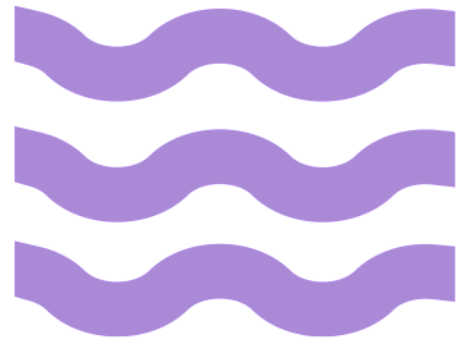


**PLA
CLIMA**



ESTUDI DELS IMPACTES DEL CANVI CLIMÀTIC A BARCELONA



CAPÍTOL IV

INUNDABILITAT MARÍTIMA

BR

BARCELONA
REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ

Ajuntament de
Barcelona



CLIENT



REDACCIÓ



CARRER 60, 25-27.
EDIFICI Z, PLANTA 2
SECTOR A, ZONA FRANCA
08040 BARCELONA
T 932 237 400
F 932 237 414

www.bcnregional.com
br@bcnregional.com

COORDINACIÓ

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

COL·LABORACIÓ

Aleix Coral Alcolea, *Cap de Projectes d'Enginyeria*
Albert Carbonell Ferrer, *Tècnic de GIS*

i l'equip tècnic i administratiu de Barcelona Regional

DIRECCIÓ PER PART DE L'AJUNTAMENT DE BARCELONA

Irma Ventayol i Ceferino, *Coordinadora de l'Oficina de Sostenibilitat*
Ares Gabàs Masip, *Responsable de Resiliència Urbana*

I L'EQUIP TÈCNIC:
Benjamí Gauchía Legal
Antoni González Gómez
Patricia Lacera Martínez

© 2017, BARCELONA REGIONAL



ÍNDEX

1. PRESENTACIÓ	5
2. ANÀLISI I DIAGNOSI	9
2.1. EL NIVELL DEL MAR.....	11
2.1.1. Nivell mig del mar.....	13
2.1.2. Marea astronòmica	18
2.1.3. Marea meteorològica	18
2.2. EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC SOBRE LES PLATGES.....	21
2.2.1. Inundabilitat.....	21
2.2.2. Canvis morfològics.....	37
3. CONCLUSIONS.....	41
4. RECOMANACIONS.....	45
5. BIBLIOGRAFIA	49
6. ANNEXOS.....	53

1. PRESENTACIÓ



Diferents estudis relatius als efectes del canvi climàtic posen de manifest que al llarg dels propers anys es poden produir un seguit de modificacions en fenòmens d'origen climàtic relacionats amb el mar. Les projeccions indiquen:

- Un augment del nivell mig del mar, tot i que amb variabilitats regionals importants.
- Augment probable de les alçades d'ona en latituds altes.
- Increment probable tot i mantenint la freqüència en els ciclons tropicals més intensos.
- Poca reducció de les tempestes extratropicals.

Per les característiques geogràfiques i climàtiques de la nostra zona el primer factor és el que més incidència pot tenir en la ciutat de Barcelona, tot i que com veurem, les tendències relatives a la variabilitat de temporals marítics o les variacions de vent i de pressió també tenen un paper molt rellevant.

Aquests canvis d'origen marítim poden tenir conseqüències sobre els elements que conformen el nostre litoral: les seves platges i les infraestructures portuàries. Pel que fa a les platges, els perills tenen una doble vessant: per un costat l'associada directament a la inundabilitat, i que té una relació directa de la pujada del nivell del mar, i per l'altre als canvis de tendències en l'onatge i al propi increment de nivell, que poden modificar la morfologia de les platges, afectant als processos d'erosió i acreció i a la seva orientació. En relació a les infraestructures portuàries, les variables de referència per a estudiar l'efecte del canvi climàtic són l'agitació interior¹ i l'ultrapassament².

En aquest capítol es tracta exclusivament les conseqüències del canvi climàtic sobre les platges. Pel que fa a la inundabilitat s'analitzen els factors que produeixen l'increment del nivell del mar, per entrar després a valorar el seu abast territorial. En relació als canvis en la dinàmica litoral es descriuen les tendències detectades i es presenten les conseqüències que aquests canvis poden tenir.

Per a valorar l'efecte que el canvi climàtic pot tenir sobre els ports, ens remetem a la publicació *Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona de l'Àrea Metropolitana de Barcelona* realitzada en el marc del *Metrops* l'octubre de 2015, que tracta en detall aquest punt. Per al Port Olímpic i el Port Fòrum preveu com a efectes del canvi climàtic un increment dels cabals d'ultrapassament per sobre el dic de recer i un augment de l'agitació interna relacionat amb l'increment del nivell del mar. Tot i això, amb la finalització de les obres de defensa dels ports, que actualment s'estan definint, aquestes afeccions quedarien reduïdes.

Al llarg d'aquest capítol, i segons la nomenclatura definida per al conjunt de l'*Estudi dels Impactes del Canvi Climàtic a Barcelona*, l'anàlisi s'ha basat en el **perill** associat a la inundació marina.

A mode de recordatori, presentem la nomenclatura establerta al *Capítol – Introducció al canvi climàtic*:

- **Perill** es pot definir com la freqüència i intensitat (o magnitud) amb la que un determinat fenomen natural o antròpic impacta en un espai determinat.

¹ Transmissió de l'onatge exterior a l'interior del port.

² Cabal d'aigua que passa per sobre del dic de recer com a conseqüència del trencament de les onades i la remunta que es produeix per sobre d'aquest dic.

- Per **vulnerabilitat**, s'entén la predisposició intrínseca d'un sistema (subjecte, grup, element físic, ecosistema, etc.) a ser afectat per un perill.
- **Risc** és la resultant de considerar el perill i la vulnerabilitat, valorant com cada sistema es veu afectat per un perill determinat.

2. ANÀLISI I DIAGNOSI

2.1. El nivell del mar

2.2. Efectes del canvi climàtic sobre les platges



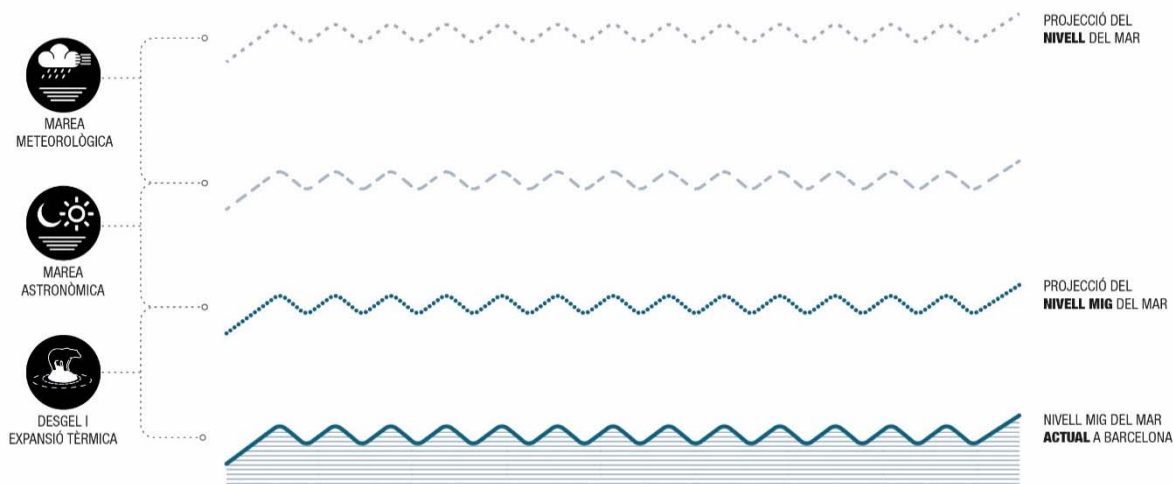
2.1. EL NIVELL DEL MAR

Existeix una preocupació degut a 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 es superposen a aquest nivell mig.

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 astronòmica (determinada per l'atracció del Sol i la Lluna)
- La marea meteorològica (sobreelevació generada per fenòmens atmosfèrics)

Imatge 1: Esquema dels factors d'increment del nivell del mar



Font: Barcelona Regional

El canvi climàtic té conseqüències sobre el nivell mig del mar i la marea meteorològica.

Les característiques de les dinàmiques marines són molt variables d'un lloc a un altre.

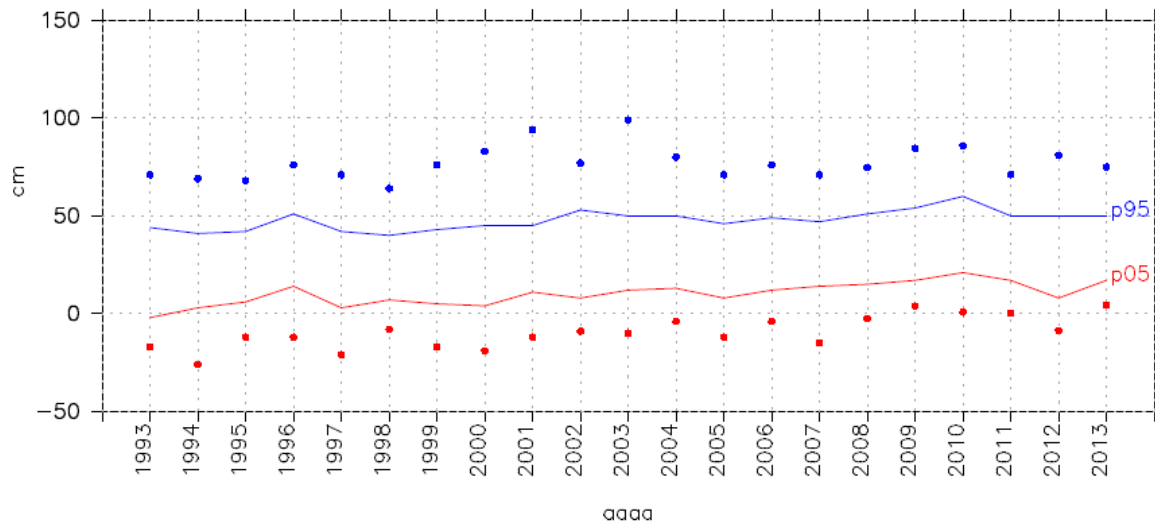
En el cas de la península Ibèrica per exemple, no tenen res a veure les dinàmiques que es produeixen a la conca atlàntica amb les que existeixen a la mediterrània. Degut a la mida del Mediterrani i a la configuració del litoral, l'onatge que arriba a les costes espanyoles està poc desenvolupat, i es caracteritza per tenir períodes³ baixos i alçades d'onada mitges petites (entorn a 0,5 m). La zona més enèrgica es presenta a la Costa Brava, que a l'hivern pateix els temporals del nord-est associats a vents forts de Mestral. Pel que fa a la marea, al ser un mar confinat, la marea astronòmica és molt petita. No obstant, la marea meteorològica pren un caràcter important, arribant-se a acumular fins a 1 m d'aigua a la costa.

En el cas de Barcelona, segons les dades del mareògraf existent més proper que correspon al del port de Barcelona, el màxim nivell del mar observat pel període 1993-2013 es va produir

³ Temps entre onada i onada

el 31/10/2003, quan es va assolir un increment total de 99 cm respecte el zero del port (nivell de referència que coincideix aproximadament amb la mínima baixamar).

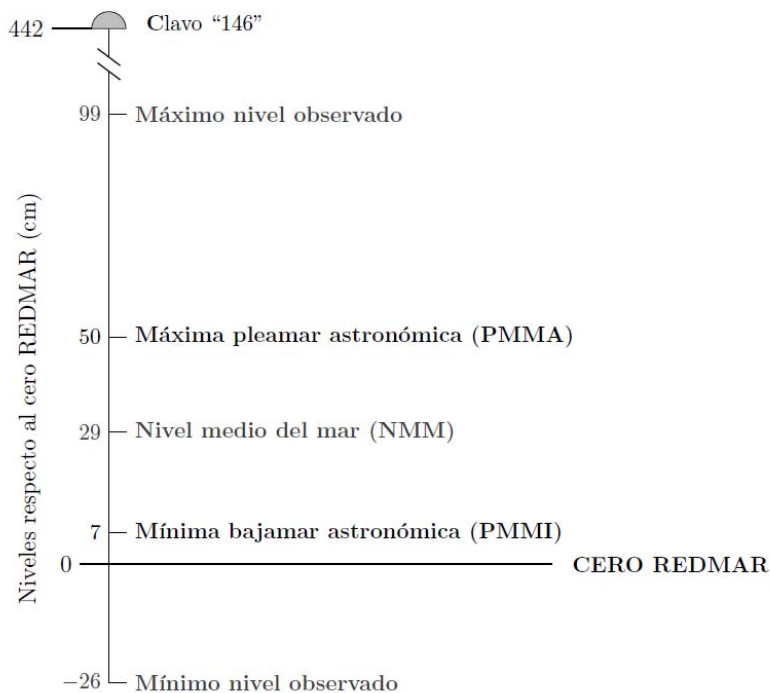
Imatge 2: Evolució dels nivells màxims (blau) i mínims (vermell) del nivell del mar al Port de Barcelona(1993-2013).



Font: Red de Mareógrafos de Puertos del Estado. Informe 2014. Port de Barcelona

D'aquests 99 cm, 29 cm corresponen a la diferència de nivell entre el zero i nivell mig del mar. Els 70 cm restants resulten de l'efecte combinat de la marea astronòmica i meteorològica. En aquest mateix període, el màxim increment degut a la marea astronòmica va ser de 21 cm.

Imatge 3: Principals referències del nivell del mar del Port de Barcelona



Font: Red de Mareógrafos de Puertos del Estado. Informe 2014. Port de Barcelona

2.1.1. NIVELL MIG DEL MAR

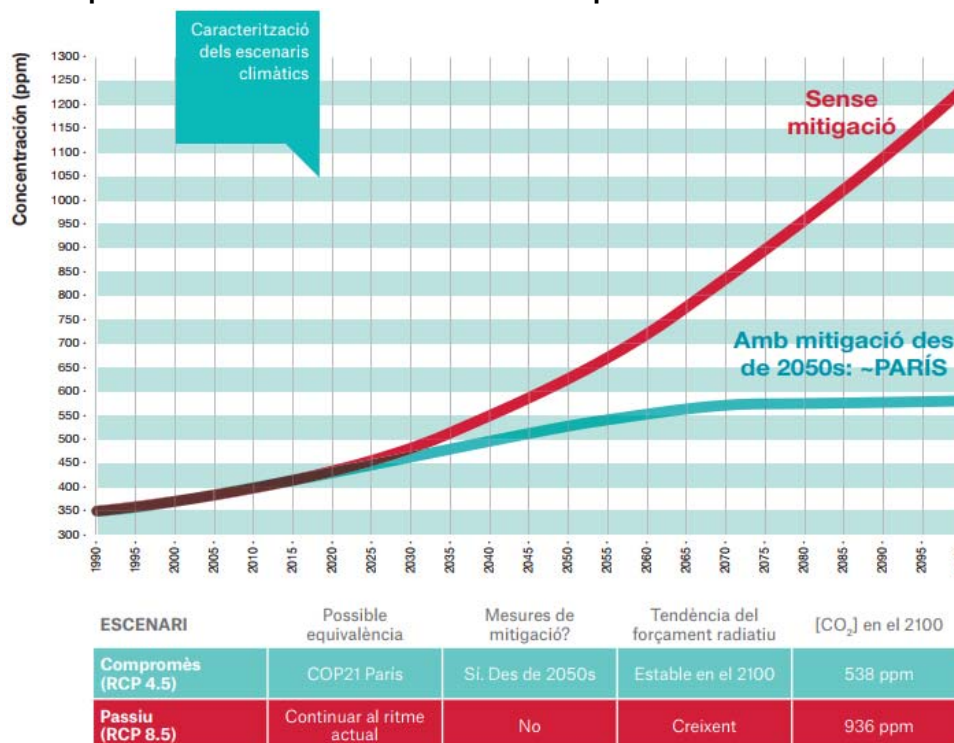
El nivell del mar relatiu té en compte la suma de les **components global, regional i local**. La global està relacionada amb l'expansió tèrmica de l'aigua i el desgel. Per la seva banda, les components regional i local tenen a veure amb els modes naturals de variabilitat del clima i els moviments verticals de l'escorça terrestre respectivament.

En els següents apartats s'analitzen cada una d'aquestes components, tenint en compte els diferents escenaris climàtics.

Tal i com es detalla en el *Capítol – Introducció al canvi climàtic* majoritàriament en tots els capítols les projeccions de futur s'han realitzat pels escenaris climàtics definits en aquell capítol:

- L'**escenari compromès** (o també RCP4.5) representa assolir els objectius de reducció d'emissions de l'Acord de París de 2015. En aquest escenari, la concentració de GEH (Gasos amb Efecte d'Hivernacle) 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.
- L'**escenari passiu** (o també RCP8.5), en canvi, representa la situació en què 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 4: Principals escenaris climàtics analitzats en aquest treball



Font: Ajuntament de Barcelona

Però en aquest capítol s'han incorporat altres escenaris climàtics, com a resultat de la recopilació dels diferents estudis realitzats. Els altres escenaris que surten en aquest capítol tant poden ser altres escenaris actuals (provinents dels RCP's) com és el RCP2.6 (si s'hagués complert el Protocol de Kyoto) o el RCP6.0 (entremig de l'escenari de París i el ritme actual

d'emissions), com alguns escenaris antics (provinents del SRES) com és l'A2, el A1B, el B1 o l'escenari extrem, i fins i tot també hi ha un escenari tendencial. En els corresponents apartats s'expliquen els diferents escenaris climàtics analitzats.

2.1.1.1. Nivell mig del mar global

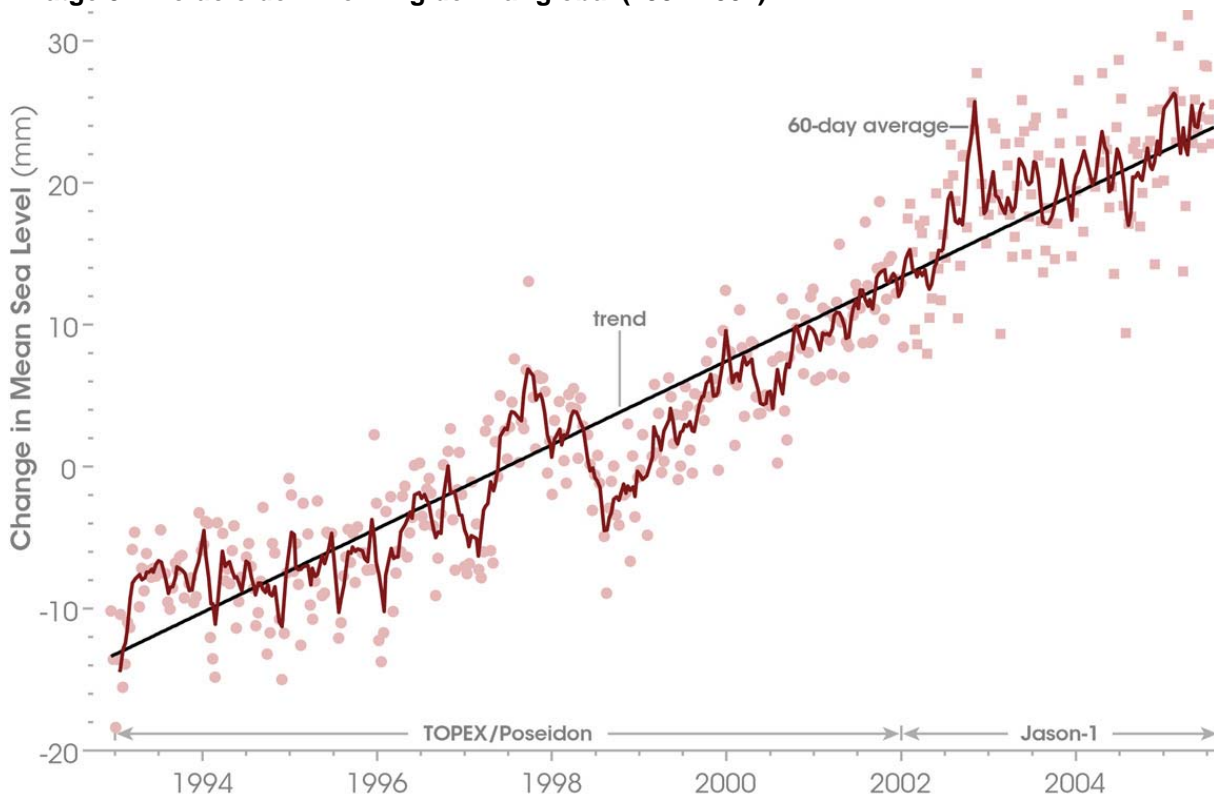
La pujada del nivell del mar global, com a mitja de l'ascens del nivell del mar de tot el planeta, és deguda fonamentalment a dos factors:

- L'expansió tèrmica de l'aigua del mar, degut a que l'escalfament de l'aigua produeix un augment en el seu volum.
- El desgel, motivat per l'increment global de la temperatura.

L'expansió tèrmica és la responsable d'aproximadament un terç de la pujada del nivell del mar global produïda en el segle XX fins a 1990. Des d'aleshores, el desgel procedent de glaceres, capes de gels continentals i polars ha estat molt més important.

L'ascens observat entre 1880 i l'any 2009 ha estat aproximadament de 0,21 m⁴, existint una considerable variabilitat de la taxa d'ascens al llarg del segle XX.

Imatge 5: Evolució del nivell mig del mar global (1994-2004)



Font: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=6638>

⁴ Church y White, 2011

L'IPCC proporciona les projeccions de pujada de nivell del mar més fiables per als diferents escenaris d'emissions. Com es pot observar a la següent taula fins l'any 2050 el nivell del mar augmenta amb una taxa similar en els quatre escenaris, amb un augment al voltant de 0,17-0,37 m sobre el nivell de referència en el període 1980-2000. No obstant, per a finals del segle XXI, l'elecció d'un escenari o un altre suposa clares diferències en el nivell del mar, variant de 0,28 a 0,97 m d'ascens.

Taula 1: Projeccions del nivell mig del mar global relatiu al període 1986-2005

Escenaris RCP	Pujada del nivell mig del mar (m)	
	2046-2065	2100
RCP 2.6	0,24 [0,17 – 0,31]	0,43 [0,28 – 0,60]
RCP 4.5	0,26 [0,19 – 0,33]	0,52 [0,28 – 0,60]
RCP 6.0	0,25 [0,18 – 0,32]	0,54 [0,37 – 0,72]
RCP 8.5	0,29 [0,22 – 0,37]	0,73 [0,53 – 0,97]

Font: WGI, AR5 (IPCC, 2013)

2.1.1.2. Nivell mig del mar regional: costa Mediterrània Espanyola

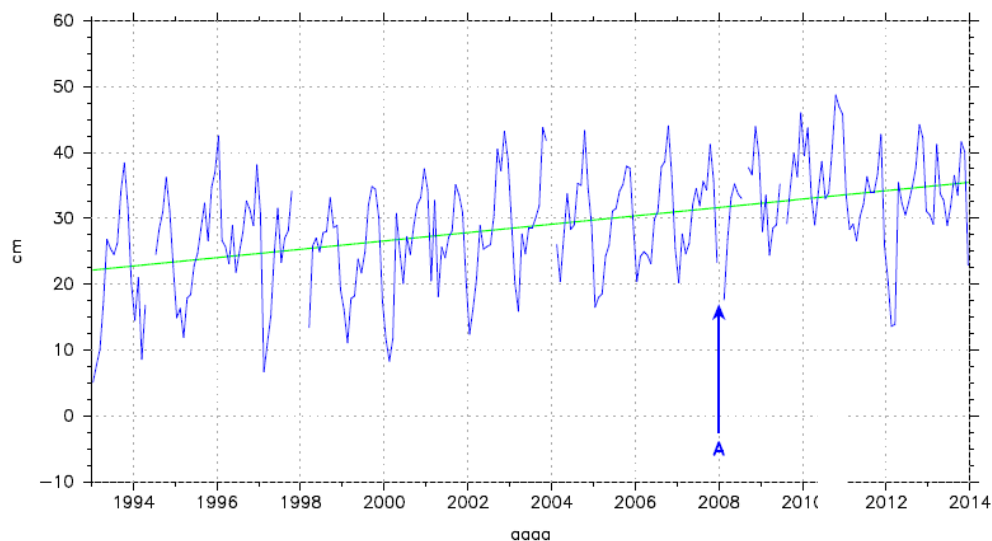
A Espanya s'han desenvolupat diversos estudis sobre l'augment del nivell del mar a la seva costa, obtenint-se taxes de creixement d'entre 2 i 3 mm/any durant el darrer segle, amb importants variacions a la conca mediterrània degut a efectes regionals.

Concretament, mentre que a nivell global durant el segle XX es va produir un augment global del nivell del mar, el Mediterrani va patir un descens de nivell a partir de 1960, degut a l'augment de la pressió atmosfèrica associat a la fase creixent de la OAN⁵. Aquest descens es va quantificar entre -1,6 i 2,0 cm/unitat OAN, que alguns autors han traduït a valors d'entre -0,4 i -0,6 mm/any. A partir de 1993 es va produir un canvi de tendència, detectant-se un increment notable de la velocitat a què s'eleva el nivell del mar, coincidint amb l'observat a nivell global. A l'Estartit aquest increment s'ha xifrat en valors compresos entre 2,4 i 8,7 mm/any.

En el cas de Barcelona, segons les dades recollides entre 1993 i 2013, s'observa una increment sobre els valors mitjos mensuals de $6,31 \pm 0,80$ mm/any.

⁵ L'Oscil·lació de l'Atlàntic Nord (OAN) es refereix als vaivens de les diferències de pressió atmosfèrica a nivell del mar entre l'Àrtic i l'Atlàntic subtropical. Exerceix un fort control sobre el clima hivernal en Europa, Nord Amèrica i el Nord d'Àsia.

Imatge 6: Evolució del nivell mig mensual per al Port de Barcelona



Font: Red de Mareógrafos de Puertos del Estado. Informe 2014. Port de Barcelona

Quant a projeccions, la informació regional disponible és molt limitada. Tot apunta que al llarg del segle XXI el nivell de les costes espanyoles seguirà pujant. Pel que fa al mar Mediterrani, Tsimplis i altres (2008) van estimar que el nivell mig del mar per a l'escenari A2 podria arribar als 25 cm front les costes espanyoles, als què s'haurien d'afegir 6 cm més degut a variacions en la circulació oceànica.

Pel que fa als nous escenaris de canvi climàtic, tampoc són gaires els estudis realitzats a nivell regional. Slangen et al. (2014) van fer projeccions regionalitzades per a les conques de tot el món, i per als escenaris RCP 4.5 i RCP 8.5⁶. Per a la costa mediterrània espanyola, les projeccions regionalitzades d'augment de nivell del mar en el període 2081-2100 en relació al de 1986-2005, **varien entre 0,46 i 0,64 m**.

Per al període 2046-2065 no s'han pogut trobar dades regionalitzades, pel que s'han pres com a referència les projeccions de l'IPCC de la taula 1, que són valors mitjos globals, aplicant-los una reducció del 10%. Aquesta reducció resulta del mateix Informe de l'IPCC (2013), que indica que les projeccions per a la Mediterrània mostren pujades lleugerament inferiors a les mitjanes globals de fins a un 10% de diferència.

Els resultats de tot plegat són els que s'adjunten a la següent taula:

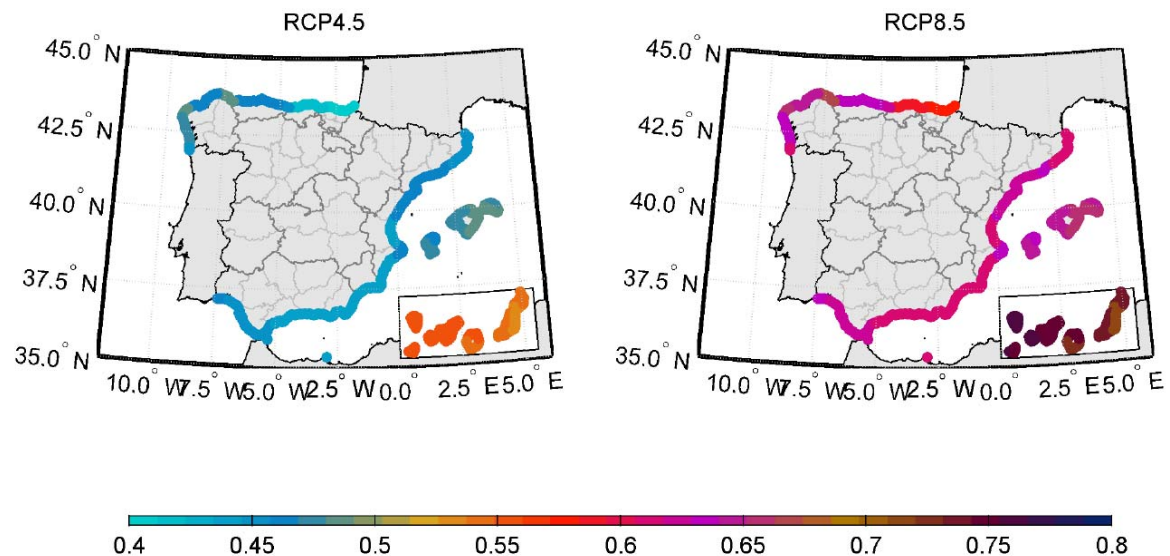
Taula 2: Projeccions del nivell mig del mar en el Mediterrani relatiu al període 1986-2005

Escenaris RCP	Pujada del nivell del mar (m)	
	2046-2065	2081-2100
RCP 4.5	0,24	0,46
RCP 8.5	0,26	0,64

Font: Losada, I., Izaguirre, C. & Díaz, P. 2014. Cambio Climático en la costa espanyola per al període 2081-2100. WGI, AR5 (IPCC, 2013) per al període 2046-2065

⁶ Slangen i altres, 2014. *Projecting twenty first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios*

Imatge 7: Projeccions d'augment del nivell del mar (m) pel període 2081-2100 en relació al 1986-2005 per als escenaris RCP 4.5 i RCP8.5



Font: Losada, I., Izaguirre, C. & Díaz, P. 2014. Cambio Climático en la costa española

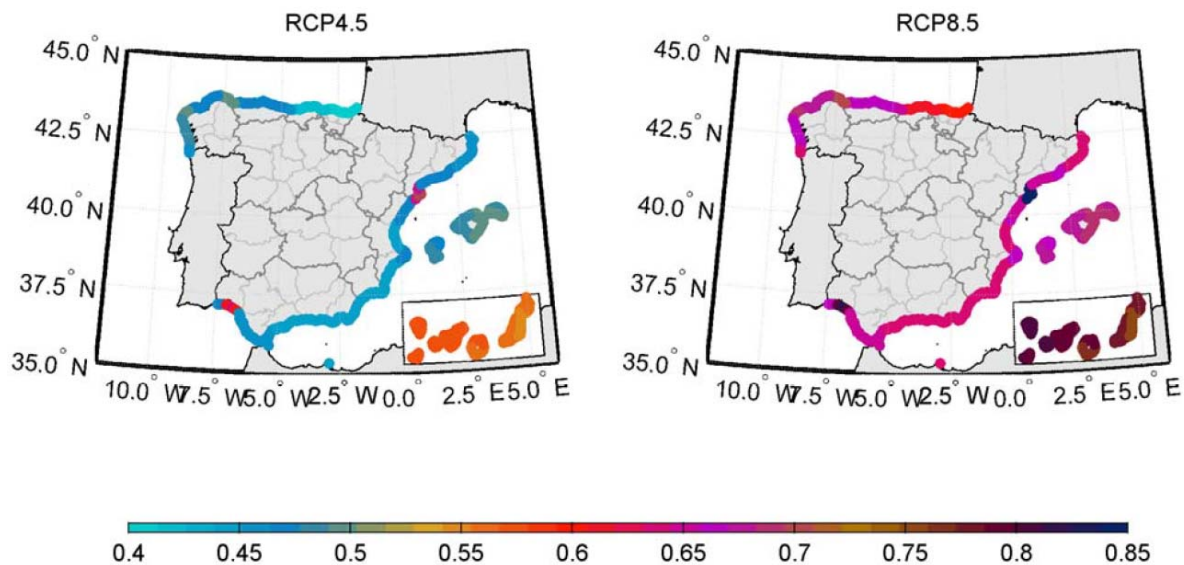
2.1.1.3. Nivell mig del mar local

Per a obtenir la pujada del nivell del mar local a les costes espanyoles cal sumar, al valor regionalitzat, els moviments verticals de l'escorça terrestre associats a la subsidència.

Aquest fenomen és especialment important en desembocadures de rius on es produeixen aportacions de sediments. A Espanya resulten especialment destacables el Delta de l'Ebre i la zona de la desembocadura del Guadalquivir.

En el cas de Barcelona aquest factor no té cap incidència significativa, amb el que per a futures projeccions es mantenen els valors mitjos del mar regionalitzats per a la costa Mediterrània anteriors.

Imatge 8: Projeccions d'augment del nivell del mar (m) pel període 2081-2100 en relació al 1986-2005 per als escenaris RCP 4.5 i RCP8.5 incloent la subsidència



Font: Losada, I., Izaguirre, C. & Díaz, P. 2014. Cambio Climático en la costa española

2.1.2. MAREA ASTRONÒMICA

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.

En el cas del Mediterrani la marea astronòmica té poc pes. Alacant és el punt de la costa espanyola on la marea té menys recorregut, amb ascensos i descensos mitjos de 0,20 m. Per aquest motiu, el 1874, l'Institut Geogràfic i Estadístic va situar en aquesta ciutat el zero altimètric de referència per a tota la península.

A Barcelona, segons les dades del Port presentades, el nivell màxim del mar observat en el període 1993-2013 degut a la marea astronòmica ha estat de **0,21 m** (0,50 (PMMA) – 0,29 (NMM)=0,21) sobre el nivell mig del mar. Les previsions futures indiquen valors màxims del mateix ordre, amb el que, de cara a calcular la projecció de la futura àrea inundable s'ha pres aquest valor com a referència.

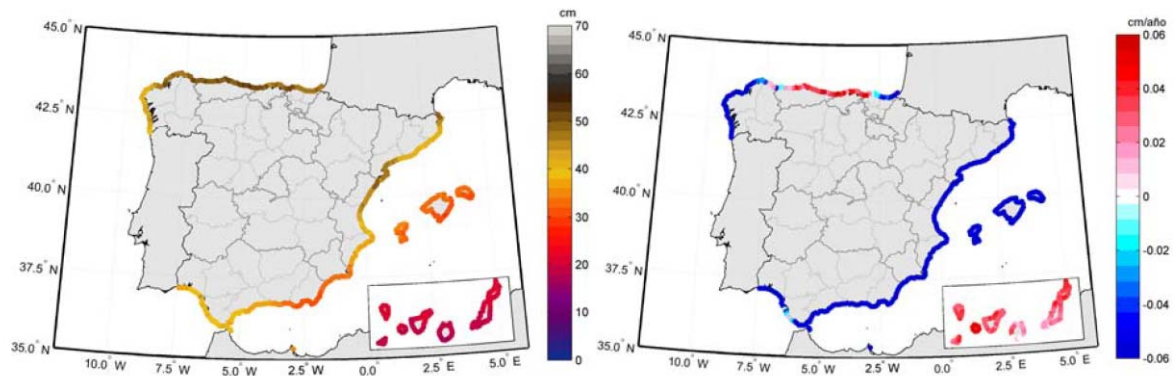
2.1.3. MAREA METEOROLÒGICA

La marea meteorològica és la variació del nivell del mar com a conseqüència dels canvis atmosfèrics, en concret de la pressió i del vent en la superfície del mar. Igual que en el cas de la marea astronòmica, la meteorològica no implica una sobrelevació permanent del nivell del mar, però sí que cal tenir-la en compte des de el punt de vista de la identificació de les zones potencialment inundables.

Des de mitjans del segle XX i fins a principis dels anys 90 el nivell del mar a la Mediterrània sembla haver estat condicionat per la influència atmosfèrica de la pressió i el vent. Aquests agents van produir durant aquest període un descens del seu nivell, contràriament a la

tendència observada a nivell global per a la resta del planeta. A començaments dels 90 s'observa un fort ascens del nivell del mar a la zona de l'Estartit⁷, motivat sobre tot per una regularització dels factors atmosfèrics.

Imatge 9: Marea meteorològica associada a 50 anys de període de retorn (dreta) i taxa de canvi observada en els darrers 60 anys (esquerre)



Font: Losada, I., Izaguirre, C. & Díaz, P. 2014. Cambio Climático en la costa española

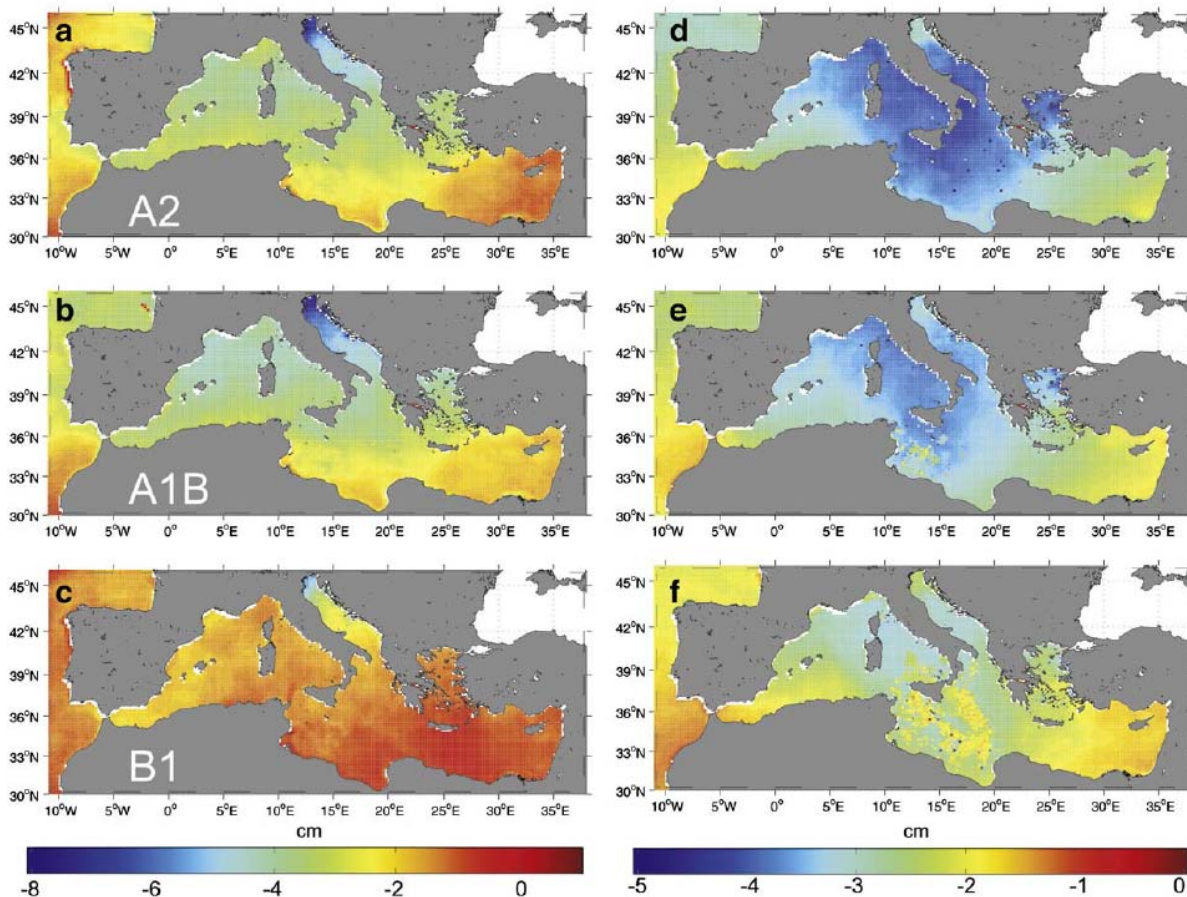
La quantificació de la marea meteorològica depèn de l'evolució del comportament d'aquestes dues variables atmosfèriques, que com a tals no són constants en el temps, raó per la qual s'associa a un cert període de retorn. La marea meteorològica que passa per terme mig un cop cada 50 anys (quantil associat a un període de retorn de 50 anys) varia en la vessant mediterrània de la costa espanyola entre 0,30 i 0,50 m. Al llarg dels darrers anys s'ha observat una lleugera modificació, amb una taxa de canvi que diferents autors quantifiquen entre els -0,05⁸ cm/any i +0,1 cm/any⁹.

⁷ Estació juntament amb la de Màlaga on es disposa de sèries històriques de dades més àmplies.

⁸ Losada I., Izaguirre, C. Díaz, P. 2014. *Cambio climático en la costa española*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid

⁹ Alba i alt. "A high resolution hindcast of the meteorological sea level component for Southern Europe: the GOS dataset" *Climate Dynamics* 43 (7-8): 2167-2184 octubre de 2014

Imatge 10: Canvis en la marea meteorològica associada a 50 anys de període de retorn en el període 2090-2099 per a diferents escenaris en relació al període 1990-1999 per a sobreelevacions positives (a,b i c) i negatives (d,e i f)



Font: Marcos et al. 2011

Les projeccions de marea meteorològica fetes per al segle XXI s'ha realitzat per als escenaris SRES de canvi climàtic. Els resultats mostren en la costa catalana disminucions de la marea meteorològica associada als 50 anys del període de retorn per a sobreelevacions positives d'entre 2 i 5 cm (escenaris B1 i A1B) i d'entre 2 i 4 cm (escenaris B1 i A2) per a les negatives.

Per al càlcul de la cota d'inundació degut a aquest factor es pren el màxim ascens associat a un període de retorn de 50 anys (0,50 m) aplicant-li la reducció mínima de les projeccions climàtiques (-0,02 m), **obtenint un valor màxim de sobreelevació de 0,48 m**. Per a estimar la sobreelevació mínima es pren el mínim ascens associat al mateix període de retorn (0,30 m) aplicant-li la reducció màxima (-0,05 m). La sobreelevació mínima obtinguda és doncs de 0,25 m.

2.2. EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC SOBRE LES PLATGES

2.2.1. INUNDABILITAT

La cota d'inundació vindrà determinada per les projeccions d'increment del nivell del mar més l'efecte que provoqui l'onatge. Segons s'ha presentat en els anteriors apartats, el nivell del mar vindrà determinat per les projeccions relatives a:

- Variacions degudes al desgel i expansió tèrmica
- Variacions provocades per canvis en les marees meteorològiques
- Les marees astronòmiques

De totes elles les dues primeres són conseqüència del canvi climàtic, mentre que la tercera és una variable determinista que ve donada per la posició relativa de la terra en relació a la Lluna i el Sol.

Es poden distingir entre tres tipus d'inundació costanera: la inundació permanent, deguda a l'ascens del nivell mig del mar, la inundació potencial, que a banda de l'increment del nivell mig considera l'efecte superposat de les variacions astronòmiques i meteorològiques i finalment la inundació extremal, on a banda d'aquests tres factors es té en compte l'onatge en episodis extrems.

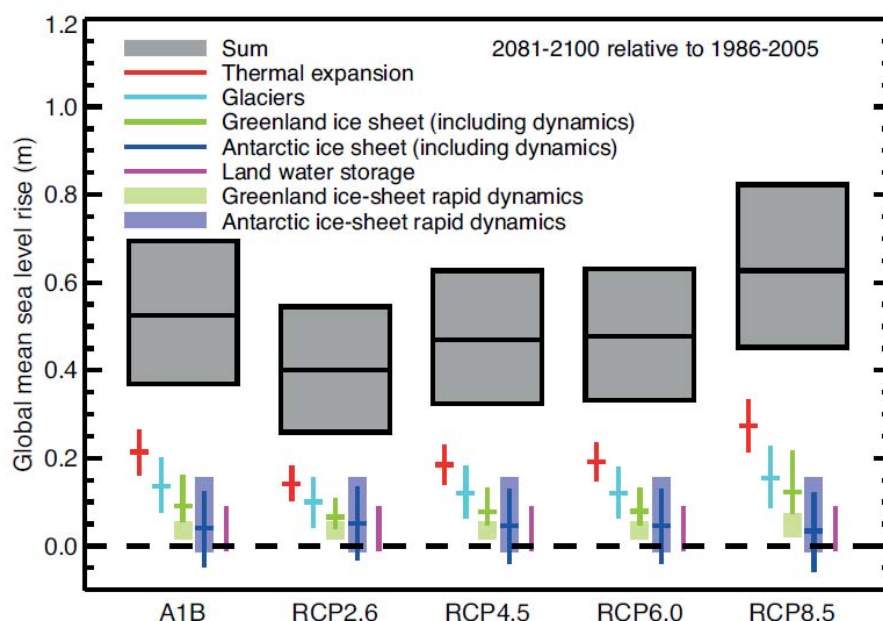
2.2.1.1. Inundació permanent

La inundació permanent és doncs la que ve donada per l'increment del nivell mig del mar. En aquest sentit, existeixen estudis detallats on es donen dades regionals i on s'analitzen els riscos que pot produir sobre el litoral els efectes del canvi climàtic tenint en compte només les projeccions de l'increment del nivell mig del mar, que determinen el nivell a llarg termini sense tenir en compte variacions temporals com poden ser les marees o les variacions meteorològiques. Amb petites diferències, i utilitzant com a base les estimes realitzades per l'IPCC l'any 2013 (veure Imatge 10), aquests estudis determinen els diversos escenaris possibles.

Els estudis objecte d'anàlisi són:

- Cambio Climático en la Costa Española (MAGRAMA, 2014)
- Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (LIMS, 2015)

Imatge 11: Projeccions de mesures globals del nivell mig del mar per als quatre escenaris RCP i l'escenari SERES A1B



Font: WGI, AR5. IPCC 2013

En el document *Cambio Climático en la Costa Española* del Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient redactat per IH Cantàbria es plantegen:

Escenari 1: pujada del Nivell Mig del Mar global de **0,50 m** a 2100

Representatiu d'un canvi climàtic moderat i associat a un escenari d'emissions mig-baix (RCP4.5). El seu valor regionalitzat per a la costa catalana és de **0,46 m**.

Escenari 2: pujada del Nivell Mig del Mar global de **0,85 m** a 2100

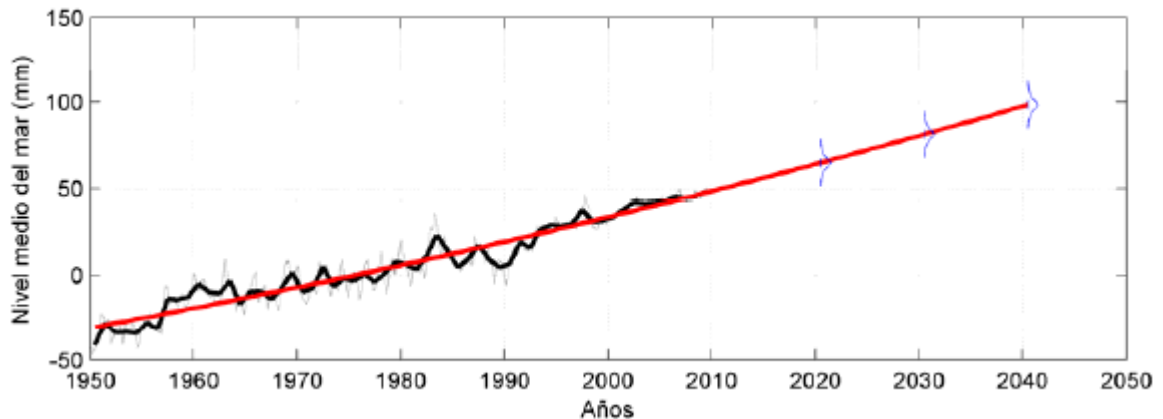
Representatiu d'un canvi climàtic elevat i associat a l'escenari d'emissions RCP8.5, i prenent la cua superior de la distribució de valors proposats. El seu valor regionalitzat per a la costa catalana és de **0,64 m**.

Escenari 3: pujada del Nivell Mig del Mar global de **2,00 m** a 2100

És l'escenari més pessimista i conservador, basat en models semiempírics (Rahmstorf 2007). El fet de considerar aquest escenari és degut a que existeixen noves preocupacions sobre l'estabilitat de les plaques de gel de Groenlàndia i l'antàrtida occidental. Tot i que la probabilitat d'aquest episodi és baixa, les fatals conseqüències que podria produir fan que no sigui descartable.

Escenari 4: extrapolació històrica de la tendència de llarg termini de la variable a 2040

L'estimació dels canvis en la inundació està basada en l'extrapolació històrica de la tendència a llarg termini observada en la variable cota d'inundació. Tal com es mostra a la següent figura, en aquest cas s'obtidria un valor de **1,00 m** per al 2040.

Imatge 12: Exemple d'extrapolació de la tendència de l'augment del nivell del mar per al 2040

Font: Losada, I., Izaguirre, C. & Díaz, P. 2014. Cambio Climático en la costa española

En l'estudi sobre *els Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona* de l'Àrea Metropolitana de Barcelona redactat pel Laboratori d'enginyeria marítima de l'UPC es plantegen:

Escenari 1: pujada del Nivell Mig del Mar al Mediterrani de **0,47 m** a 2100

Corresponent a l'escenari d'emissions RCP4.5.

Escenari 2: pujada del Nivell Mig del Mar al Mediterrani de **0,88 m** a 2100

Corresponent a l'escenari d'emissions RCP8.5.

Escenari 3: pujada del Nivell Mig del Mar al Mediterrani de **1,80 m** a 2100

Es considera també aquest escenari, molt superior a les previsions, degut a que hi ha estudis que suggereixen pujades de fins a 1,86 m i que indiquen que una pujada tan extrema del nivell del mar és físicament possible, encara que amb una probabilitat d'ocurrència molt baixa (de l'ordre del 5%) però no menyspreable.

Aquestes dades s'han obtingut a partir dels valors mitjos globals de l'IPCC aplicant-los la reducció del 10% per adaptar-los a l'escala regional de la Mediterrània.

Tal com es pot observar, les variacions entre les dues fonts resulten mínimes, i més tenint en compte el grau d'exactitud dels mètodes i les hipòtesis utilitzats per a la determinació d'aquests valors. En aquest document s'han considerat les magnituds de pujades del nivell mig del mar presentades per Ministeri, bàsicament perquè l'adaptació a l'escala regional està més particularitzada per zones.

2.2.1.2. Inundació potencial

Per a la determinació de la cota d'inundació potencial es considera, a més de l'increment del nivell mig del mar els factors meteorològics i astronòmics, suposant un hipotètic cas on es poguessin sumar tots els efectes a la vegada.

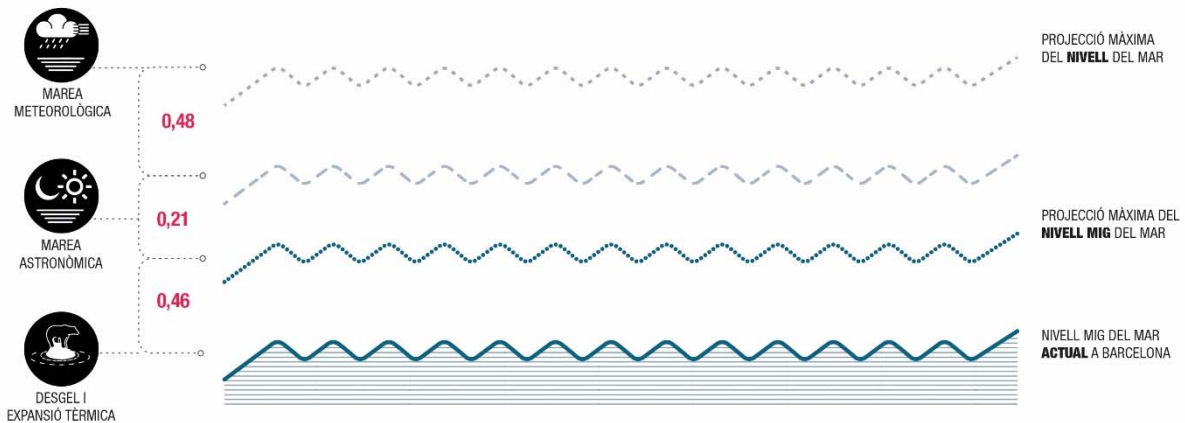
Tenint en compte aquests factors, i segons els valors estimats, es defineix una cota màxima d'inundació del mar per al període 2081-2100 que, en relació a l'actual, suposarà un increment total d'entre **1,15 i 1,33 m**. Aquestes cotes s'han calculat en base al ventall de variacions mínim i màxim del nivell mig del mar regionalitzat per als escenaris RCP4.5 i RCP8.5 inclosos en l'estudi de *Cambio Climático en la costa Española* (0,46 i 0,64 m respectivament), l'efecte

màxim de la marea meteorològica associada a 50 anys de període de retorn (0,48 m) i a la màxima marea astronòmica prevista (0,21 m).

Aplicant les mateixes hipòtesis, per al període 2046-2065 l'increment total serà de **0,94 m** per a qualsevol dels escenaris, ja que les diferències entre un i altre per a aquest període resulten mínimes. D'aquests, 0,48 m corresponen a la marea meteorològica, 0,21 m a l'astronòmica i els 0,25 m restants a l'increment del nivell mig del mar previst, calculat en aquest cas com la mitjana entre el valor resultant de l'escenari 4.5 (0,24 m) i del 8.5 (0,26 m)

Si consideréssim l'escenari més catastròfic l'ascens en relació al nivell actual del mar per al 2100 seria de **2,69 m**, on igual que en els casos anteriors, 0,48 m corresponen a la marea meteorològica, 0,21 m a l'astronòmica i 2,00 m a l'increment del nivell mig del mar.

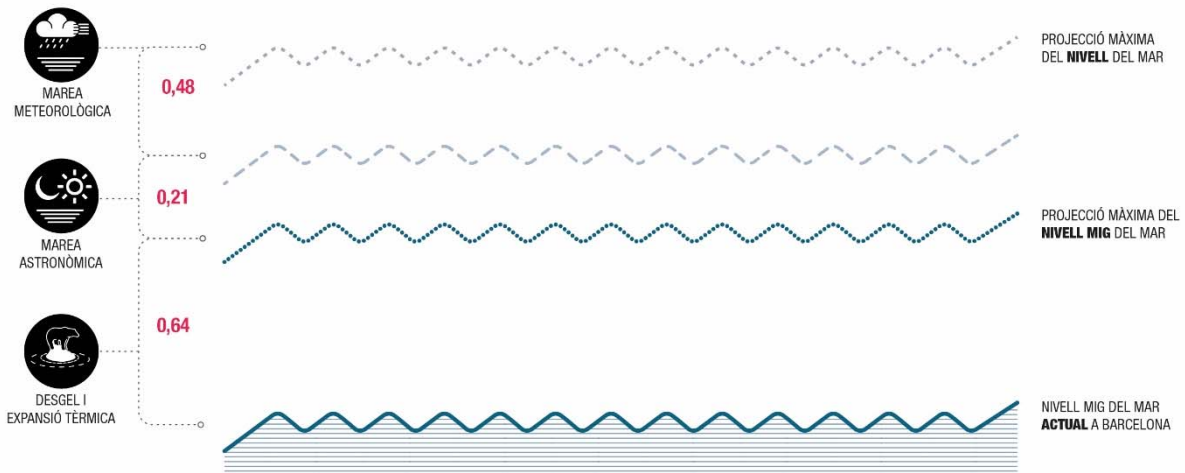
Imatge 13: Projecció del nivell màxim del nivell del mar període 2081-2100. Escenari RCP4.5



VALOR MÀXIM: 1,15 (RCP 4.5)

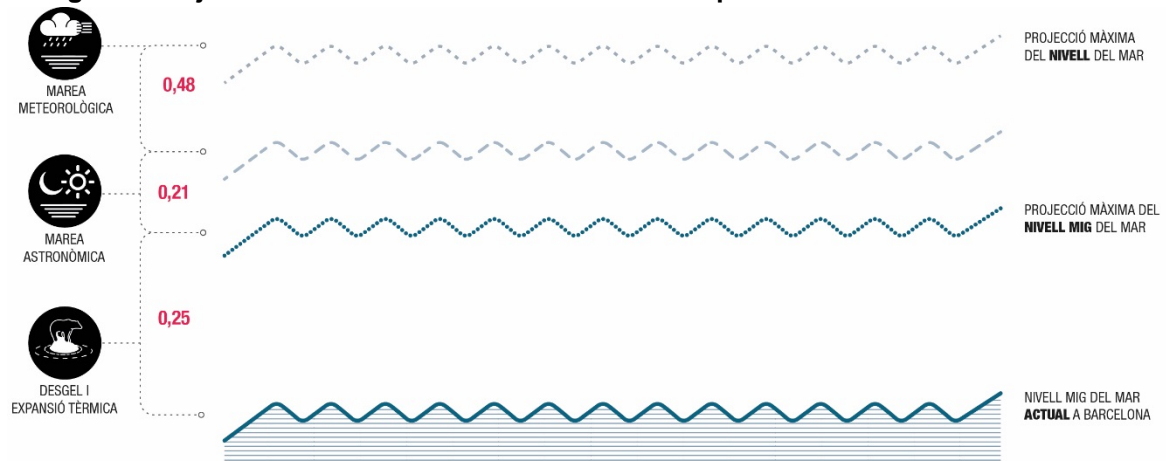
Font: Barcelona Regional

Imatge 14: Projecció del nivell màxim del nivell del mar període 2081-2100. Escenari RCP8.5



VALOR MÀXIM: 1,33 (RCP 8.5)

Font: Barcelona Regional

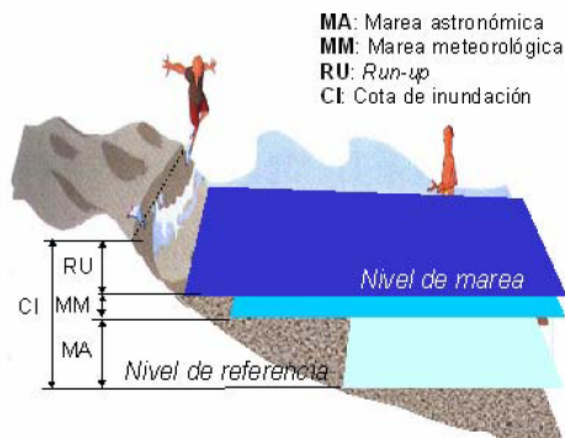
Imatge 15: Projecció del nivell màxim del nivell del mar període 2046-2065**VALOR MÀXIM: 0,94 (RCP 8.5)**

Font: Barcelona Regional

2.2.1.3. Inundació extremal

Es considera en aquest cas, a més dels factors anteriors, l'efecte de l'onatge. Igual que en el cas de les mareas, els esdeveniments extrems són un fenomen aleatori i complex, i van associats a una certa probabilitat d'ocurrència. Una menor freqüència de l'esdeveniment suposa una major magnitud.

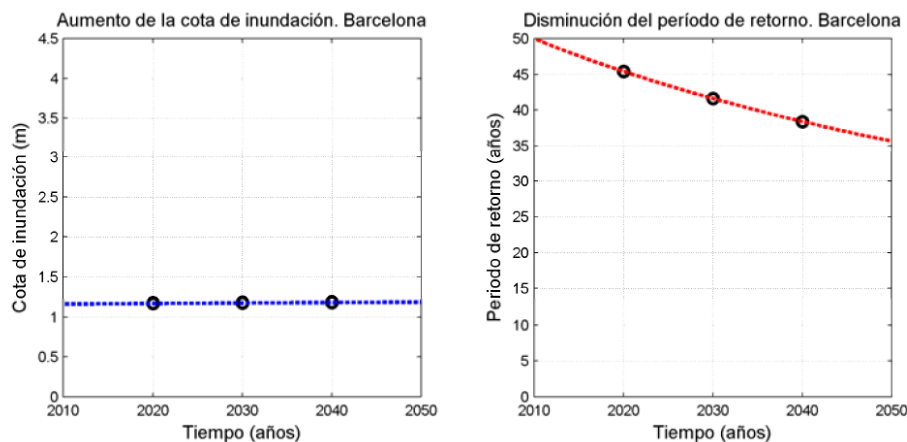
L'ascens del mar en la costa per l'efecte de l'onatge s'anomena run-up, que es produeix després de que l'onada trenqui degut a la seva interacció amb el fons, produint-se un moviment cap a davant de la massa d'aigua fins que es dissipa l'energia en el procés de ruptura i es produeix un ascens pel talús del terreny.

Imatge 16: Esquema de la cota d'inundació extremal, on RU (*Run-up*) indica l'increment de la cota d'inundació degut a l'onatge

Font: Losada, I., Izaguirre, C. & Díaz, P. 2014. Cambio Climático en la costa española

Les previsions de canvi climàtic indiquen un augment en la freqüència d'esdeveniments extrems, tot i que la seva magnitud no es preveu que variï gaire. En el cas de Barcelona, el que abans s'associava a períodes de retorn de 50 anys, es preveu que s'associï l'any 2050 a períodes de 35 anys, tal com es reflexa a la següent figura.

Imatge 17: Variació de la cota d'inundació corresponent a 50 anys de període de retorn a Barcelona



Font: Losada, I., Izaguirre, C. & Díaz, P. 2014. Cambio Climático en la costa española

A dia d'avui existeixen molt poques estimacions de com canviarà l'onatge al llarg del segle XXI per als diferents escenaris de canvi climàtic. Les dades existents a nivell global es redueixen a tres estudis per als escenaris SRES i un més recent (Hermer et al.2013) fet amb els nous escenaris RCP. Les projeccions són a més a baixa resolució. Aquests factors, afegits a la gran variabilitat de les característiques del propi onatge fan molt difícil establir un escenari clar de futur.

Des del punt de vista de tendències observades, i utilitzant com a indicador la mitjana anual de l'alçada d'onada significant¹⁰ (H_s), s'observa que en el litoral mediterrani una tendència negativa. En concret, per a l'alçada d'onada significant només excedida 12 hores l'any (H_{s12}), s'han observat valors de -0,3 cm/any en la costa barcelonina.

Tot i que durant les darreres dècades s'han enregistrat diversos temporals de gran intensitat, les tendències que alguns autors preveuen per a la zona del Mediterrani són cap a una disminució d'aquests tipus d'episodis. Les noves projeccions regionals que puguin aparèixer facilitaràn la reducció de totes aquestes incerteses.

Des d'un punt de vista pràctic, la inundabilitat associada a l'onatge ve determinada per la cota a la què l'aigua arribi quan l'onada incideixi sobre la costa. La seva determinació requereix estudis detallats i específics. En aquest sentit, ens hem de remetre als mateixos estudis de què hem parlat en l'apartat d'inundació permanent: el de *Cambio Climático en la Costa Española* del Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient elaborat per l'IH Cantàbria de 2014 i el *d'Efectes del Canvi Climàtic al Litoral de Barcelona* realitzat per l'Àrea Metropolitana de Barcelona en el marc del Metrobs i elaborat pel Laboratori d'Enginyeria Marítima de l'UPC.

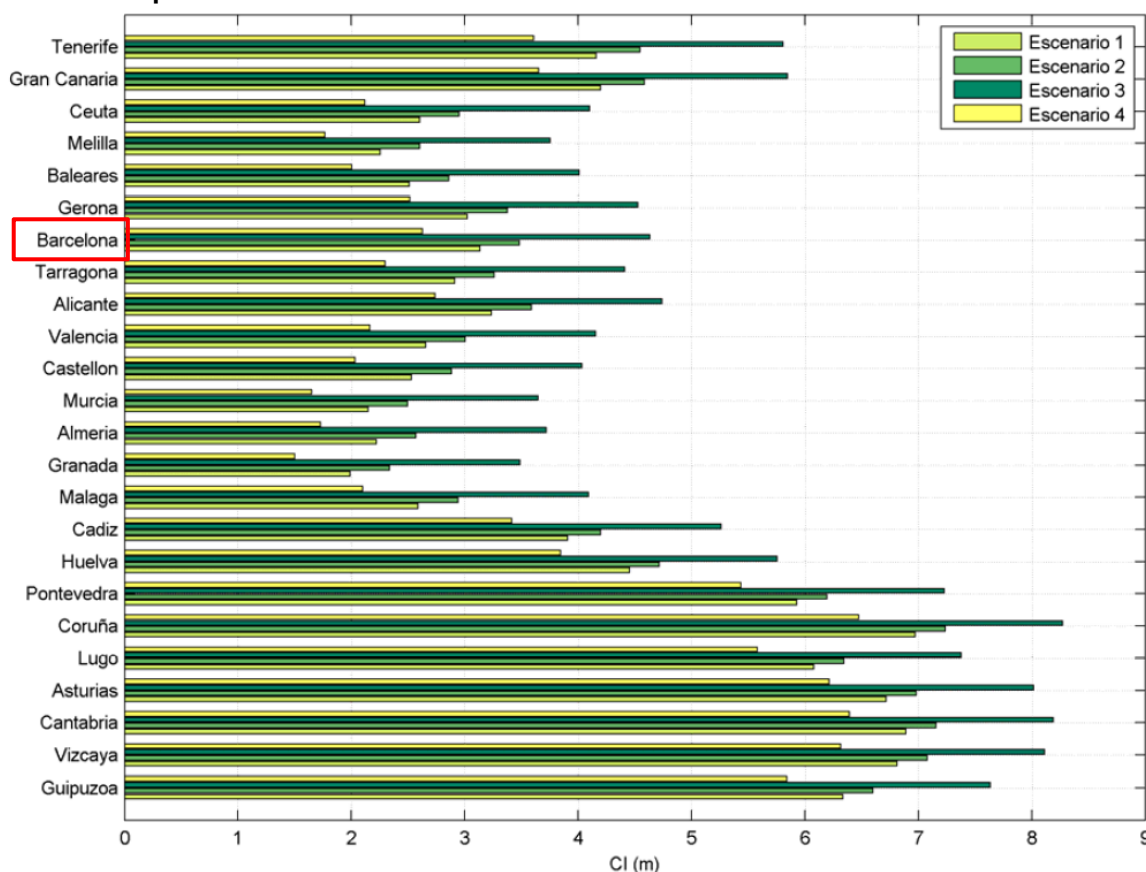
2.2.1.4. Extrapolacions generals

En l'estudi del Ministeri es realitzen unes projeccions de la cota d'inundació associades a un període de retorn de 50 anys a tota la costa espanyola i per als quatre escenaris comentats de pujada de nivell del mar (veure apartat 3.1.1). Es treballa a una escala de treball de

¹⁰ Paràmetre estadístic que s'obté al calcular la mitjana de les alçades d'onada del terç de les onades més altes en un grup d'onades considerat (les d'un temporal, una estació, una hora, etc.)

província, i es donen dades generals per al cas de platges dissipatives, és a dir, aquelles que tenen un pendent molt suau i on el trencat de l'onatge es produeix de manera progressiva al llarg del seu perfil. Model d'aquest tipus de platja seria per exemple el de Castelldefels. No és per tant el cas de les platges de Barcelona ciutat, que corresponen més a platges que es situen a un nivell intermedi, entre les dissipatives i reflectants. Tot i això s'inclouen en resultats obtinguts en l'estudi esmentat per a donar un ordre de magnitud dels valors que es poden arribar a considerar.

Imatge 18: Cota d'inundació associada a 50 anys de període de retorn per a diferents escenaris i províncies.



Font: Losada, I., Izaguirre, C. & Díaz, P. 2014. Cambio Climático en la Costa Española

En el cas de les platges de la província de Barcelona, aquests es situen entre els 3,1 m i els 4,6 m per a l'any 2100 i de 2,6 per a l'escenari tendencial l'any 2040, tal com es detalla en la taula adjunta:

Escenari	Increment nivell mig del mar (m)	Cota inundació per a T ₅₀ (m)
Escenari 1 (RCP4.5)	0,46	3,1
Escenari 2 (RCP8.5)	0,64	3,5
Escenari 3 (pessimista)	2,00	4,6
Escenari 4 (tendencial)	1,00 (per a 2040)	2,6

Per a contextualitzar aquests valors es pren com a referència les dades del *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya*, elaborat per CIIRC¹¹ l'any 2010, on per a les platges de Barcelona, per als perfils actuals i per a diferents períodes de retorn, s'han calculat els següents valors de remunta¹²:

	Remunta (m)		
	Mitjana anual	T ₁₀	T ₁₀₀
Sant Sebastià/Sant Miquel	0,8	2,1	2,5
Barceloneta/Somorrostro	0,5	1,5	1,8
Nova Icària	0,8	2,3	2,7
Bogatell	0,7	2,0	2,3
Mar Bella	0,6	1,6	1,9
Nova Mar Bella	1,6	4,2	5,0
Llevant	0,8	2,3	2,7
Mitjana	0,8	2,3	2,7

2.2.1.5. Cotes d'inundació previstes

A partir de les dades obtingudes per la inundació permanent, potencial i l'extremal i si fem la **hipòtesi de que es manté el perfil de la platja i el règim extremal d'onatge actuals i tenint en compte els increments de nivell de mar totals previstos com a conseqüència del canvi climàtic**, els valors resultants (en metres) de la cota d'inundació quedarien tal com es detalla a la següent taula.

Els valors en aquest cas per a la T₅₀ s'obtenen directament de l'estudi *Cambio Climático en la Costa Española*, que utilitza una altra metodologia i determina directament la cota d'inundació incorporant tots els factors, originant resultats una mica discordants amb la resta, tot i que mantenen l'ordre de magnitud.

		Increment nivell mig	Marea astronòmica	Marea meteorològica	Remunta ¹³	Cota inundació
Situació actual	Mitjana	0,00	0,21	0,48	0,8	1,49
	T ₁₀	0,00	0,21	0,48	2,3	2,99
	T ₅₀					-----
	T ₁₀₀	0,00	0,21	0,48	2,7	3,39
Escenari RCP4.5	Mitjana	0,46	0,21	0,48	0,8	1,95
	T ₁₀	0,46	0,21	0,48	2,3	3,45
	T ₅₀					3,10
	T ₁₀₀	0,46	0,21	0,48	2,7	3,85
Escenari RCP8.5	Mitjana	0,64	0,21	0,48	0,8	2,13
	T ₁₀	0,64	0,21	0,48	2,3	3,63
	T ₅₀					3,50
	T ₁₀₀	0,64	0,21	0,48	2,7	4,03

¹¹ Centre Internacional d'Investigació de Recursos Costaners

¹² Els càlculs d'aquests valors són anteriors a les obres d'estabilització de platges executades pel Ministeri entre els anys 2006 i 2012, i que incloïen nous elements de protecció i aportacions extraordinàries de sorra, amb el que poden haver afectat els perfils d'equilibri de les platges i per tant aquests valors de remunta.

¹³ Segons clima extremal actual

		Increment nivell mig	Marea astronòmica	Marea meteorològica	Remunta ¹³	Cota inundació
Escenari pessimista	Mitjana	2,00	0,21	0,48	0,8	3,49
	T ₁₀	2,00	0,21	0,48	2,3	4,99
	T ₅₀					4,60
	T ₁₀₀	2,00	0,21	0,48	2,7	5,39
Escenari tendencial (2040)	Mitjana	1,00	0,21	0,48	0,8	2,49
	T ₁₀	1,00	0,21	0,48	2,3	3,99
	T ₅₀					2,60
	T ₁₀₀	1,00	0,21	0,48	2,7	4,39

2.2.1.6. Efectes sobre les platges

Per tenir una idea del seu possible efecte es presenten aquestes dades sobre quatre perfils representatius de les platges de Barcelona, prenent com a base les topobatimetries realitzades al mes d'octubre de 2016. S'escullen els següents perfils:

- Platja de Sant Miquel on la cota de passeig queda al mateix nivell que la sorra, representativa també de la platja de Sant Sebastià.
- Platja de la Barceloneta, on el passeig marítim es situa a una cota superior però on hi ha presència de locals sota els porxos, representativa també de la platja de Somorrostro.
- Platja de Bogatell, amb un passeig a cota superior i un altre a nivell de sorra, representativa també de la platja de Nova Icària.
- Platja de Nova Mar Bella, amb passeig marítim a cota superior i locals sota els porxos a cota de sorra com a representativa de Mar Bella i Llevant.

Imatge 19: Situació dels perfils escollits per a la caracterització de les platges



Font: Barcelona Regional

La nomenclatura seguida ha estat la següent:

Nivell mig actual: nivell mig del mar actualment.

Nivell mig: cota d'inundació en cada un dels escenaris tenint en compte l'efecte de desgel. És l'equivalent a la cota d'inundació permanent.

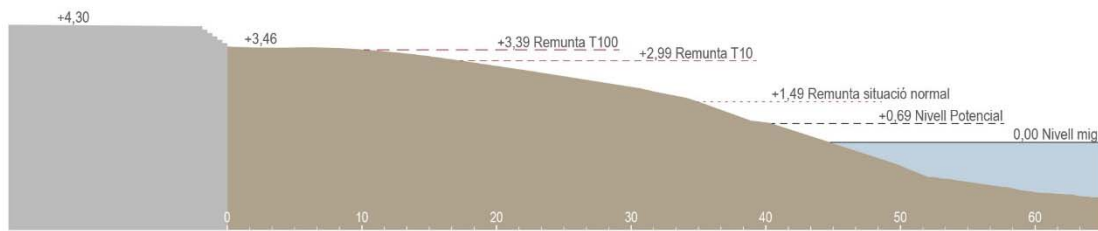
Nivell potencial: cota d'inundació en cada un dels escenaris comptabilitzant els increments degut al desgel, i al potencial increment degut a les marees astronòmica i meteorològica. És l'equivalent a la cota d'inundació potencial.

Remunta situació normal: cota d'inundació en cada un dels escenaris comptabilitzant els increments deguts al desgel, marees astronòmica i meteorològica i considerant un nivell mig de remunta igual al que es produeix amb l'actual clima d'onatge.

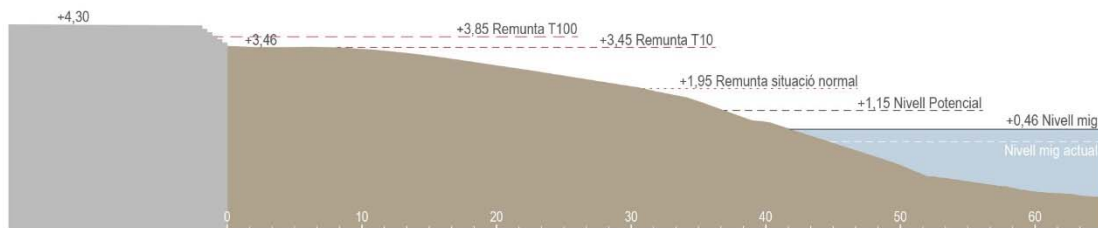
Remunta T10: cota d'inundació en cada un dels escenaris comptabilitzant els increments deguts al desgel, marees astronòmica i meteorològica i considerant un nivell de remunta associat a un temporal de 10 anys de període de retorn, considerant l'actual clima extremal d'onatge.

Remunta T100: cota d'inundació en cada un dels escenaris comptabilitzant els increments deguts al desgel, marees astronòmica i meteorològica i considerant un nivell de remunta associat a un temporal de 100 anys de període de retorn, considerant l'actual clima extremal d'onatge.

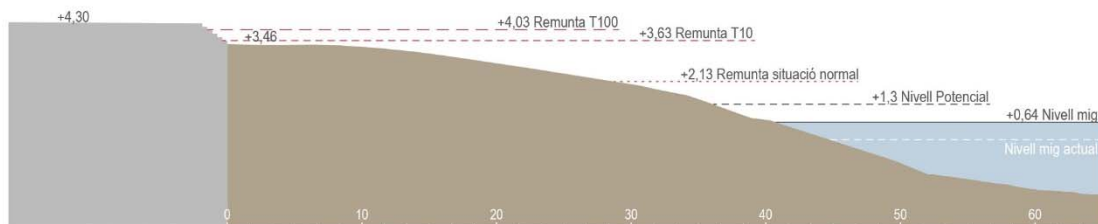
Imatge 20: Perfils de la cota d'inundació a la platja de Sant Miquel per als diferents escenaris considerats



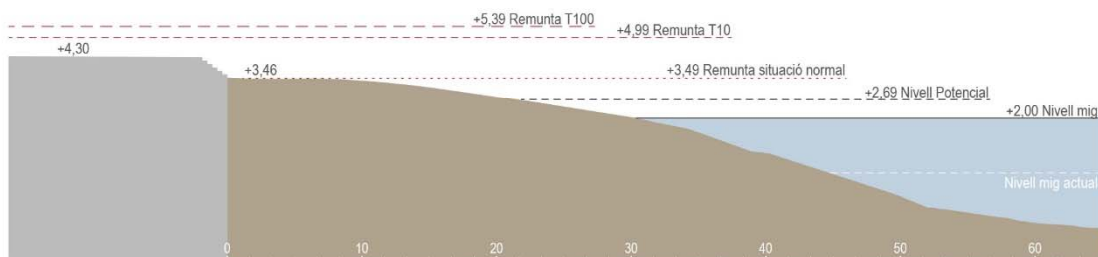
Escenari actual. Platja de Sant Sebastià



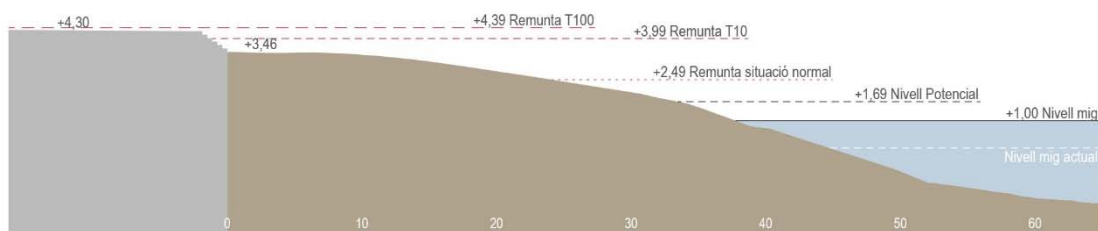
Escenari RCP4.5 (2100). Platja de Sant Sebastià



Escenari RCP8.5 (2100). Platja de Sant Sebastià



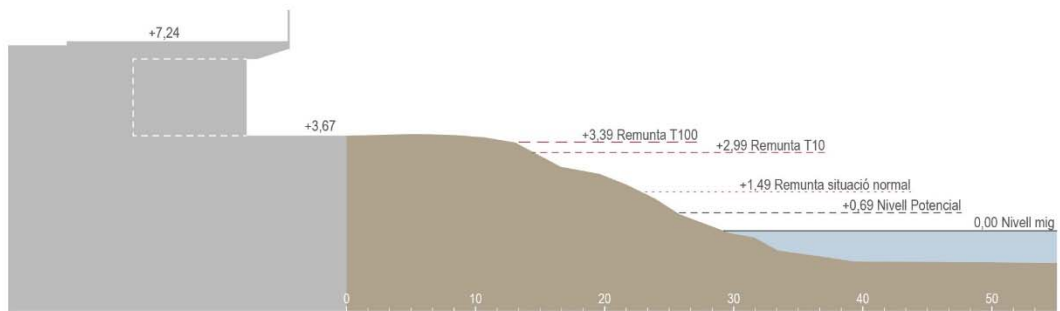
Escenari pessimista (2100). Platja de Sant Sebastià



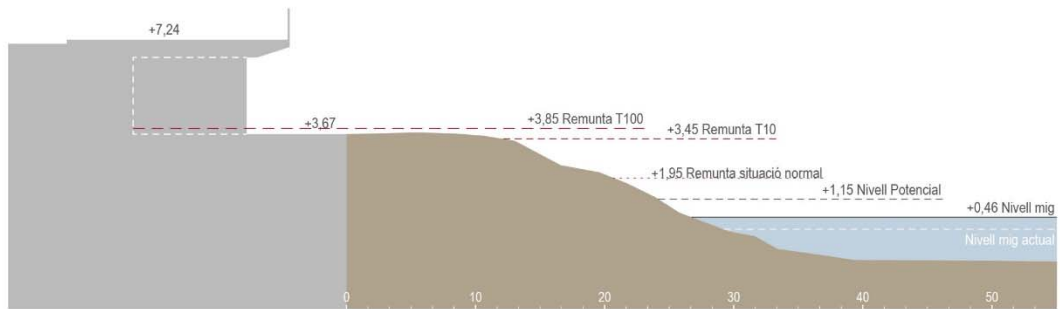
Escenari tendencial (2040). Platja de Sant Sebastià

Font: Barcelona Regional

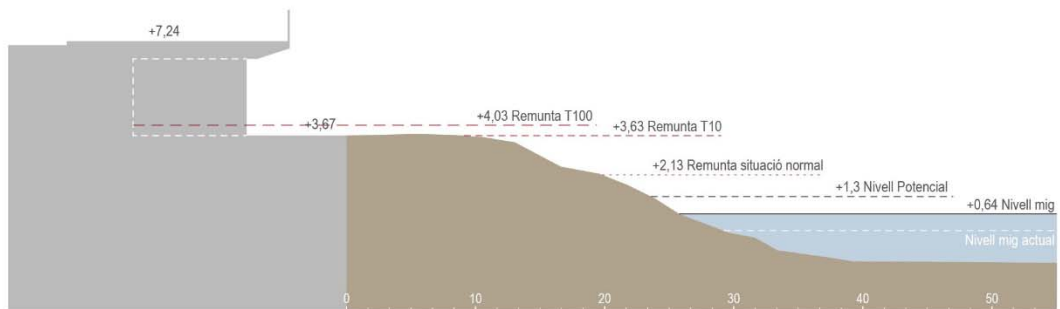
Imatge 21: Perfils de la cota d'inundació a la platja de la Barceloneta per als diferents escenaris considerats



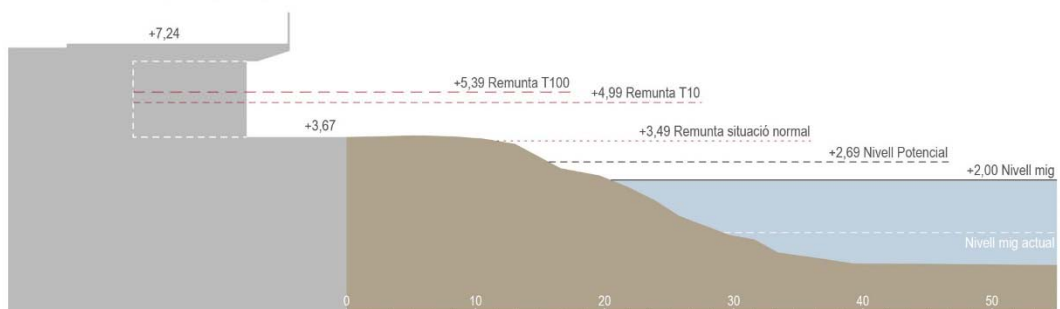
Escenari actual. Platja de la Barceloneta



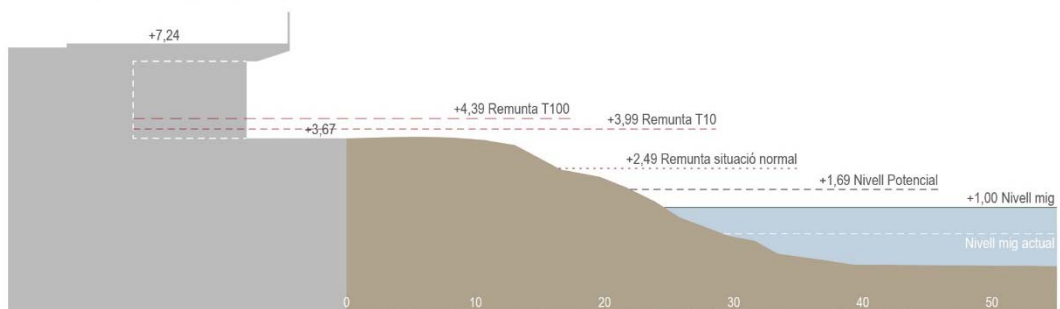
Escenari RCP4.5 (2100). Platja de la Barceloneta



Escenari RCP8.5 (2100). Platja de la Barceloneta



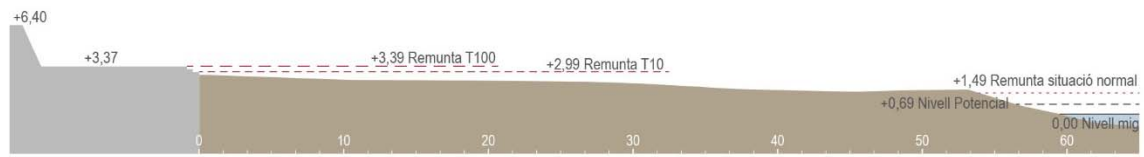
Escenari pessimista (2100). Platja de la Barceloneta



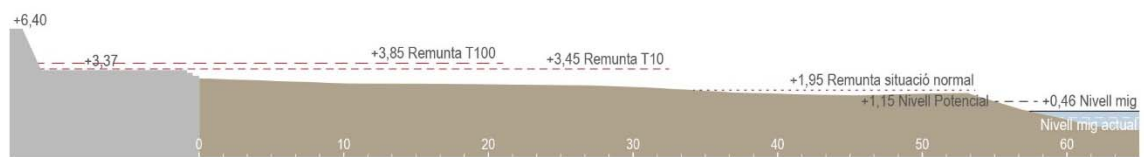
Escenari tendencial (2040). Platja de la Barceloneta

Font: Barcelona Regional

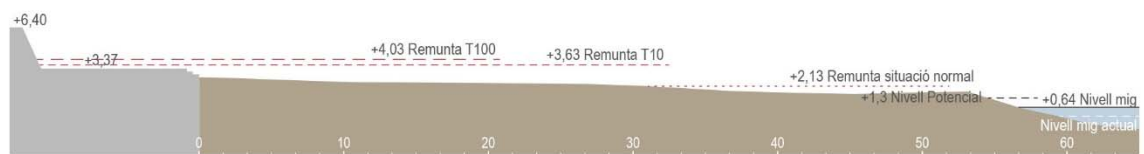
Imatge 22: Perfils de la cota d'inundació a la platja del Bogatell per als diferents escenaris considerats



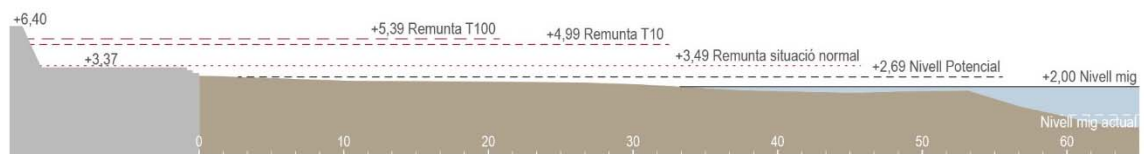
Escenari actual. Platja del Bogatell



Escenari RCP4.5 (2100). Platja del Bogatell



Escenari RCP8.5 (2100). Platja del Bogatell



Escenari pessimista (2100). Platja del Bogatell



Escenari tendencial (2040). Platja del Bogatell

Font: Barcelona Regional

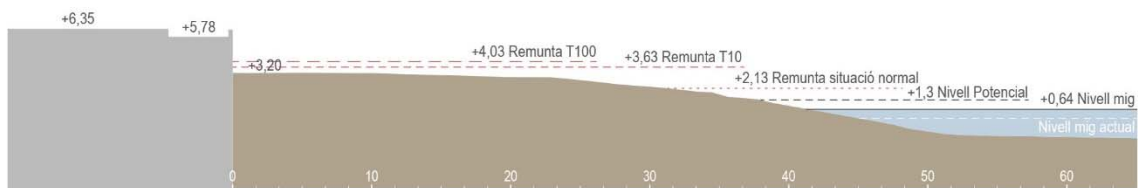
Imatge 23: Perfils de la cota d'inundació a la platja de Nova Mar Bella per als diferents escenaris considerats



Escenari actual. Platja de la Nova Mar Bella



Escenari RCP4.5 (2100). Platja de la Nova Mar Bella



Escenari RCP8.5 (2100). Platja de la Nova Mar Bella



Escenari pessimista (2100). Platja de la Nova Mar Bella



Escenari tendencial (2040). Platja de la Nova Mar Bella

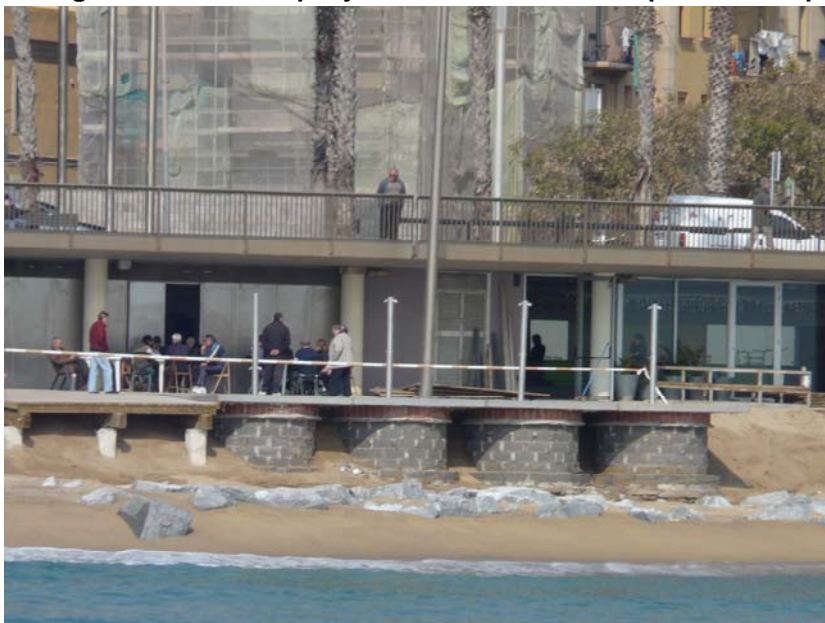
Font: Barcelona Regional

D'aquests perfils s'observa que en cap dels escenaris contemplats la cota d'inundació arriba més enllà de l'àmbit de la sorra pel que fa a una situació normal d'onatge, amb remuntes per sota de 0,80 m.

A la **platja de Sant Miquel** les cotes d'inundació potencial no superen l'àmbit de la sorra, sense arribar per tant a la zona del passeig. Sí que es produeix una inundació del passeig en els escenaris futurs de canvi climàtic, extrapolant els onatges extremals actuals. Per al cas de temporals associats a 100 anys de període de retorn, en tots els casos, mentre que pels de 10, només s'arriba a inundar el passeig en els casos dels escenaris més pessimista i tendencial. Considerant només l'increment de nivell mig, i sense tenir en compte les variacions que es produiran en el perfil de la platja per aquesta pujada, s'observa un retrocés de límit de platja seca comprès entre els 3 m per a l'escenari RCP4.5 i els 15 m per a l'escenari més pessimista.

A la **platja de la Barceloneta** la remunta de l'onatge associat a 100 anys de període de retorn inunda els locals dels porxos en qualsevol dels escenaris de canvi climàtic platejats. En el cas dels escenaris pessimista i tendencial, els porxos també s'inunden per a temporals associats a 10 anys de període de retorn. En ser una platja amb fort pendent en la seva part seca, els increments de nivell del mar no tenen sobre el gràfic unes conseqüències tant importants pel que fa a la reducció de l'amplada de la platja. Tot i això, cal tenir en compte que totes les platges tendeixen al final a un pendent d'equilibri semblant, donat que presenten granulometries molts similars, amb el que amb tota probabilitat, aquesta serà una de les platges que més patirà en un futur, ja que les pujades de nivell tendiran a donar-li un perfil més estès, amb el que al perill de la cota d'inundació caldrà afegir-li el de les sobreexcavacions que es puguin produir en la base del passeig. Igual que en el cas de Sant Miquel, suposant que es mantingués el perfil actual, l'elevació del nivell mig del mar produiria un retrocés del límit de la platja seca comprès entre els 3 m de l'escenari RCP4.5 i els 8 m per a l'escenari més pessimista.

Imatge 24: Estat de la platja de la Barceloneta després del temporal de 2010



Font: Barcelona Regional

Al **Bogatell**, en tractar-se d'una de les platges amb pendent més suau, els increments del nivell del mar tenen una forta repercussió en l'amplada útil de la platja, que és la que percep

l'usuari. En tots els escenaris de canvi climàtic contemplats, l'onatge associat a períodes de retorn de 10 i 100 anys, arriba a la cota del passeig inferior. En cap dels casos però, l'aigua arriba a inundar el passeig superior. Tenint en compte les mateixes consideracions que en les platges anteriors, el retrocés de límit de platja seca que es podria produir a Bogatell estaria comprès entre els 3 m de l'escenari RCP4.5 i els 26 de l'escenari més pessimista.

Finalment, a **Nova Mar Bella** els nivells extrems d'inundació arriben en tots els escenaris de futur fins a la base del mur del passeig, el que implicaria que els locals situats a nivell de sorra quedessin anegats en casos de temporals. En condicions normals, i per a onatges mitjos, només quedarien afectats en el cas de l'escenari més pessimista. Per aquesta platja el retrocés del límit de platja seca oscil·laria entre els 2 i els 12 m per als escenaris RCP4.5 i més pessimista respectivament.

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.

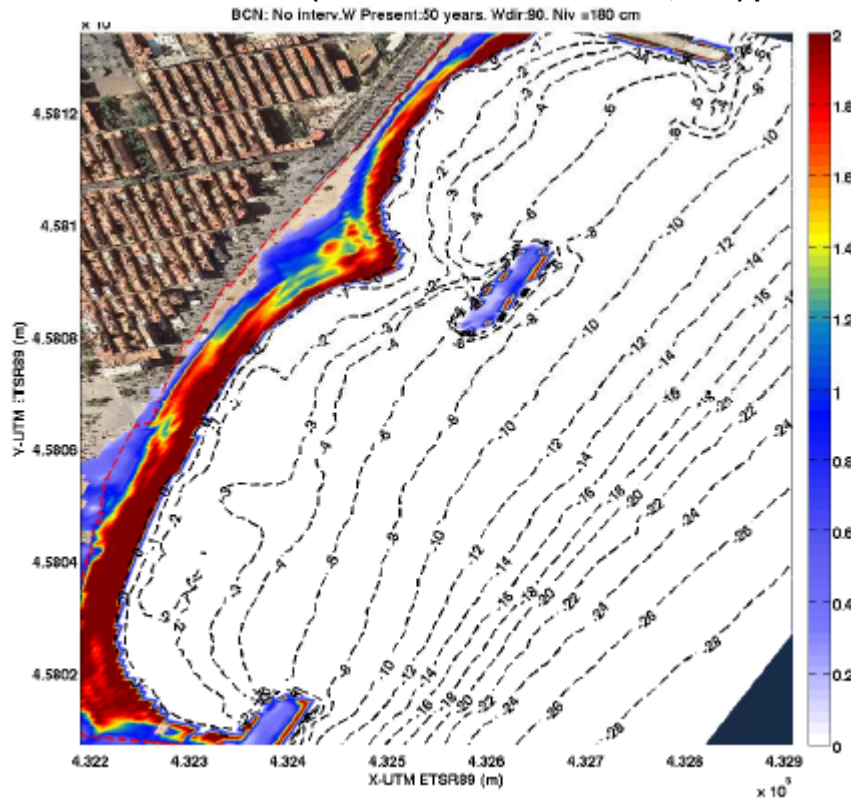
2.2.1.7. Estudis locals

A l'estudi dels *Efectes del Canvi Climàtic al Litoral de Barcelona* es realitza un estudi molt més localitzat, en concret a les platges de Sant Sebastià, Sant Miquel i la Barceloneta, per als casos d'inundació extremal i tenint en compte l'efecte de l'onatge per a diferents períodes de retorn.

Es tenen en compte en aquest cas la morfologia de les platges i la mida del sediment, analitzant la seva resposta davant temporals estimats per a diferents escenaris de canvi climàtic i diferents períodes de retorn. El detall de les simulacions permet descriure el comportament de les platges des del punt de vista de la inundabilitat, diferenciant les cotes on arriba l'aigua en diferents zones de la platja.

En el pitjor escenari, amb un increment del nivell del mar de 1,80 m, i davant temporals de llevant, la platja de la Barceloneta s'inunda completament, provocant que la làmina d'inundació arribi fins al passeig marítim. En la zona de la plaça del Mar l'aigua supera el passeig i entra dins del barri de la Barceloneta. La simulació realitzada no analitza l'efecte sobre els edificis d'aquest àmbit, tot i que tenint en compte la cota del passeig i el calat calculat, es pot determinar la zona inundada que es presenta en la següent imatge.

Imatge 25: Anàlisi de la cota d'inundació a les platges de Sant Sebastià, Sant Miquel i Barceloneta. Escenari 3 (increment nivell del mar = 1,80 m) per a T₅₀.



Font: Laboratori d'enginyeria Marítima UPC. 2016. Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona

2.2.2. CANVIS MORFOLÒGICS

Els canvis en la morfologia de les platges venen donats per diferents factors: la direcció de l'onatge incident, l'increment del nivell del mar, les variacions dels episodis extrems de temporals i els canvis en els transports de sediments.

Pel que fa al primer, s'ha constatat¹⁴ 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 (0,04º/any).

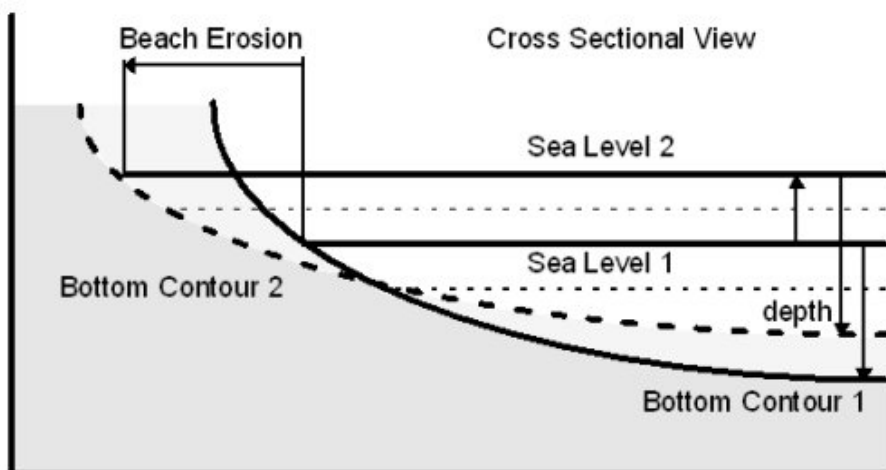
Aquesta variació tindria conseqüències directes sobre la geometria en planta de les platges de la ciutat, que tendeixen a orientar-se en direcció perpendicular a l'onatge incident. De manera simplificada, i sense tenir en compte els efectes de refracció d'espigons i obres de protecció, un gir en la direcció 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. En l'article on s'ha estudiat aquest punt s'exemplifica el cas d'una platja on aquesta petita variació podria originar en 44 anys un retrocés d'aproximadament 20 m en la seva línia de costa.

¹⁴ Liste, M., Méndez J., Losada, I., Medina, R. y Olabarrieta, M. Variaciones hiperanuales de parámetros medios de oleaje en el litoral mediterráneo español en los últimos 50 años: efectos sobre la costa.

Per a valorar els efectes que les variacions en la direcció de l'onatge pot tenir sobre les platges de Barcelona caldria fer estudis locals, en els que es tingués en compte la geometria del fons, elements d'estabilització, granulometries, etc., aspectes que superen l'abast del present document però que en tot cas caldria realitzar en un futur en cas que es vulgui disposar d'informació més precisa.

Pel que fa a les conseqüències de l'increment del nivell del mar, s'espera un retrocés generalitzat de les platges, el que es traduirà en una reducció de la superfície de platja seca, que és la que percep l'usuari com a útil. Per a la seva estimació, tot i que de manera molt simplificada, es pot utilitzar la llei de Bruun, que s'expressa com una relació entre l'ascens del nivell del mar i l'erosió a la platja. Aquesta relació és constant en el moment que el nivell del mar i la línia de costa es troben en equilibri.

Imatge 26: Resposta d'un perfil de platja en equilibri vers un ascens del nivell del mar segons Bruun



Font: Bruun. 1962

Assumint simplificacions, i tenint en compte que la relació varia en funció de la granulometria i geometria de cada platja, l'estudi del Ministeri preveu per a la façana mediterrània un retrocés degut a aquest factor de l'ordre de 1,5 m. Aquest valor no té en compte el transport de sediments ni les variacions en la direcció de l'onatge.

En el cas de l'estudi realitzat en el marc del Metrobs, si només es considera els efectes de l'increment del nivell del mar, i en base a l'estudi localitzat, les platges de Sant Sebastià i Sant Miquel experimenten un retrocés de 11 m, 21 m i 43 m per als escenaris RCP4.5, RCP8.5 i el pessimista.

Per a contextualitzar aquests valors, a la següent taula es detallen les amplades mitges de les platges de Barcelona segons les dades recollides a la darrera campanya de topobatismetries del passat mes d'octubre.

Platja	Amplada mitja (m)
Sant Sebastià/Sant Miquel	39
Barceloneta	72
Somorrostro	68
Nova Icària	69
Bogatell	52

Mar Bella	51
Nova Mar Bella	50
Llevant	56
Amplada mitja	57

D'aquestes dades, se n'extreu que el retrocés que poden patir la majoria de platges en relació a la seva amplada mitja com a conseqüència de l'increment mig del nivell del mar provocat pel canvi climàtic, no és gens menyspreable. Algunes platges com la de Sant Sebastià poden arribar quasi a desaparèixer en alguns punts en el pitjor dels escenaris.

Aquestes reduccions suposaran disposar de menys superfície de platja útil, amb les conseqüents reduccions d'espai per a banyistes, activitats diverses o la ubicació de tendalls, guinguetes o xiringuitos a la platja.

3. CONCLUSIONS



- Les projeccions de l'efecte del canvi climàtic indiquen un augment del nivell mig del mar generalitzat com a conseqüència del desgel de masses polars i a l'expansió tèrmica, tot i que amb variabilitats regionals importants. Pel que fa als esdeveniments extrems, s'observa un augment en la seva freqüència, tot i que no es preveu que la seva magnitud variï gaire.
- Avui en dia existeixen molts pocs estudis regionalitzats que estudiïn en detall l'efecte del canvi climàtic sobre el nostre litoral. D'ells, cal destacar l'elaborat pel Ministeri d'Agricultura (*Cambio Climático en la Costa Española*) i l'encarregat per l'ÀMB en el marc del Metrobs (*Efectes del Canvi Climàtic al litoral de Barcelona*).
- Les variacions produïdes per l'efecte de canvi climàtic tindran un triple efecte al nostre litoral: un augment de la inundació, canvis morfològics en les platges i una major exposició de les infraestructures portuàries.
- Per al càlcul de la cota d'inundació d'origen marí cal tenir en compte 4 factors: la pujada localitzada del nivell mig del mar, la marea, els canvis de pressió i vent, i finalment l'efecte de l'onatge. El primer dóna com a conseqüència una cota d'inundació permanent, el segon i tercers una cota potencial, i el tercer una inundació extremal, que en el cas del nostre litoral és la que origina la majoria de problemàtiques.
- Els increments del nivell mig del mar previstos per a l'any 2100 per efecte del canvi climàtic en el nostre litoral varien des dels 0,46 m per a l'escenari RCP4.5 fins als 2,00 m per a l'escenari més pessimista.
- Tenint en compte els efectes de la marea, canvis de pressió i del vent, la cota d'inundació potencial per a l'any 2100 s'estima entre els 1,15 m de l'escenari RCP4.5 i els 2,45 m del més pessimista. En cap cas aquests increments suposen la inundació de la zona del passeig en condicions normals d'onatge.
- Aplicant les condicions actuals d'onatge extremal a les projeccions d'increment del nivell del mar s'observa que, només en el cas de les platges de Sant Miquel, i per a l'escenari més pessimista, l'aigua arriba més enllà del passeig marítim. A la Barceloneta i Mar Bella arribaria al seu límit, anegant possiblement els locals situats a nivell de sorra.
- Per a poder valorar els canvis morfològics de les platges com a conseqüència del canvi climàtic cal tenir en compte les variacions de l'onatge incident i dels episodis extrems de temporals, l'increment del nivell del mar i les dinàmiques de transport de sediments.
- L'increment del nivell del mar suposarà un retrocés generalitzat de les platges. La seva quantificació requerirà estudis de detall localitzats com el realitzat en el marc del Metrobs, que estima per a les platges de Sant Miquel i Sant Sebastià retrocessos compresos entre els 11 i 43 m. Aquestes reduccions d'espai tindrà conseqüències en els usos i activitats que s'hi realitzen a les platges.

4. RECOMANACIONS



Tal com s'ha vist, els estudis que analitzen l'impacte del canvi climàtic al litoral barceloní, es limiten a l'estudi fet en el marc del Metrobs, que localitza les erosions/acrecions que es poden produir i analitza l'abast de la inundabilitat en les platges de Sant Sebastià, Sant Miquel i Barceloneta. Donat que els efectes a cada platja depenen de les seves característiques físiques (proteccions, pendent, granulometria, etc.), i per tant són difícilment extrapolables d'una platja a una altra.

Es planteja realitzar un estudi detallat d'inundabilitat a totes les platges de Barcelona que, incorporant les hipòtesis del Metrobs, permeti tenir una diagnosi més acurada dels efectes del canvi climàtic a cada platja, incorporant els increments del nivell del mar i l'efecte de l'onatge associat a diferents períodes de retorn.

Tal com s'ha comentat en diferents punts del document, l'increment del nivell mig del mar tindrà incidència sobre la condició de contorn de sortida dels sobreexidors de la xarxa de clavegueram. En el document d'aquesta sèrie sobre l'*Impacte del Canvi Climàtic sobre el Perill d'Inundació a la ciutat de Barcelona* ja es tenia en compte aquest aspecte, introduint una condició de contorn d'increment del nivell del mar de 0,94, corresponent al període 2046-2065, i els escenaris RCP 4.5 i RCP8.5.

Caldria analitzar la resposta de la xarxa de sanejament per a les previsions a llarg termini, per tal de definir actuacions d'adaptació i millora de la xarxa actual per a aquests escenaