat i el del Besòs, i la *Posidònia* no habita en les zones deltaïques.

Els Parc d'esculls

El Parc dels Esculls del litoral de Llevant de Barcelona és un conjunt d'estructures submergides de formigó i altres materials que es va construir l'any 2003 per tal de potenciar la biodiversitat marina i se situa en la zona compresa entre la nova bocana del port de Barcelona i els espigons submergits del col·lector de Bac de Roda. Es compon de cinc àrees d'esculls i d'una línia d'estructures d'interconnexió entre algunes de les àrees i els espigons submergits costaners. El total d'estructures de diferents tipologies instal·lades va ser de 371.

Actualment hi conviuen més de tres-centes espècies d'algues, invertebrats i peixos. El document *Seguiment científic del parc d'esculls de Barcelona* (d-nota, 2015) va determinar que hi predominen els organismes suspensívors (porífers, cnidaris, poliquets sedentaris, briozous, mol·luscs bivalves i ascidiàcis), com correspon als components de nivells baixos de la xarxa tròfica en ambients amb aports significatius de matèria en suspensió.

Mapa 11 Parc d'esculls de Barcelona



Font: Barcelona Regional

Més recentment, destaca l'estudi *Llimacs de mar: els altres habitants del litoral de Barcelona* (A. Parera et al, 2020) que ha identificat setanta-tres espècies diferents de llimacs de mar (mol·luscos gasteròpodes del superordre dels heterobranquis, abans anomenats opistobranquis) al litoral urbà, tot i que l'estat ecològic de les aigües urbanes no és gaire bo, en especial a la desembocadura del Besòs i a les zones litorals semitanacades com el Fòrum. El treball comprova que les estructures artificials creades amb la construcció de marines, esculleres o esculls artificials instal·lats l'any 2003, s'estableixen nous ambients capaços de ser colonitzats per algues i invertebrats marins. «No obstant això, és sorprenent trobar tantes espècies en un medi tan antropitzat com les platges, els espigons i l'interior del port i les marines de Barcelona, en una línia costanera de prop d'onze quilòmetres, des del Besòs fins al Llobregat»

Els parcs del litoral

Els parcs urbans del litoral són espais propers a la costa, just darrera del passeig marítim que acullen diferents espècies de flora i fauna, especialment ocells. Alguns d'aquests parcs són del més grans de Barcelona, com el Parc del Poblenou i el Parc de Diagonal Mar que a més presenta una zona humida important per a les aus.

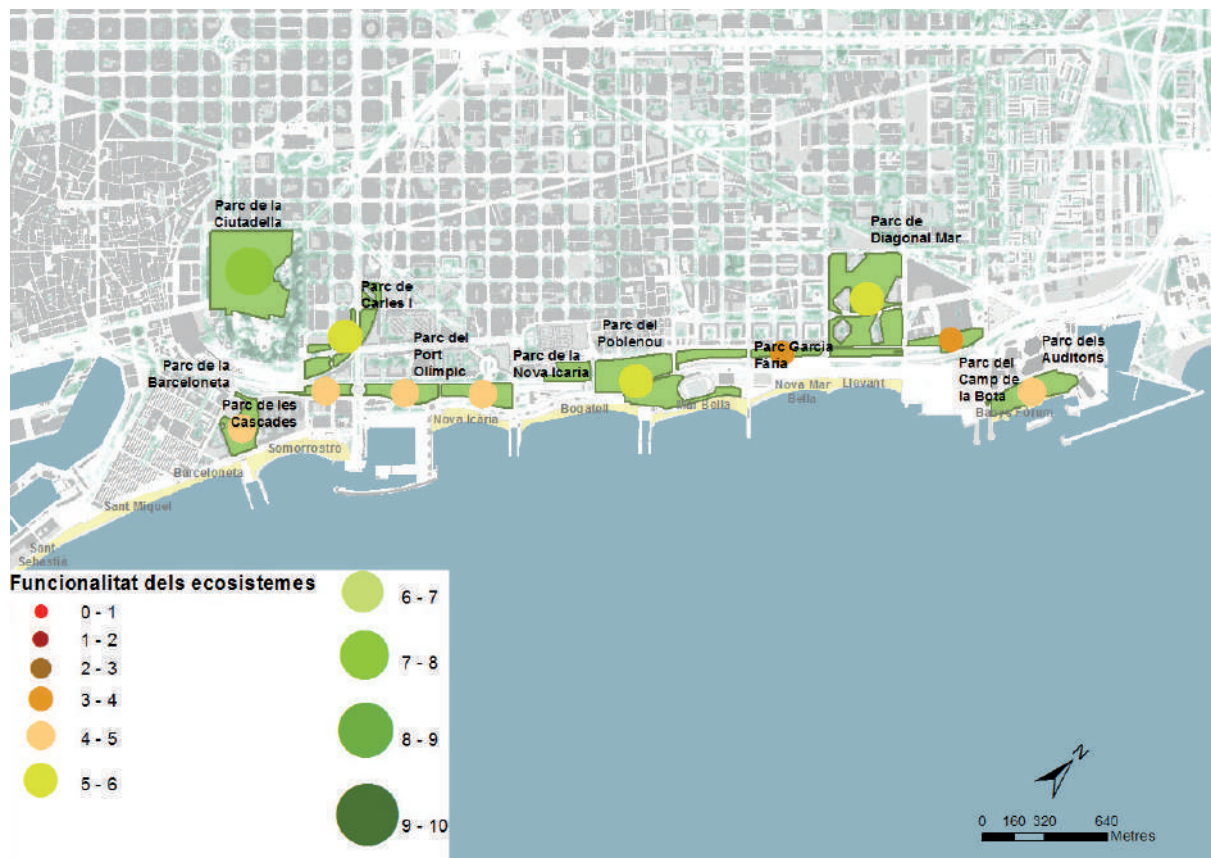
Al parc de Diagonal Mar hi ha un registre força acurat realitzat de manera voluntària i publicat al llibre *Les aus del Parc de Diagonal Mar* (Ricardo Ramos, 2019). Aquest seguiment ha detectat un mínim de 162 espècies d'aus desde el 2002, any en que es va inaugurar el parc, fins el 2020. La varietat i tipus de vegetació d'aquest parc és important per atreure les diferents espècies d'aus, juntament amb la proximitat al mar i el disseny que incorpora una bassa gran d'aigua. Recentment ha estat declarat com a refugi de biodiversitat per l'Ajuntament de Barcelona

Mapa 12 Parc litorals de Barcelona



Font: Barcelona Regional

Mapa 13 Valoració del servei «funcionalitat dels ecosistemes» dels parcs urbans del litoral de Barcelona



Font: Barcelona Regional

Altres zones de la ciutat també acullen espècies d'aus d'interès com la Gavina corsa (*Larus audouinii*), espècie amenaçada que havia desaparegut a Catalunya, però que compta amb la colònia més septentrional d'Europa al Port de Barcelona i a la plataforma del que hauria d'haver estat el zoo marítim.

D'altra banda, el treball *Els serveis socioambientals dels espais verds de Barcelona* (Barcelona Regional 2018) analitza el potencial dels parcs urbans de la ciutat i altres espais verd per oferir una ampla gamma de serveis ecosistèmics. Un dels serveis analitzats és la funcionalitat dels ecosistemes, que dona una idea de la importància que poden tenir aquests espais per a la biodiversitat urbana.

La tortuga babaua

El 14 de juliol de l'any 2020, una tortuga babaua (*Caretta caretta*) va fer el seu niu a la platja de la Mar Bella. Aquest fet rar i excepcional (és la primera posta d'aquesta espècie que es té constància a les platges de Barcelona) va tenir un fort ressò mediàtic i es van destinar molts esforços per a la protecció del niu amb un seguiment exhaustiu dia i nit per part del CRAM i de voluntaris.

La tortuga babaua és una de les espècies de tortugues marines que es troben al litoral català. Està inclosa en l'Annex II de la Directiva Hàbitats de la Unió Europea i, per tant, demana la designació de Zones Especials de Conservació. Protegida també per la legislació espanyola i catalana, el seu estatus de conservació es considera «vulnerable» (VU) segons el Catálogo español de especies amenazadas, mentre que es considera en perill d'extinció (CR) segons el projecte de Decret del catàleg de la fauna amenaçada de Catalunya.

Tradicionalment es considerava que al Mediterrani oriental s'hi concentraven les àrees de nidificació, mentre que el Mediterrani occidental era una àrea important d'alimentació de juvenils (<70 centímetres). La tortuga babaua per tant no havia tingut presència a Catalunya els últims 100 anys i la última posta confirmada és del 1870 a la costa de Múrcia, mentre que el 1991 es va tornar a detectar una altra posta fallida al delta de l'Ebre. Del 2001 ençà s'han observat un total de 21 postes repartides entre la costa catalana (9 deteccions), valenciana (4), balear (4) i andalusa (4). Les últimes, a part de Barcelona, a Vilaseca i a Eivissa aquest 2020, conseqüència, potser, i entre altres motius desconeguts, del confinament domiciliari de la primavera degut al coronavirus que va rebaixar la pressió humana a les platges.

Imatge 38 Niu de tortuga babaua a la platja de la Mar Bella



Font: Ajuntament de Barcelona

A nivell de biodiversitat té una certa rellevància el fet que les tortugues babaues hagin començat a nidificar a la costa Catalana en general des de principis del segle XX, i a la costa de Barcelona en particular, i per bé que no s'ha estudiat, podria ser també una conseqüència de l'escalfament de les aigües i l'alteració de la distribució de les espècies en el mediterrani.

Més enllà del que pot significar per a la biodiversitat la nidificació d'un exemplar de tortuga babaua a les platges de Barcelona, la nidificació d'aquesta tortuga té importància sobretot a nivell simbòlic i pel que pot significar a nivell d'educació ambiental i de conscienciació ambiental de la ciutadania. Un fet ara com ara aïllat com aquest pot donar peu a una tasca educativa sobre la importància de la conservació de les espècies, i sobre els impactes que tenen les activitats humanes sobre el mar i la seva biodiversitat, tant pels efectes del canvi climàtic, però també pels efectes com la contaminació de les aigües, la contaminació per plàstics i microplàstics o l'explotació de les reserves pesqueres, entre d'altres.

Cal recalcar també, que el fet que la nidificació d'un sòl individu d'una sola espècie (espècie molt icònica) tingui tant ressò, és també un indicador sobre la pobra biodiversitat de les platges de Barcelona i de moltes platges urbanitzades del litoral.

El litoral del entorns de Barcelona

A més del litoral estricte del municipi de Barcelona, també cal destacar la biodiversitat als deltes dels dos rius a banda i banda de la ciutat, el delta del Llobregat i el delta el Besòs.

A les zones terrestres del Delta del Llobregat destaquen les zones humides, com l'estany de la Ricarda i el Remolar, i les dunes de les platges del Prat i Viladecans. En aquests espais trobem hàbitats d'interès comunitari prioritari com les llacunes costaneres amb vegetació hidròfila, les dunes amb boscos de pi pinyer i les torberes calcàries amb mansega (*Cladium mariscus*).

El delta del Llobregat és molt important per a l'avifauna, ja que és un punt estratègic dins la ruta migratòria de la Mediterrània occidental que uneix Europa i Àfrica. Està declarat *Zona d'Especial Protecció per a les Aus* (ZEPA), perquè acull importants poblacions d'ocells d'interès comunitari prioritari. Destaquen 3 de les 15 espècies en perill crític d'extinció a Espanya: el bitó (*Botaurus stellaris*), la baldriga balear (*Puffinus mauretanicus*) i l'àliga pescadora (*Pandion haliaetus*).

Hi destaquen importants poblacions nidificants de cames llargues, corriols camanegres (*Charadrius alexandrinus*), corriols petits (*Charadrius dubius*) i cabussets (*Tachybaptus ruficollis*). El corriol camanegre és un ocell absolutament lligat a les platges, a les quals està molt adaptat, tant per criar com per alimentar-se. També freqüenta zones humides fangoses o amb poca aigua, però no s'allunya gaire del Litoral, i la pressió humana té un efecte molt negatiu en les seves poblacions.

Imatge 39 Quantitat d'espècies al Delta del Llobregat



Font: Consorci per a la Protecció i la Gestió dels Espais Naturals del Delta del Llobregat

També hi nidifiquen altres espècies de distribució molt restringida a Catalunya, amb una o dues úniques zones de cria al país, com el bec d'alena (*Recurvirostra avosetta*), la perdiu de mar (*Glareola pratincola*), el xatrac menut (*Sternula albifrons*) i l'ànec blanc (*Tadorna tadorn*). Les poblacions d'ocells hivernants també són de gran interès, i en sobresurten els anàtids de diferents espècies.

A l'àmbit marí la plataforma deltaica és molt rica en invertebrats de zones sorrenques i en peixos, i sustenta una avifauna marina molt important, amb grans concentracions de baldrigues balears (*Puffinus mauretanicus*) alguns anys, i fins i tot hi ha cetacis, com els dofins mulars i els dofins llistats. Les restes orgàniques que arriben a la costa serveixen d'aliment a una comunitat d'invertebrats que després són consumits pels limícoles migratoris.

Pel que fa al delta del Besòs, malgrat que a les últimes dècades del segle XX el riu era un dels rius més contaminats d'Europa, la seva recuperació ha permès que s'hi detecti una certa biodiversitat i alguns hàbitats d'interès comunitari. A la desembocadura, la platja presenta una zona de dunes embrionàries acordonades que s'estan mirant de recuperar, on hi creixen plantes dunars, com el rave de mar (*Cakile maritima*), la barrella (*Salsola kali*), el fonoll marí (*Crithmum maritimum*) o el borró (*Ammophila arenaria*). A la reraplatja destaquen els hàbitats d'interès comunitari de bosquines i matollars de «Tamarigars meridionals de rambles, rieres i llocs humits (*Nerio-Tamaricetea*)» i també els alocars, per bé que aquests últims no són d'interès comunitari. La vegetació que creix al riu proporciona un lloc d'alimentació, refugi i nidificació per a moltes espècies d'ocells.

Al delta del Besòs i al parcs que l'envolten, com el parc del Litoral s'hi ha observat 230 espècies d'aus i és també un petit oasis per a ocells migratoris. Els ocells migratoris que passen per Catalunya solen resseguir la línia de la costa, i en un entorn tant urbanitzat, els petits oasis de verd i zones humides són dels pocs llocs on poden aturar-se les aus aquàtiques.

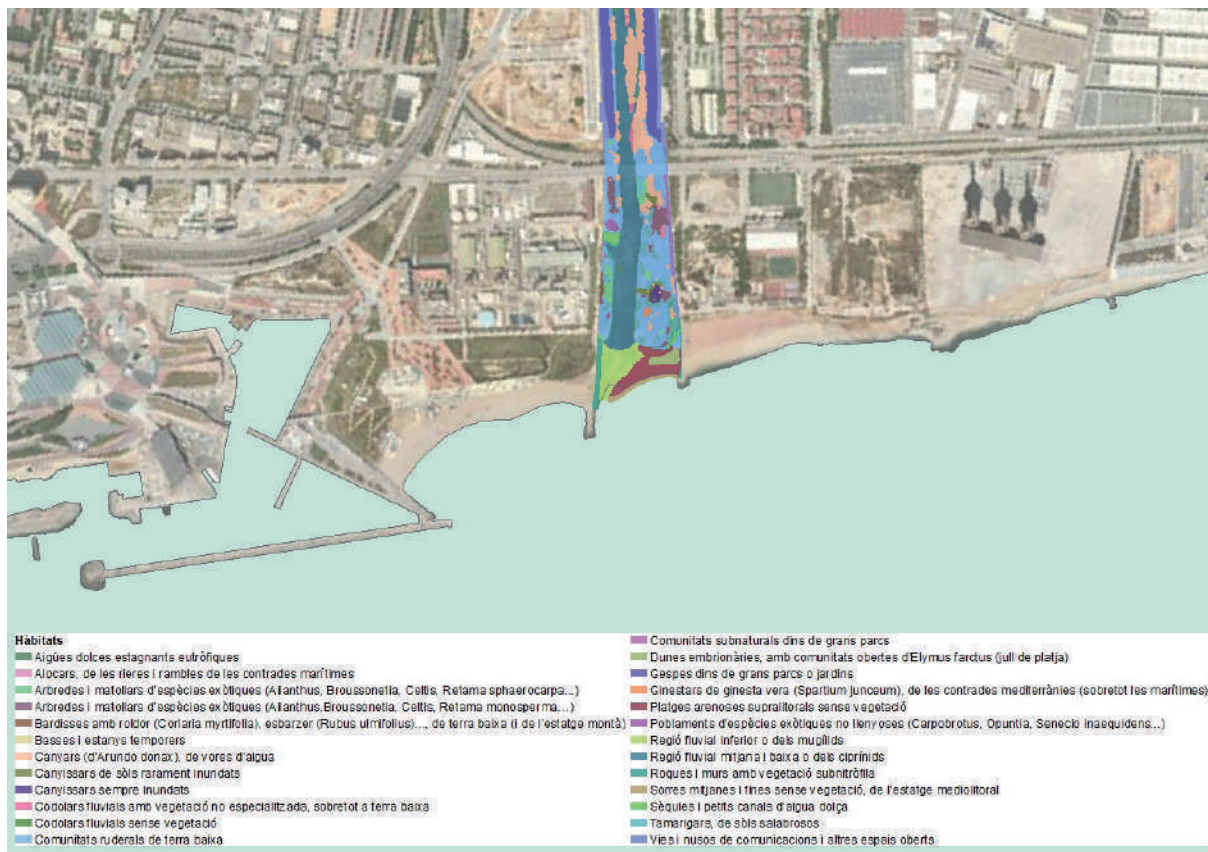
Al medi marí es poden veure algunes espècies de peixos, principalment les llisses llobarreres (*Mugil cephalus*) i les carpes (*Cyprinus carpio*), que permeten l'alimentació d'aus piscívores. Els amfibis són força escassos i, bàsicament, només es detecta la granota verda (*Pelophylax perezi*).

Imatge 40 Aus de la desembocadura del Besòs



Font: Flora i fauna de la desembocadura del Besòs, AMB, 2014

Mapa 14 Els hàbitats i hàbitats d'interès comunitari del Besòs



Font: BR i CREAL, 2017

Els efectes del canvi climàtic sobre la biodiversitat

Efectes de l'augment de la temperatura de l'aigua del mar

Els efectes de l'augment de la temperatura de l'aigua sobre la biodiversitat són:

- a. Més abundància de meduses en anys calorosos (*Rhizostoma pulmo*) i el desplaçament a mar obert com la *Pelagia noctiluca*
- b. Efectes en la distribució d'espècies mediterrànies
- c. Augment d'espècies al·lòctones invasores d'origen tropical o sub-tropical degut a l'escalfament
- d. Efectes sobre la biologia i el creixement d'algunes espècies
- e. Efectes en la comunitat planctònica, ja que l'augment de temperatura afavoreix la respiració per sobre de l'activitat de la fotosíntesi augmentant l'heterotrofia i els nivells de CO₂
- f. Episodis de mortalitat massiva
- g. Canvis permanents en l'expressió gènica dels peixos que afecten tant a la seva resposta immune com a la seva manera de reaccionar davant dels estímuls externs i el seu metabolisme degut a onades de calor marines.
- h. Proliferació d'algues tòxiques

A continuació se'n detallen aquests efectes:

Més abundància de meduses en anys calorosos

Les meduses proliferen principalment a les platges, degut a, per una banda a l'augment de les temperatures i per l'altra de l'acidificació. L'acidificació provoca molts més efectes perjudicials sobre alguns depredadors de les meduses, com alguns peixos, de manera que la menor pressió fa que la seva població augmenti.

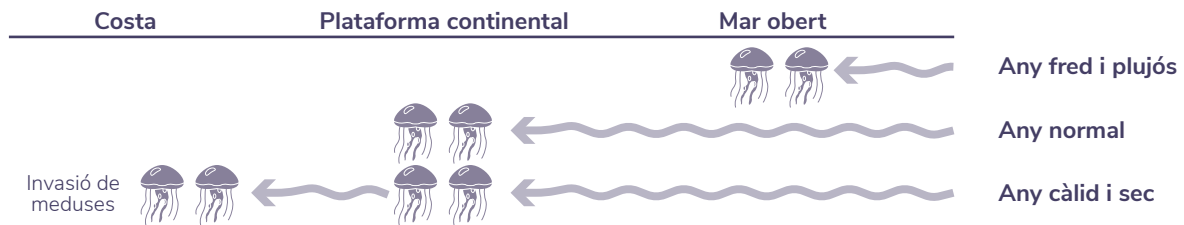
Al mar Mediterrani, el projecte europeu *Med-Sed*¹ que analitzava els efectes de l'acidificació i de l'escalfament a la Mediterrània, va concloure que les meduses es veuen beneficiades per l'acidificació en detriment de moltes espècies de peixos i amb el problema sanitari que pot comportar en les zones de bany.

Durant l'estiu, les aigües costaneres són més càlides que a l'hivern i tenen una temperatura molt similar a les de mar obert. Quan els corrents i vents arrosseguen masses d'aigua cap a la costa aquestes es barregen i poden anar acompanyades de meduses que arriben amb major facilitat. Els anys amb primaveres i hiverns plujosos o més frescos afavoreixen que les aigües costaneres, a començament de l'estiu, siguin més fresques que altres anys. Així, la barreja de masses d'aigua no es veu tant afavorida i, per tant, hi haurà menys possibilitats que les meduses de les aigües a mar obert arribin a les nostres platges.

Cal tenir en compte que, a més de la meteorologia i el clima, hi ha altres factors que afavoreixen l'abundància de meduses. La proliferació d'estructures artificials (ports, espigons i trencaones) ofereix nous habitats a les meduses amb una fase de creixement bentònica. A més, la sobrepesca elimina els peixos que competeixen per l'aliment amb les meduses, i la pesca amb arts poc discriminatòries n'elimina els depredadors naturals com són les tortugues, aus i grans peixos carnívors.

1 Mediterranean Sea Acidification in a Changing Climate | MedSeA Project <http://medsea-project.eu/>

Imatge 41 Proximitat i llunyania de la costa de les proliferacions de *P. noctiluca* en funció de les condicions climàtiques



Font: Cenepa *et al.*, 2014.

Les meduses més abundants a la costa catalana són el Born blau (*Rhizostoma pulmó*), la *Pelagia noctiluca*, la medusa ou ferrat (*Cotylorhiza tuberculata*), el born (*Aurelia aurita*) i la barqueta de Sant Pere (*Velella velella*).

Efectes en la distribució d'espècies mediterrànies

Un altre aspecte a tenir en compte és el canvi en els patrons de distribució geogràfica i batimètrica d'espècies autòctones a la Mediterrània occidental. Algunes espècies mediterrànies d'afinitats tropicals o termòfiles han ampliat la seva distribució, com ara, entre els peixos, el raor (*Xyrichtys novacula*), el fadrí (*Thalassoma pavo*), el talla-hams (*Pomatomus saltatrix*) i l'anfós (*Epinephelus marginatus*) que actualment són comunes a Catalunya mentre que fa unes dècades eren rares i tendia a trobar-se en aigües més meridionals, com a les Balears. Per contra altres espècies d'aigües més fredes veuran reduïda la seva distribució territorial. De manera general (Hughes, 2000), les espècies monotípiques i adaptades rígidament a determinades condicions tèrmiques seran les més afectades, mentre que les monotípiques amb més facilitat d'adaptació i, especialment, les politípiques, dividides en diferents poblacions adaptades a règims tèrmics també diferents, seran les que es podran adaptar amb menys dificultats a l'escalfament generalitzat del seu hàbitat (Joandomenec Ros, 2008).

Imatge 42 Fadrí (*Thalassoma pavo*)



Font: Javier Murcia. <https://metode.cat>

Augment d'espècies al·lòctones invasores d'origen tropical o sub-tropical

Imatge 43 *Bursatella leachii*



Font: *Llimacs de mar: els altres habitants del litoral de Barcelona* (A. Parera *et al.*, 2020)

El canvi climàtic està afavorint la presència d'espècies marines exòtiques a la Mediterrània procedents de la mar Roja -a través del canal de Suez- o bé de l'Atlàntic després de travessar l'estret de Gibraltar. En aquest escenari, el treball *Llimacs de mar: els altres habitants del litoral de Barcelona* (A. Parera *et al.*, 2020) també identifica la presència d'espècies al·lòctones —*Bursatella leachii* i *Polycerella emertoni* en l'ecosistema marí urbà, però sembla que el seu impacte ecològic seria pràcticament nul.

Altres espècies subtropicals o tropicals també s'han començat a trobar al mediterrani. Un exemple és l'alga vermella *Lophocladia lallemandii*. Es tracta d'una alga tropical originària de l'Indo-Pacífic, que va ser introduïda a la Mediterrània a través del canal de Suez i que en l'actualitat es distribueix per la majoria de costes d'aquest mar. Aquesta alga està modificant significativament el paisatge submarí en els fons somers de la costa mediterrània (Cebrian i Ballesteros 2007, 2010; Kersting *et al.* 2014). De forma similar, la temperatura també ha estat proposada com a catalitzadora de l'èxit invasor de l'alga *Caulerpa cylindracea* a la Mediterrània (Occhipinti-Ambrogi 2007). De fet, un estudi recent mostra com l'escalfament de l'aigua afavoreix fisiològicament a aquestes dues espècies a curt termini (Samperio-Ramos *et al.* 2015).

Efectes sobre la biologia i el creixement d'algunes espècies

L'escalfament del mar a més de provocar canvis en la distribució també té efectes en algunes espècies que veuen alterades pautes biològiques i ecològiques de tota mena, des de la variació en la disponibilitat d'aliment a la proporció entre els sexes, molt dependent de la temperatura en els peixos.

Sovint ens centrem en els organismes adults, però cal recordar altres estructures i estats dels organismes com espores, propàguls, ous, estats larvaris, juvenils, etc que solen ser més sensibles als canvis ambientals que els mateixos adults. Canvis en les concentracions d'oxigen, acidesa i temperatura també els poden afectar.

Efectes en la comunitat planctònica

El canvi climàtic té efectes directes sobre el metabolisme de la comunitat planctònica, ja que l'augment de la temperatura accelera les taxes de respiració en major mesura que les fotosintètiques i, per tant, afavoreix la heterotròfia i la producció de CO₂. El canvi climàtic a la Mediterrània occidental i les seves conseqüències sobre la hidrografia de la conca semblen estar darrere del descens observat en l'exportació de carboni orgànic per sedimentació (Marty *et al.* 2002).

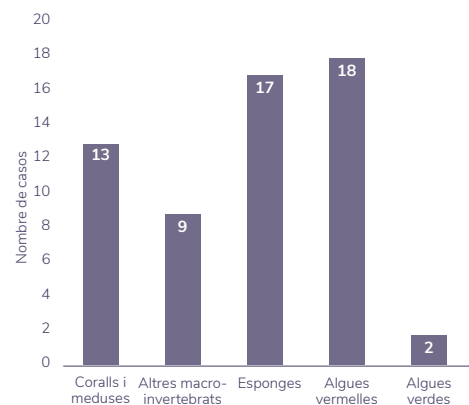
Episodis de mortalitat massiva

L'escalfament de les aigües i les onades de calor marines s'han associat a episodis de mortalitat massiva. A Catalunya entre el 2003 i el 2015 s'han estudiat 59 esdeveniments de mortalitat massiva (Estat de la Natura a Catalunya, 2020).

Canvis permanents en l'expressió gènica dels peixos

Les onades de calor marines poden provocar marques epigenètiques permanents quan es produeixen durant les primeres etapes del desenvolupament. Els canvis en l'expressió gènica deguts a l'augment de la temperatura de l'aigua tenen el seu origen en alteracions en els nivells de metilació de l'ADN i poden persistir al llarg de el temps (Anastasiadi, D. 2020).

Imatge 44 Nombre d'esdeveniments de mortalitat massiva estudiats a la costa catalana entre el 2003 i el 2015 per grup taxonòmic



Font: Estat de la Natura a Catalunya, 2020

Proliferació d'algues tòxiques

L'augment de la temperatura de l'aigua i l'ampliació de la durada de l'estratificació estival de la columna d'aigua afavoreixen les algues dinoflagel·lades i, entre elles, les causants d'episodis de proliferació de microalgues nocives o tòxiques. Altres activitats humanes que també s'estan incrementant, com les entrades de nutrients al litoral i l'enginyeria de la costa, afavoreixen així mateix aquestes proliferacions.

Efectes de l'acidificació

Els principals efectes de l'acidificació sobre la biodiversitat són:

- a. Processos de descalcificació i/o limitació del creixement en els organismes calcificadors.
- b. Els organismes no calcificadors poden experimentar descensos en les taxes de creixement

Els impactes de l'acidificació oceànica en els organismes marins es preveuen de diferent índole i magnitud, perquè els diferents grups exhibeixen una àmplia gamma de sensibilitats respecte al problema.

Els processos biològics i fisiològics de molts organismes es veuen afectats per l'augment de l'acidesa, el que provoca grans canvis en molts organismes marins. Segons un informe de *The Royal Society* sobre l'acidificació de l'oceà, els efectes dels ecosistemes són molt greus i duradors. Les principals conseqüències sobre els organismes són:

- La disminució de la capacitat de formació de closques en els organismes calcificadors
- Disminució de les taxes de creixement d'alguns organismes (degut a la sensibilitat de les larves i els juvenils a l'acidificació)
- Funcions fisiològiques vitals, com la respiració i el sistema nerviós també poden veure's afectades, ja que l'acidificació pot provocar variacions en els nivells d'oxigen.
- Molts organismes es veuen perjudicats per l'acidificació però alguns se'n poden veure beneficiats, com és el cas d'algunes plantes marines.

Els organismes calcificadors es troben tant en ecosistemes d'aigües profundes com en aigües poc profundes. La calcificació és el procés fisiològic pel qual els organismes com els coralls, les cloïsses, el pteròpods, i altres mol·luscs, també crustacis com les llagostes i els crancs, i equinoderms com l'estrella de mar i alguns tipus de fitoplàncton creen estructures com les closques i esquelets a partir del carbonat càlcic. Entre els organismes calcificadors es troben algunes de les espècies més abundants dels oceans.

Aquests organismes creen les seves estructures de carbonat càlcic (CaCO_3) a partir dels ions de calci (Ca^{2+}) i carbonat (CO_3^{2-}) existents a l'aigua que els rodeja. Els ions de calci (Ca^{2+}) abunden a l'oceà, i no són un limitant per aquests organismes, però l'augment del CO_2 a l'oceà, pot reduir aquests ions carbonats (CO_3^{2-}), ja que es poden unir al ions d'hidrogen alliberats de l'àcid carbònic (H_2CO_3) formant ions bicarbonats (HCO_3^{-1}) fet que redueix la concentració d'ions carbonats (CO_3^{2-}) reduint-ne la disponibilitats per els organismes calcificadors. D'aquesta manera s'alenteix o podria arribar a parar-se la calcificació de molts organismes i fins i tot en condicions de subsaturació de carbonat pot resultar corrosiu per les estructures ja formades.

En algunes aigües de l'Oceà Àrtic aquest fenomen de subsaturació de carbonat ja està passant i es calcula que el 2050 la meitat de les seves aigües tindrà condicions de subsaturació en l'escenari RCP 8,5.

A continuació s'expliquen alguns d'aquests grups i les problemàtiques associades a l'acidificació:

Mol·luscs. Els mol·luscs (com els musclos, les ostres i els pteròpodes) constitueixen un dels grups més sensibles a l'acidificació. En les primeres fases de les seves vides, molts mol·luscs (larves i immadurs), així com els adults, presenten nivells baixos de calcificació, creixement i supervivència, el que els converteix en un dels grups més sensibles a l'acidificació de l'oceà.

Fitoplàncton. Les petxines dures dels cocolitòfors —petits organismes marins flotants— produeixen una gran part del carbonat càlcic marí. Al morir, s'enfonsen i transporten carboni al fons de l'oceà. Són una font important d'aliment per a altres éssers vius marins i constitueixen una font destacada de sulfur de dimetil (DMS), un gas que redueix la temperatura de l'aire i de l'aigua. Molts d'aquests organismes són elements essencials en la dieta de les larves de peixos, per la qual cosa la seva alteració pot tenir un impacte negatiu en la població pesquera. La resposta dels cocolitòfors a l'acidificació està sent objecte d'una intensa investigació. Mentre l'acidificació de l'oceà sembla ser tolerada per algunes espècies, en altres provoca disminucions de les taxes de calcificació i de creixement en aigües àcides. (IGBP, COI, SCOR; 2013).

Molts d'aquests organismes són elements essencials en la dieta de les larves de peixos, per la qual cosa la seva alteració pot tenir un impacte negatiu en la població pesquera. L'acidificació i l'escalfament modifiquen l'abundància i el funcionament d'ambdós grups, fitoplàncton i zooplàncton, del mar Mediterrani.

Peixos. L'acidificació de l'oceà pot tenir efectes directes sobre la fisiologia, el comportament i les condicions físiques dels peixos. L'acumulació de CO₂ en els cossos dels animals pot pertorbar els seus processos vitals, i donar lloc a canvis globals de la seva fisiologia i condicions físiques (Fabry *et al*, 2008. i Pörtner, H.-O. 2012) . En general, els peixos semblen ser menys sensibles a l'acidificació de l'oceà que els organismes de menor mobilitat. L'acidificació ha provocat un descens de les taxes de creixement de larves de peixos (Baumann et al 2012).

Organismes amb petxines d'aragonita. L'aragonita és una de les formes en que es presenta el carbonat càlcic. A l'oceà antàrtic si les emissions de CO₂ segueixen la trajectòria actual (RCP8.5), es preveu que el 60 % de les aigües superficials de l'Oceà Austral, en mitjana anual, siguin corrosives per als organismes amb petxines de aragonita, per exemple els pteròpodes, que formen part de la xarxa alimentària marina. una reducció significativa de les emissions (RCP2.6) podria evitar que la major part de les aigües superficials de l'Oceà Austral es tornin corrosives per als organismes amb petxines de aragonita.(IGBP, COI, SCOR; 2013)

Coralls. Canvis en la química dels carbonats dels oceans tropicals podran dificultar o impedir, d'aquí a unes dècades (al voltant de l'any 2.100), el creixement dels esculls de coral els quals ja estan patint les conseqüències de la pujada de temperatura dels oceans. (IGBP, COI, SCOR; 2013). Els esculls de corall tenen una importància estructural en les cadenes tròfiques i en la biodiversitat creen hàbitats clau de gran riquesa i protecció per a milers d'espècies, protegeixen les costes de l'erosió i ofereixen una font d'aliment i de productes naturals per a la societat i la seva disminució pot afectar a més a la seguretat alimentària, al turisme i a la protecció de les costes.

Imatge 45 Diferents graus de descalcificació en el gastròpode *Bolma rugosa*

Font: Canvi climàtic en el medi marí espanyol: impactes vulnerabilitats i adaptació

Per exemple el corall vermell (*Corallium rubrum*) del mediterrani pateix efectes quan el medi s'acidifica. En un experiment portat a terme en un medi controlat, es va comparar el creixement d'aquesta espècie sota condicions de PH diferents, 8,1 i de 7,81. En les condicions més àcides es va observar diferents efectes en el creixement, com una formació irregular de les espícules, una disminució de la taxa de creixement en un 59 % i altres efectes que disminueixen el creixement en condicions de PH més àcides (Bramanti, L. *et al*, 2013). Altres espècies de coralls del mediterrani poden mostrar una àmplia gamma de respostes a l'acidificació del medi. Fine & Tchernov (2007) va reportar la dissolució total de l'esquelet de l'espècie *Oculina patagonica* a un pH de 7,4, mentre que Movilla *et al.* (2012) van trobar una reducció del 35 % en les taxes de calcificació de l'espècie *O. patagonica* i *Cladocora caespitosa* a un pH de 7,83 i Rodolfo-Metalpa *et al.* (2010a) va mostrar que per l'espècie *C. Caespitosa* no s'observaven disminucions de la calcificació en una aigua amb un PH de 7,88.











A part dels perjudicis per la pròpia espècie la reducció de les taxes de creixement del corall vermell pot tenir conseqüències sobre l'economia de la joieria lligada a aquesta espècie.

Per bé que no s'han trobat documents que estudiïn els efectes de l'acidificació sobre la biodiversitat al litoral de Barcelona sí que existeixen exemples més o menys propers en grups faunístics que es podrien trobar a Barcelona. Un exemple són els diferents graus de descalcificació en el gastròpode *Bolma rugosa* a la reserva natural de les Illes Columbretes, situades a 50 quilòmetres de les costes de Castelló.

Pel que fa a altres conseqüències els organismes no calcificadors poden experimentar descensos en les taxes de creixement, ja que les fases larvària i juvenil són més sensibles a un augment de l'acidesa. Per exemple, la taxa de fecundació d'ous de dues espècies d'eriçó de mar (*Hemicentrotus pucherrimus* i *Echiometra mathae*) ha disminuït davant d'una major acidificació.

Finalment cal destacar que els efectes del canvi climàtic no són els únics que tenen impacte sobre la biodiversitat marina i que a nivell de Catalunya, segurament no és l'impacte principal (M. Ballesteros 2019). Altres pressions i impactes s'afegeixen sinèrgicament als impactes derivats del canvi climàtic, com ara l'exhauriment dels estocs pesquers, l'alteració de les aigües i els fons per la contaminació i altres activitats d'origen antròpic, l'alteració de la dinàmica litoral provocat pels ports, les espècies invasores, etc. En aquest sentit, encara que el canvi climàtic tingui i tindrà un impacte molt gran en les societats humanes presents i futures i en els ecosistemes, cal recordar que, les pressions antròpiques sobre la biodiversitat marina i els entorns naturals o semi-naturals (urbanització del litoral, contaminació de les aigües, construcció de preses, pressió turística, etc.) són anteriors al canvi climàtic i tenen un gran impacte.

Imatge 46 Resum dels efectes de l'acidificació en grups taxonòmics seleccionats. Els efectes són un percentatge mitjà del augment o reducció en una resposta donada, o una absència global de resposta negativa o positiva

TAXÓN	RESPUESTA	EFEECTO MEDIO	TAXÓN	RESPUESTA	EFEECTO MEDIO
 Algas calcificadoras	Supervivencia		 Crustáceos	Supervivencia	
	Calcificación			Calcificación	
	Crecimiento			Crecimiento	
	Fotosíntesis	-28%		Desarrollo	
	Abundancia	-80%		Abundancia	
 Corales	Supervivencia		 Peces	Supervivencia	
	Calcificación	-32%		Calcificación	
	Crecimiento			Crecimiento	
	Desarrollo			Desarrollo	
	Abundancia	-47%		Abundancia	
 Coccolitóforos	Supervivencia		 Algas carnosas	Supervivencia	
	Calcificación	-23%		Calcificación	
	Crecimiento			Crecimiento	+22%
	Fotosíntesis			Fotosíntesis	
	Abundancia			Abundancia	
 Moluscos	Supervivencia	-34%	 Pastos marinos	Supervivencia	
	Calcificación	-40%		Calcificación	
	Crecimiento	-17%		Crecimiento	
	Desarrollo	-25%		Fotosíntesis	*
	Abundancia			Abundancia	
 Equinodermos	Supervivencia		 Diatomeas	Supervivencia	
	Calcificación			Calcificación	
	Crecimiento	-10%		Crecimiento	+17%
	Desarrollo	-11%		Fotosíntesis	+12%
	Abundancia			Abundancia	

Font: Una introducción a la acidificación del océano: Lo que es, lo que sabemos y lo que puede suceder. UICN (Laffoley, D. et al, 2017)



Addenda: informe del grup intergovernamental d'experts sobre el canvi climàtic (IPCC), agost 2021

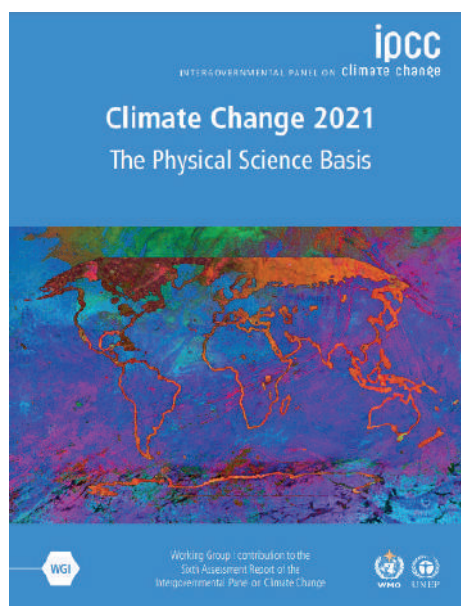
L'agost del 2021, un cop finalitzat aquest treball, el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el canvi climàtic (IPCC per les seves sigles en anglès) va presentar l'informe del Grup de Treball I de l'IPCC, **Canvi Climàtic 2021: Bases físiques**, que representa el primer lliurament del 6è Informe d'Avaluació (IE6), que es completarà el 2022.

L'informe que es va presentar aquest agost va ser és el primer de tres informes. Elaborat per 234 experts de 66 nacionalitats, ha suposat més de tres anys de recerca per a revisar i avaluar més de 14.000 articles científics, dades i projeccions de models existent, per poder determinar els efectes físics del canvi climàtic i els possibles escenaris de futur.

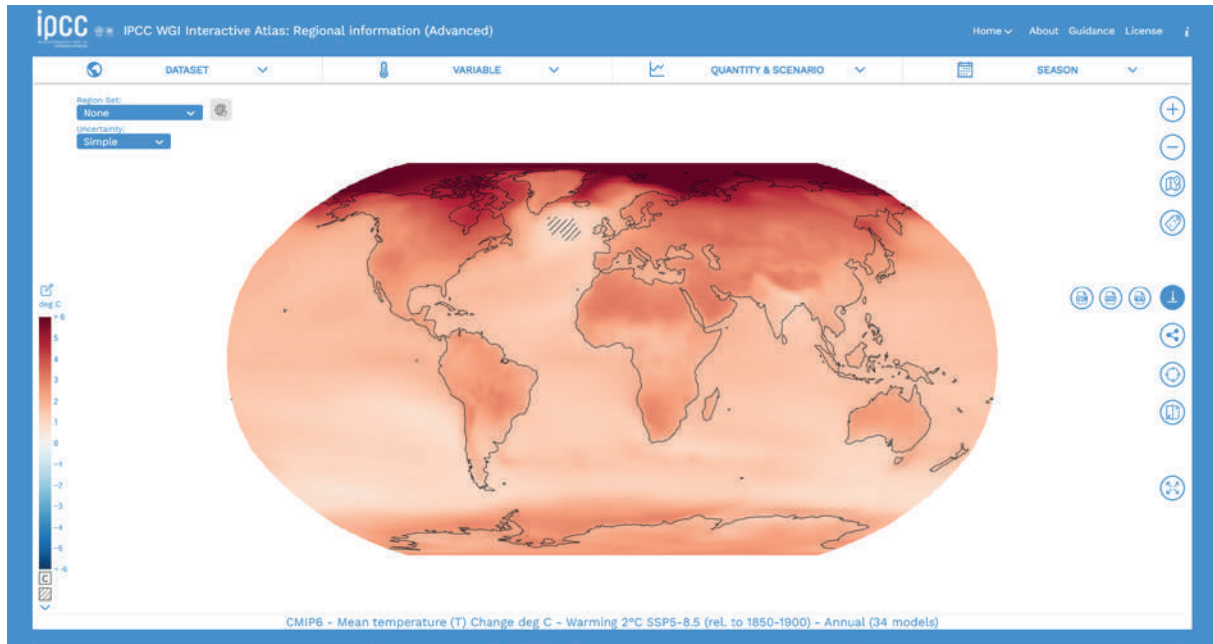
Organitzat en tretze capítols, el document analitza com està afectant el canvi climàtic a nivell global i a les diferents regions del món. A més a més, una de les gran novetats que ha portat aquest nou informe és l'atles interactiu associat, que permet visualitzar les projeccions de canvi climàtic a escala regional.

L'atles permet visualitzar de manera gràfica els diferents escenaris possibles segons l'evolució de les variables que regeixen el canvi climàtic. Amb això, es podrà oferir millor informació als ciutadans, i als actors públics i privats per a la presa de decisions de rellevància estratègica en el seu dia a dia. Un ventall que abasta des de la planificació i ordenació del territori, la inversió empresarial, fins a noves infraestructures de recuperació o protecció d'ecosistemes.

A causa de la rellevància i l'actualització de les dades que aportava aquest document, s'ha considerat important incloure els principals resultats d'aquest treball, que vénen a confirmar gran part dels impactes detectats en els capítols anteriors i fins i tot una acceleració d'aquests.



Imatge 47 Atlés Interactiu del IPCC

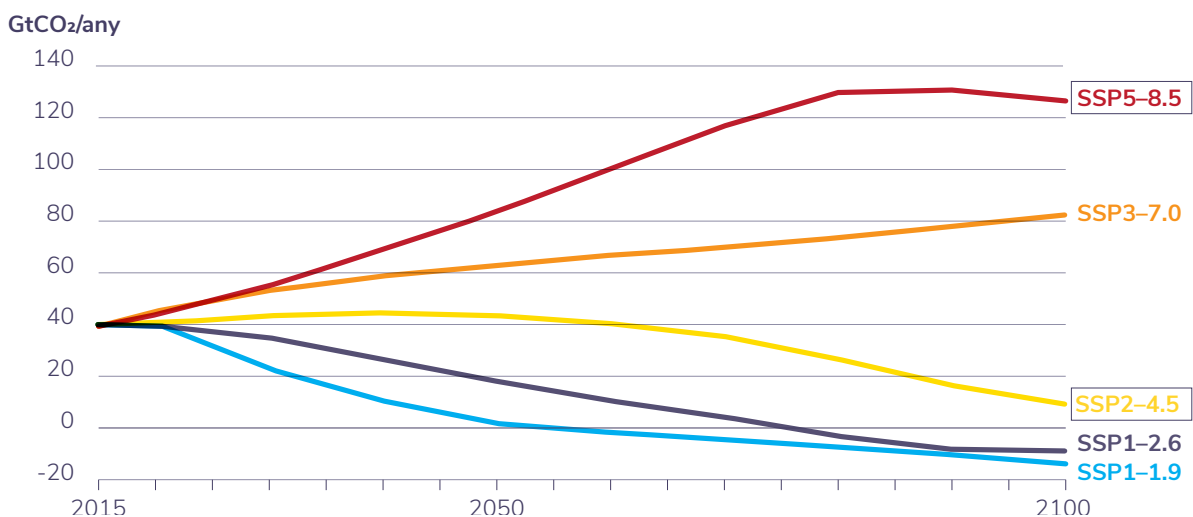


Font: IPCC - <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

S'ha volgut però incloure aquesta addenda, abans de les conclusions d'aquest treball, per així poder integrar, de forma puntual, aquests resultats en la valoració final del treball.

En aquest nou informe, s'han tingut en compte un conjunt de 5 escenaris climàtics, que donen resposta a una gama més ampla de futures emissions de gasos d'efecte hivernacle, contaminació de l'aire i usos del sòl. A més, els resultats es proporcionen a curt termini (2021–2040), mitjà termini (2041–2060) i llarg termini (2081–2100).

En aquest sentit, per poder comparar aquestes dades amb la resta de variables analitzades en aquest estudi, s'han utilitzat els escenaris climàtics SSP2–4.5 corresponent a l'escenari compromès (RCP4.5) i l'escenari SSP5–8.5 corresponent a l'escenari passiu (RCP8.5).

Imatge 48 Emissions futures de CO₂ (Gt/any) dels diferents escenaris climàtics).

Font: Climate Change 2021, The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the IPCC.

Principals valoracions de l'informe

Amb aquest informe es confirma una acceleració de l'escalfament. Si les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle no es redueixen de forma immediata, ràpida i gran escala, l'objectiu de no sobrepassar els +1,5 °C o +2 °C serà inassolible.

Això implica que totes les regions (inclosos els oceans i els mars) s'enfronten a canvis creixents, no només de temperatura sinó altres efectes, com la intensificació del cicle hidrològic, el canvi dels patrons de precipitació, o l'increment de la vulnerabilitat de les zones litorals per l'increment del nivell del mar i els efectes extrems, que a finals de segle poden registrar-se amb una freqüència anual, mentre que antigament es produïen cada 100 anys.

En el cas dels oceans tindrem efectes com el seu escalfament, la seva acidificació, l'augment de la freqüència de les onades de calor marines i la reducció dels nivells d'oxigen, clarament relacionats amb la influència humana.

Respecte als oceans i mars, i de forma molt resumida, l'informe estableix el següent (i en parèntesi el grau de confiança o probabilitat d'ocurrència):

- Els recents canvis observats a l'oceà no tenen precedents durant segles fins a mil·lennis (alta confiança).
- Durant les últimes quatre o sis dècades, és pràcticament segur que l'oceà global s'ha escalfat per la influència humana com el principal motor des de la dècada de 1970. Això farà que el canvi climàtic sigui irreversible durant segles fins a mil·lennis (confiança mitjana).
- És pràcticament segur que la salinitat de l'oceà superior ha augmentat des de la dècada de 1950 i és molt probable que la influència humana hi hagi contribuït.
- És pràcticament segur que l'estratificació de l'oceà superior ha augmentat des del 1970 i que el pH de l'aigua de mar ha disminuït globalment durant els darrers 40 anys, sent la influència humana el principal motor de l'acidificació dels oceans observada (pràcticament segura).
- Hi ha una gran confiança que les onades de calor marines s'han tornat més freqüents al segle XX, i la majoria d'elles s'han atribuït a l'origen antròpic des del 2006 (molt probable).
- Hi ha una gran confiança que els nivells d'oxigen han baixat en moltes regions des de mitjans del segle XX i que l'abast geogràfic de molts organismes marins ha canviat durant les dues últimes dècades.
- La quantitat d'escalfament de l'oceà observada des de 1971 probablement es duplicarà almenys el 2100 en un escenari d'escalfament baix (SSP1–2.6) i augmentarà de 4 a 8 vegades en un escenari d'escalfament elevat (SSP5–8.5).
- L'estratificació (pràcticament segura), l'acidificació (pràcticament segura), la desoxigenació (alta confiança) i la freqüència de les onades de calor marines (alta confiança) seguiran augmentant al segle XXI.
- Tot i que hi ha poca confiança en el canvi de la circulació de retorn meridional de l'Atlàntic



(AMOC) del segle XX, és molt probable que disminueixi al llarg del segle XXI. La circulació de retorn meridional de l'Atlàntic és el corrent que regula part del clima de la zona nord d'Europa, fent que tinguin un clima més benigne de l'inicialment esperat per posició en el globus terraqüi.

- El nivell mitjà global del mar va augmentar en **+0,20 m** durant el període 1901–2018 amb una taxa d'augment que s'ha accelerat des de la dècada de 1960. L'increment en el període 2006–2018, a estat de fins a **+3,7 mm/any** (alta confiança).
- És pràcticament segur que el nivell del mar continuarà augmentant durant el segle XXI. El nivell del mar respon a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) més lentament que la temperatura de la superfície global. Això condueix a un augment del nivell del mar compromès a llarg termini, que continuarà al llarg dels segles i mil·lennis després del cessament de les emissions (confiança alta). **L'any 2100, es preveu un augment de +0,63 a +1,02 m** (rang probable) sota **SSP5–8,5** en relació amb la mitjana de 1995–2014 (confiança mitjana).
- Sota els escenaris d'emissions de CO₂ més elevades, hi ha una profunda incertesa en les projeccions del nivell del mar per al 2100 (associades a la resposta de la capa de gel). En una història de poca probabilitat, d'alt impacte i un escenari d'emissions de CO₂ elevades, els processos de la capa de gel caracteritzats per una profunda incertesa podrien fer que el mar augmenti fins a uns **+5 m** el 2150.

Projeccions en el mediterrani

A través de l'Atlas Interactiu, obert a la consulta pública a través d'Internet, es poden observar tots aquests canvis climàtics en 46 regions terrestres i 12 oceàniques.

Això ens permet veure l'evolució climàtica prevista al mediterrani en els diferents escenaris climàtics i respecte a les variables de:

- Increment del nivell del mar
- Increment de la temperatura de l'aigua
- Acidificació (variació del nivell de pH)

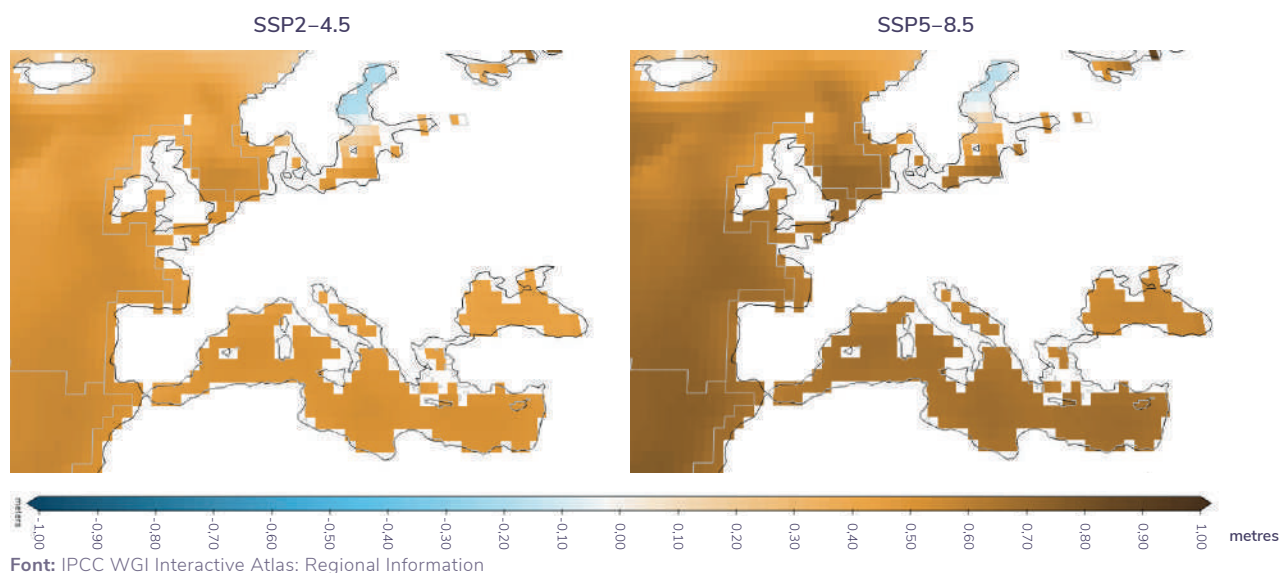
Per altra banda, l'atles permet tenir uns valors aproximats en punts concrets, encara que amb una precisió menor. És per això que a continuació s'analitza la situació general a tot el mediterrani i litoral de Barcelona.

Increment del nivell del mar

Pel que fa a les projeccions de l'increment del nivell de mar que estableix el 6è Informe de l'IPCC per al mediterrani, s'espera un augment significatiu. Si bé els augments del nivell de mar deguts al canvi climàtic són molt més notables als oceans, també s'espera que la mar Mediterrània els pateixi.

Es preveuen augments de +0,5 metres al final del segle en l'escenari compromès (SSP2-4.5), i de +0,7 metres de mitjana en l'escenari passiu (SSP5-8.5). En aquest sentit, les projeccions d'increment del nivell del mar proporcionades per al litoral de Barcelona són pràcticament les mateixes que les proporcionades per a la resta de la conca del mediterrani.

Imatge 49 Projeccions en l'increment del nivell del mar per als escenaris SSP2 i SSP5 a llarg termini (2081-2100)



Taula 15 Projeccions en l'Increment del nivell del mar per als diferents models climàtics al mediterrani i litoral de Barcelona

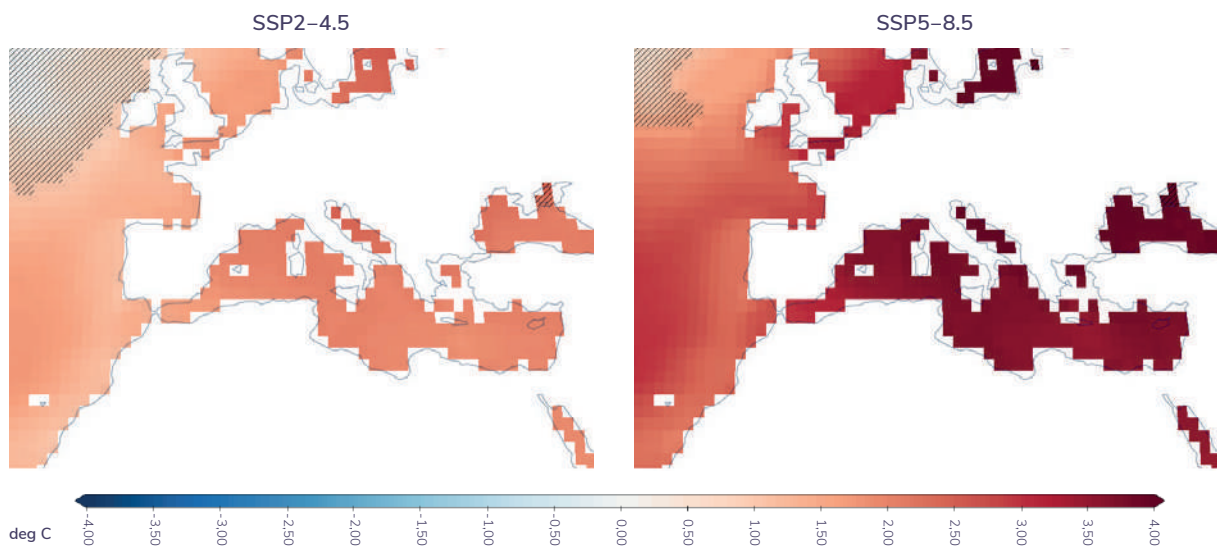
	2021–2040		2041–2060		2081–2100	
	SSP2–4.5	SSP5–8.5	SSP2–4.5	SSP5–8.5	SSP2–4.5	SSP5–8.5
Increment del nivell del mar (m) al Mediterrani	+0,1	+0,1	+0,2	+0,3	+0,5	+0,7
Increment del nivell del mar (m) al litoral de Barcelona	+0,1	+0,1	+0,2	+0,3	+0,5	+0,7

Font: IPCC WGI Interactive Atlas: Regional Information

Increment de la temperatura de l'aigua

En relació a la temperatura superficial de l'aigua del mar, el 6è Informe de l'IPCC ofereix projeccions climàtiques per als dos escenaris climàtics. Per a la conca mediterrània, s'observa un augment de la temperatura per ambdós escenaris i períodes. Es preveuen increments de 2 °C al final de segle en l'escenari compromès (SSP2–4.5), i de fins a 3,6 °C en l'escenari passiu (SSP5–8.5). En el cas concret del litoral de Barcelona, cal destacar que les projeccions proporcionades donen valors similars als proporcionats per a la conca del mediterrani. En aquest cas, es preveuen increments de fins a 3,7 °C a final de segle en l'escenari passiu (SSP5–8.5).

Imatge 50 Projeccions en l'increment de la temperatura de la superfície marina al mar mediterrani per als escenaris SSP2 i SSP5 a llarg termini (2081–2100)



Però, cal destacar que els increments projectats per al litoral de Barcelona són superiors en fins +0,8 °C a altres zones del mediterrani, com la conca mediterrània andalusa. Per contra, altres zones del mediterrani presenten increments superiors a les dades projectades per al litoral de Barcelona, com és el cas del mar Adriàtic. Aquest mar, a causa de la seva característica de mar «semitancat», presenta increments màxims de temperatura a finals de segle de fins +4,4 °C en l'escenari passiu (SSP5-8.5).

Taula 16 Projeccions de la temperatura superficial de l'aigua del mar per als diferents models climàtics al mediterrani i litoral de Barcelona

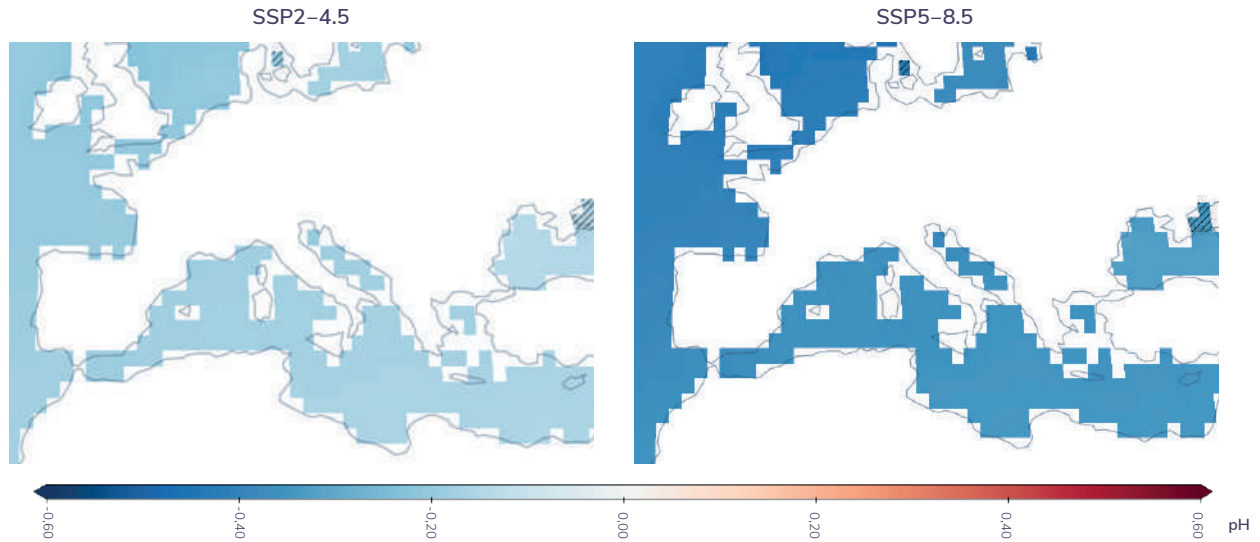
	2021-2040		2041-2060		2081-2100	
	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP2-4.5	SSP5-8.5
Increment de la temperatura de la superfície marina (°C) al mediterrani	+0,8	+0,8	+1,3	+1,6	+2,0	+3,6
Increment de la temperatura de la superfície marina (°C) al litoral de Barcelona	+0,8	+0,8	+1,3	+1,6	+2,0	+3,7

IPCC WGI Interactive Atlas: Regional Information

Acidificació al mar mediterrani

Segons el 6è informe de l'IPCC l'acidesa de les aigües mediterrànies es veurà incrementada en qualsevol dels escenaris i períodes contemplats. Aquesta disminució del pH serà pràcticament igual en tot el mediterrani. Es preveuen disminucions de 0,2 al final de segle en l'escenari compromès (SSP2-4.5), i de fins a 0,4 en l'escenari passiu (SSP5-8.5). En el cas del litoral de Barcelona es preveuen disminucions del pH lleugerament menors que les projectades per al mediterrani, amb disminucions de 0,3 a finals de segle en l'escenari passiu (SSP5-8.5). Així mateix, cal destacar que les condicions de sobrepesca i la contaminació accentuen encara més els efectes de l'acidificació al Mediterrani.

Imatge 51 Projeccions del pH de l'aigua al mar mediterrani per als escenaris SSP2 i SSP5 a llarg termini (2081–2100)



Font: IPCC WGI Interactive Atlas: Regional Information

Taula 17 Projeccions de la variació del pH de l'aigua del mar per als diferents models climàtics al mediterrani i litoral de Barcelona

	2021–2040		2041–2060		2081–2100	
	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP2-4.5	SSP5-8.5
Acidificació de l'aigua marina (variació del pH) al mediterrani	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3
Acidificació de l'aigua marina (variació del pH) al litoral de Barcelona	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,4

IPCC WGI Interactive Atlas: Regional Information



Conclusions i recomanacions

Els mars i els oceans exerceixen un paper clau en la mitigació del canvi climàtic, ja que actuen com un dels grans embornals de CO₂ del planeta. Però l'increment en les emissions dels gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera dels darrers decennis estan posant en risc el funcionament correcte del sistema climàtic i pot desequilibrar-lo. Això podria comportar una reducció del potencial mitigador dels mars i oceans i fins i tot un cop superat cert punt crític, que esdevinguin elements potenciadors del canvi climàtic, alliberant calor a l'atmosfera.

El temps de resposta de la hidrosfera (oceans, mars, rius i llacs) és a molt més llarg termini, a diferència de l'atmosfera. A causa de la inèrcia dels oceans i els mars, aquests són com un element regulador de la temperatura, que actua des d'una escala estacional fins a una escala de segles i mil·lennis.

És una evidència que les temperatures dels oceans han augmentat des de principis del segle XX, i especialment en els darrers 30 anys, sumant increments de més de 0,1 °C per dècada en els primers 75 m. Aquests canvis han comportat àmplies variacions espacials i estacionals, així com increment dels esdeveniments extrems a les aigües costaneres (AR5, IPCC, 2014).

El 6è Informe¹ lliurat pel Grup de Treball de l'IPCC a l'agost de 2021 confirma molts dels efectes relacionats amb els oceans i mars analitzats en aquest estudi. En aquest sentit, mars i oceans patiran efectes com el seu escalfament, la seva acidificació, l'augment de la freqüència de les onades de calor marines i la reducció dels nivells d'oxigen, clarament relacionats amb la influència humana.

Avui dia s'estima que els oceans han absorbit el 90 % de l'excés de la calor generada al sistema climàtic². La major part d'aquesta calor, ha estat absorbida per l'oceà superior (de 0 a 700 m de profunditat), mentre que els increments de temperatura a l'oceà profund (>700 m de profunditat) són força menors.

Els efectes d'aquest increment de les temperatures són amplis i notoris: s'ha duplicat la taxa d'esclafament de l'aigua dels oceans, ha augmentat la freqüència de patir onades de calor marines i ha augmentat el nivell del mar a causa de la fusió de part dels casquets polars i de la pròpia expansió tèrmica de l'aigua.

El nivell mig del mar de tot el món ha augmentat en 0,19 m en el període 1901-2010. Però el que és més important és que s'ha detectat una acceleració en les dues darreres dècades: el nivell global mitjà de la mar ha augmentat 1,7 mm/any en el període 1901-2010 i 3,2 mm/any entre 1993 i 2010.

1 Climate Change 2021, The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the IPCC.

2 IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)].

El pH de l'aigua oceànica ha decregut 0,1 des del començament de l'era industrial (s'ha acidificat), que correspon a un augment del 26% de concentració d'ions hidrogen (i és derivat a l'absorció de gran quantitat de CO₂).

Els efectes conjunts derivats del canvi climàtic també han provocat un desplaçament dels límits i rangs de distribució de moltes espècies intermareals. Un elevat nombre d'evidències revelen que petites quantitats d'escalfament a l'oceà poden tenir grans efectes sobre els ecosistemes oceànics, ja que suposa un desafiament per als organismes i ecosistemes, ja que intenten migrar a regions més fredes a mesura que l'oceà continua escalfant-se.

I de cara a futur, en tots els escenaris contemplats els oceans i mars continuaran escalfant-se. Aquest procés continuarà durant segles a causa de les llargues escales temporals de la transferència de calor entre la superfície i l'oceà profund, fins i tot si les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle decreixen o es mantenen constants.

Moltes ciutats litorals de tot el món estan rebent els efectes del canvi climàtic de forma destacada, ja que a la franja litoral és un àmbit doblement vulnerable, ja que hi incideixen els efectes provinents del món terrestre i del món marí.

Actualment gran part de les ciutats litorals estan buscant com redefinir la seva relació amb el litoral, tant des del punt de vista urbanístic, ambiental, social i de gestió. I moltes d'elles estan adoptant mesures per adaptar-se als efectes inevitables del canvi climàtic.

Aquestes estratègies són diferents per les ciutats litorals, ja que no totes elles tenen els mateixos impactes i/o magnituds d'aquests efectes i a més, parteixen de situacions actuals i de condicionants diferents. Així doncs les diferents estratègies conformen un ventall ampli, on algunes ciutats intenten adaptar el seu litoral als canvis que vindran en el futur, mentre que altres enfoquen la seva estratègia a mesures de protecció per intentar preservar el màxim possible la situació actual.

Dins d'aquest context de canvi i necessitat d'adaptació davant dels efectes derivats de l'emergència climàtica (que Barcelona ja està patint en part), aquest treball ha fet una recopilació de tota la informació existent dels efectes del canvi climàtic a la ciutat. Això alhora també permet detectar els temes en els quals no es disposa de suficient informació i establir quins aspectes s'han d'analitzar en més profunditat, perquè esdevingui una eina que ajudi a la ciutat a escollir la millor estratègia per fer front als futurs canvis.

Barcelona es caracteritza i alhora està condicionada climàticament per la seva mediterraneïtat. El mar mediterrani i la seva conca es considera una àrea clau en l'àmbit mundial (hotspot) a causa de la seva alta vulnerabilitat davant el canvi climàtic la magnitud dels impactes esperats i l'elevada població (500 milions de persones). La zona del mediterrani s'escalfa un 20 % més de pressa que la resta del món (Union for the Mediterranean, 2019), i hi conflueix un increment destacat de les temperatures amb una reducció de la precipitació.

A més a més, el litoral de la nostra ciutat ha canviat molt, és un àmbit en permanent transformació. Un dels grans canvis ha succeït en les darreres dècades, on la ciutat ha passat a viure de cara al mar i hi ha desenvolupat grans projectes que han ajudat a transformar el front litoral, incorporant noves platges que fa uns anys no existien.

Actualment en aquesta franja litoral d'elevada complexitat i vulnerabilitat, hi conviuen activitats, valors ambientals, platges, un dels espais públics més utilitzats de la ciutat, infraestructures essencials pel funcionament de la metròpolis, etc. Però precisament aquesta concentració d'usos comporta una elevada gestió d'aquest espai, com per exemple l'estabilització de platges.

El litoral és l'espai frontera entre el món marí i el món terrestre i per tant és un espai més vulnerable, ja que es manifesten els efectes del canvi climàtic per partida doble, s'uneixen els impactes dels dos mons.

En el treball s'ha recopilat la informació existent dels principals efectes vinculats al canvi climàtic que poden tenir efecte sobre el litoral de Barcelona:

- Increment del nivell del mar
- Increment i canvi de direcció de l'onatge
- Increment de les tempestes i episodis extrems
- Increment de la temperatura del mar i del medi terrestre
- Disminució de l'oxigen de l'aigua
- Acidificació de l'aigua marina
- Increment de l'evapotranspiració i de la salinització
- Salinització dels aqüífers costaners
- Increment de les descàrregues al litoral provocades per les inundacions
- Efectes de les infraestructures i equipaments estratègics ubicats a la zona del litoral
- Efectes sobre la biodiversitat

L'anàlisi de les diferents efectes climàtics se centra principalment amb els escenaris de concentració d'emissions utilitzats per l'Ajuntament de Barcelona en el marc del Pla Clima: l'anomenat **escenari compromès** (el RCP4.5, que es correspon a complir els objectius de l'Acord de París i el SSP2-4.5, que correspon al compliment dels objectius que estableix el 6è Informe de l'IPCC) i l'anomenat **escenari passiu** (el RCP8.5 i el SSP5-8.5, que significa continuar amb el ritme actual d'emissions).

El grau de detall de la informació d'aquests impactes és desigual, amb alguns impactes on es disposa d'informació extensa i detallada, mentre que altres impactes la informació és més puntual. A més a més l'escala a la qual analitzen l'impacte també és diversa: mentre que hi ha impactes que es disposa d'informació de detall a nivell de costa de Barcelona o voltants, en d'altres la informació que es disposa és a nivell de costa catalana, o nivell mediterrani o en alguns pocs casos a nivell més global.

A continuació es mostra una taula resum on es mostren els principals resultats quantificables dels efectes estudiats.

Taules resum

Taula resum del treball

Efecte del canvi climàtic a l'entorn litoral	Font	2035		2100	
		RCP4.5 (2006–2035)	RCP8.5 (2006–2035)	RCP4.5 (2071–2100)	RCP8.5 (2071–2100)
Increment mig del nivell del mar (cm)	RESCCUE	-1 / +10	-1 +10	+10 / +40	+10 / +50
	I.H.C. ³	+15,13	+16,22	+43,11	+57,62
Alçaria mitjana d'onada (%)	RESCCUE	+0/+4	+0/+4	-5/-0	-10/-0
	I.H.C.	-2,24	-0,4	-3,58	-5,12
Canvi direcció de l'onatge (°) ⁴	I.H.C.	-1,0589	-1,507	-1,0334	-1,9154
Increment de les tempestes i episodis extrems	Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya	Episodis extrems més freqüents en les pròximes dècades			
	Informe ECOSOST	Tendències creixents del nombre de temporals en els sectors amb component sud, especialment entre el S i el SW.			
Increment de la temperatura terrestre	AMB, Servei Meteorològic de Catalunya i Barcelona Regional.	+1,71	+2,09	+1,86	+2,95
Increment de la temperatura de l'aigua	Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya	La mar catalana s'està escalfant a una velocitat de 0,3 °C per decenni			
	I.H.C.	0,4710	0,5605	0,8089	1,5446
Disminució de l'O ₂ de l'aigua	IUCN	-	-	-	Disminució 3–4 %
Acidificació de l'aigua marina	Projecte europeu MedSea	L'acidesa de les aigües al Mar Mediterrani s'ha incrementat un 10 % des de 1995, i ho farà un 30 % més fins a l'any 2050 si continua el ritme actual de les emissions de CO ₂			
Increment evapotranspiració i salinització	Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya	En general per a la Mediterrània s'apunta a un increment continuat de la salinitat, la zona de la mar catalana és una excepció on, segons quina sigui la simulació, es projecten increments o disminucions de la salinitat.			

3 Institut d'Hidràulica Ambiental de Cantàbria

4 Els valors negatius representen canvis en sentit anti-horari, és a dir, direcció est.

Taula resum de IPCC-AR6 (2021)

Efecte del canvi climàtic IPCC AR6-2021 (Mediterrani)	2041-2060		2081-2100	
	SSP5-4.6	SSP5-8.6	SSP5-4.6	SSP5-8.6
Increment mig del nivell del mar (cm)	-20	-30	+50	+70
Increment de la temperatura de l'aigua (°C)	+1,3	+1,6	+2,0	+3,6
Acidificació de l'aigua marina	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3

Aquestes dades ens mostren que les platges de Barcelona en un futur més o menys proper hauran d'adaptar-se als canvis que es preveuen, alguns dels quals ja estem patint els seus efectes. Tenint en compte que és un entorn en constant transformació, amb un grau d'artificialitat important i essent un dels espais més utilitzats de la ciutat al llarg de tot l'any, caldrà buscar un model de platges i de gestió pel litoral de Barcelona, que incorpori els impactes associats a l'emergència climàtica, integri i protegeixi els seus valors i alhora aportï a la ciutat i als seus ciutadans un espai públic de qualitat, en transició entre l'espai urbà i el medi marí.

A més a més, recentment des de l'Oficina Estratègica de l'àmbit litoral i la Direcció de platges s'ha creat un **grup d'experts de platges** per ajudar a determinar el futur model de platges i el litoral de la ciutat. Aquesta taula està formada per professionals i acadèmics de les diferents àrees de coneixement que integra el litoral, amb l'objectiu d'aportar una visió holística i integral d'aquest espai tan característic i ajudar a determinar les futures línies estratègiques. Les seves aportacions s'hauran de tenir en consideració per a poder afrontar els efectes derivats del canvi climàtic.

Amb la informació derivada d'aquest treball, i a tall de resum, es pot dir que els efectes més destacats que patirà el litoral de Barcelona estan relacionats amb l'increment del nivell del mar, l'increment de les tempestes i episodis extrems, un canvi de direcció de l'onatge i increment de la temperatura (de l'aire i del mar).

L'increment del nivell del mar és un dels efectes més destacats i vinculats al canvi climàtic, que cap al 2035 pot incrementar-se entre els +10 cm i els +16,22 cm (pels estudis de referència del RESCCUE i el de l'Institut d'hidràulica de Cantàbria), i a finals de segle pot incrementar-se entre els +10 i els +57,62 cm. En aquest sentit, el 6è informe de l'IPCC preveu increments del nivell del mar superiors a les projeccions proporcionades per RESCCUE i l'Institut de Cantàbria tant per a la conca del mediterrani com per al litoral de Barcelona. Aquest increment varia entre els +50 i els +70 cm a finals de segle en qualsevol dels escenaris tant per al mediterrani com per al litoral de Barcelona.

Analitzant els efectes directes de l'increment del nivell del mar, les zones de sorra que seran més inundable per aquesta pujada es situen a diferents zones del litoral barceloní. Per un cantó a les platges de ponent es preveu una reducció generalitzada de superfície de sorra a totes 4 platges (Sant Sebastià, Sant Miquel, Barceloneta i Somorrostro). En canvi a les 5 platges de llevant (Nova Icària, Bogatell, Mar Bella, Nova Mar Bella i Llevant) la principal reducció de zona de sorra es focalitza especialment a la platja de Nova Mar Bella i en menor mesura a les platges de la Mar Bella i Llevant.

També un altre dels efectes destacats serà l'increment de les tempestes i els episodis extrems. El cas del temporal Glòria, esdevingut el gener del 2020 de forma puntual, es preveu que amb el canvi climàtic cada vegada serà més freqüent. El temporal Glòria va impactar severament sobre la franja litoral de Barcelona, causant la pèrdua de sorra generalitzada en la línia de costa, moviments de sorra als passejos, trencament i danys a les infraestructures de protecció, afeccions sobre les infraestructures, equipaments i mobiliari de la ciutat, desperfectes i desplaçament del mobiliari urbà, afeccions a les activitats econòmiques situades a la zona litoral, etc. Els costos d'aquestes afeccions s'estimen en més de 23 milions d'euros. Si s'incrementa la freqüència d'aquests episodis, caldrà repensar aquest espai per esdevenir el màxim de resiliència i reduir els costos associats davant les tempestes i els episodis extrems. Tenint en compte que les platges de Barcelona depenen de l'aportació artificial de sorres, caldrà assumir els costos constants associats a mantenir el model de platges actual o bé establir algunes modificacions per adaptar-nos a aquests canvis, assumint un canvi a les platges actuals.

A més a més, també s'ha constatat un canvi en la direcció de l'onatge en les darreres 6 dècades, que es preveu un increment de la freqüència de l'onatge de component est. Aquesta variació tindria conseqüències directes sobre la geometria en planta de les platges de la ciutat, que tendeixen a orientar-se en direcció perpendicular a l'onatge incident. De manera simplificada, i sense tenir en compte els efectes de refracció d'espigons i obres de protecció, un gir en la direcció de l'onatge provocaria una basculació en planta del límit de les platges, incrementant la seva amplada en un dels extrems però reduint la de l'altre. També caldrà estudiar en detall els efectes sobre els ports presents al litoral barceloní i veure com pot afectar a les proteccions el canvi de direcció de l'onatge, amb els nous escenaris climàtics.

I per últim, un dels efectes més destacats és l'increment de la temperatura a l'àmbit litoral, tan pel que fa a la temperatura de l'aigua del medi marí com a la temperatura de l'aire del medi terrestre, sobretot pel que fa a les temperatures nocturnes. Ambdós efectes fan que la zona litoral sigui una zona especialment vulnerable. Malgrat que no hi ha dades de detall del litoral barceloní, segons el Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, la mar catalana s'està escalfant a una velocitat de 0,3 °C per decenni. I segons l'estudi de l'Institut d'Hidràulica de Cantàbria, es preveu un increment a finals de segle entre els +0,08089°C i els +1,5446 °C. D'altre banda, el 6è informe de l'IPCC preveu increments de temperatura de l'aigua marina tant per al mediterrani com per al litoral de Barcelona superiors als proporcionats pel Institut de Cantàbria. En el cas de la conca del mediterrani, es preveuen increments de 2 °C al final de segle en l'escenari compromès (SSP2-4.5), i de fins a 3,6 °C en l'escenari passiu (SSP5-8.5). En el cas concret del litoral de Barcelona, cal destacar que les projeccions proporcionades donen valors similars

als proporcionats per a la conca del mediterrani. En aquest cas, es preveuen increments de fins a 3,7 °C a final de segle en l'escenari passiu (SSP5–8.5).

Pel que fa a l'increment de la temperatura de l'aire al medi terrestre, es preveu un increment notable de les temperatures nocturnes, arribant a finals de segle en l'escenari passiu a 74 nits tropicals (duplicant les actuals) o arribant a més de 50 nits tòrrides (triplicant les actuals). És en el litoral on els increments de temperatura nocturna són més destacats, degut a l'efecte del mar, que durant la nit allibera tota la calor acumulada durant el dia. És per això que caldrà adoptar mesures per reduir la temperatura, com per exemple incrementar la presència de vegetació als parcs litorals o bé incrementar el verd urbà de la trama urbana. La presència de vegetació, especialment la caducifòlia, té un efecte termoregulador, millorant la qualitat d'aquest espai i ajudant a atenuar els efectes sobre la població.

Per altra banda caldria ampliar el coneixement d'alguns temes que s'han vist que el litoral de Barcelona no disposa de suficient informació. Aquesta informació és diversa i variada, però potser els temes més rellevants a considerar per a futurs treballs serien posar-se d'acord amb la resta d'administracions responsables del litoral per escollir aquelles variables o paràmetres imprescindibles per a fer un seguiment de l'evolució de les platges i veure la seva incidència futura.

També seria interessant aprofundir el coneixement amb la incidència derivada de les descàrregues al litoral provocades per episodis de pluges intenses actuals i futures i amb efectes sobre el medi marí.

I per últim, incrementar el coneixement de la biodiversitat actual i futur del litoral barceloní. Malgrat que és un entorn antropitzat, és important disposar de més informació que permeti saber la distribució de les espècies en el litoral metropolità i seguiment dels efectes del canvi climàtic sobre aquestes espècies, estudiar la presència d'espècies al·lòctones invasores d'origen tropical o sub-tropical degut a l'escalfament i fer un seguiment de la presència i abundància de les meduses en el litoral barceloní i d'episodis de proliferació massiva per determinar-ne les seves causes.



Bibliografia

Mediterranean Sea response to climate change in an ensemble of twenty first century scenarios. Climate Dynamics. Adloff, F.; Somot, S.; Sevault, F. [et al.] (2015). DOI: 10.1007/s00382-015-2507-3.

Aigua i Canvi Climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya, 2019. Generalitat de Catalunya.

Avaluació ambiental estratègica del Pla Director Urbanístic Metropolità, (2018). Barcelona Regional i Àrea Metropolitana de Barcelona.

Anàlisi dels ultrapassaments dels espigons del litoral de la ciutat de Barcelona i la seva afecció pel canvi climàtic, (2021). Barcelona Regional i MARCIGLOB.

Reduced early life growth and survival in a fish in direct response to increased carbon dioxide. Nature Climate Change, 2(1):38–41. Baumann, H., Talmage, S.C., Gobler, C.J. 2012.

Detrimental effects of ocean acidification on the economically important Mediterranean red coral. Global Change Biology (2013), IGBP, COI, SCOR (2013). La acidificación del océano. Resumen para responsables de políticas. Bramanti, L. et al.

Canvi climàtic 2014: Resum per a responsables de polítiques. Generalitat de Catalunya.

Cambio climático en el mediterráneo español. Instituto Español de Oceanografía.

Calcification reduction and recovery in native and non-native Mediterranean corals in response to ocean acidification, (2012). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, accepted, 438, 144–153.

Climate Change 2014, Impacts, Adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. IPCC.

Climate Change 2021, The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the IPCC.

Criteria ambientals per al disseny de parcs urbans, 2016. Àrea Metropolitana de Barcelona i Barcelona Regional.

Design and Planning for Flood Resiliency: Guidelines for NYC Parks, 2017.

Ocean salinity and the global water cycle. Oceanography, 28, p. 20-31. Durack, P. J. (2015).

Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático a lo largo de la costa española. Proyecciones de alta resolución de variables marinas en la costa española. Gobierno de España y Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, 2019.

Estudis de base per a una estratègia de prevenció i d'adaptació al canvi climàtic a Catalunya: Delta de l'Ebre. Generalitat de Catalunya, 2008.

Estat de la Natura a Catalunya, 2020. Observatori del Patrimoni Natural i la Biodiversitat.

Estudi d'onatge en situació actual i previsions de canvi climàtic a les platges de Barcelona, (2021). Barcelona Regional i Ecosost.

Evolució projectada de diferents índexs de calor a l'Àrea Metropolitana de Barcelona, 2018. Servei Meteorològic de Catalunya.

Evolució de les inundacions a l'àrea metropolitana de Barcelona des d'una perspectiva holística: passat, present i futur, 2015. METROBS i Àrea Metropolitana de Barcelona.

Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona, 2015. METROBS i Àrea Metropolitana de Barcelona.

Footprints of global change in marine life: Inferring past environment based on DNA methylation and gene expression marks. Anastaisidi, D et al. Institut de Ciències del Mar (2020).

Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. ICES Journal of Marine Science, 65:414–432. Fabry, V.J., Seibel, B.A., Feely, R.A., Orr, J.C. 2008.

- Scleractinian coral species survive and recover from decalcification.* Science, 315, 1811. Fine M, Tchernov D (2007).
- Guia de gestió de dunes metropolitanes (2016).* Àrea Metropolitana de Barcelona i Josep Lascurain (SGM, SL).
- Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC, 2016.* Gobierno de España.
- Inundabilitat Marítima. (2017). Estudi dels Impactes del Canvi Climàtic a Barcelona.* Pla Clima Capítol IV. Barcelona Regional i Ajuntament de Barcelona.
- 2017. Una introducción a la acidificación del océano: Lo que es, lo que sabemos y lo que puede suceder.* UICN, Gland, Suiza, 30 pp. Laffoley, D., Baxter, J.M., Turley, C., Jewett, L., y Lagos, N.A., (editores).
- Los efectos del cambio climático y los cambios atmosféricos conexos en los océanos, 2017.* Naciones Unidas.
- LIFE dunes Project, 2012.* © Staatsbosbeheer i Unió Europea.
- Movilla J, Calvo E, Pelejero C, Coma R, Ribes M, Serrano E, Fernandez-Vallejo P
- Ocean deoxygenation: Everyone's problem. Causes, impacts, consequences and solutions.* © 2019 IUCN, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- Onades de Calor. (2017). Estudi dels Impactes del Canvi Climàtic a Barcelona.* Pla Clima Capítol II. Barcelona Regional i Ajuntament de Barcelona.
- Integrating climaterelate stressor effects on marine organisms: unifying principles linking molecule to ecosystem-level changes.* Marine Ecology Progress Series, 470:273. Pörtner, H.-O. 2012.
- Projecte Dunes híbrides (2014).* Àrea Metropolitana de Barcelona, Platges.
- Pelagia noctiluca in the Mediterranean Sea. Jellyfish Blooms.* Ed. Springer Pitt and Lucas Editors .Cap 11. Canepa A., Fuentes V., Sabatés A., Piraino S., Boero F., Gili J.M.2014
- Resilient Edgemere Community Plan, 2015.* New York city
- RESCCUE, Final climate scenarios report, 2017*
- RESCCUE, Report on extreme events prediction, 2017*
- Resum sobre la Formació i Conseqüències de la Borrasca Glòria, 2020.* Institut de Ciències del Mar
- Risc sobre les infraestructures, (2017). Estudi dels Impactes del Canvi Climàtic a Barcelona.* Pla Clima Capítol X. Barcelona Regional i Ajuntament de Barcelona
- Risks associated to climate and environmental changes in the mediterranean region, 2019.* Swedish International Development cooperation Agency
- Sea Surface Temperature in the Mediterranean: Trends and Spatial Patterns (1982–2016), 2017.* Francisco Pastor, Jose Antonio Valiente, Jose Luis Palau.
- Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades.* Nature, 542, 335 - 339. Schmidtko, S., Stramma, L., & Visbeck, M. (2017). <https://doi.org/10.1038/nature21399>
- Solutions (100) for Climate Actions in Cities (Editions 2015, 2016, 2017, 2019).* Realdania i C40 CITIES

Salinity changes in the World Ocean since 1950 in relation to changing surface freshwater fluxes. *Climate Dynamics*, 43, p. 709-736. Skliris, N.; Marsh, R.; Josey, S. A. [et al.] (2014).

Tercer simposio *El océano en un mundo con altos niveles de CO₂. Programa Internacional Geosfera – Biosfera*, Estocolmo (Suecia).

Tercer Informe sobre Canvi Climàtic a Catalunya, 2016. Generalitat de Catalunya i Institut d'Estudis Catalans.

Pla estratègic dels espais litorals de la ciutat, 2018. Oficina estratègica de l'àmbit litoral (Ajuntament de Barcelona) i Barcelona Regional

Programa de gestió intel·ligent de sediments. Ajuntament de Barcelona

Recursos web

http://cads.gencat.cat/web/content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER_INFORME_CANVI_CLIMATIC_web.pdf

<https://www.unitgraphics.com/deox/IUCNDeoxreportBOOK15-11-2019.pdf>

http://www.ma.ieo.es/gcc/cambio_climatico_reedicion.pdf

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-020-02723-4>

<https://www.unitgraphics.com/deox/IUCNDeoxreportBOOK15-11-2019.pdf>

United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/>

<http://medsea-project.eu/publications>

Visor Institut de Hidràulica Ambiental de Cantàbria

<https://c3e.ihcantabria.com/>

Visor IPCC WGI Interactive Atlas: Regional information (Advanced)

IPCC WGI Interactive Atlas







**Ajuntament
de Barcelona**

Gerència Municipal
Oficina Estratègica de l'àmbit litoral

Medi Ambient i Serveis Urbans – Ecologia Urbana
Barcelona Cicle de l'Aigua, SA
Direcció de platges

BR

BARCELONA
REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBA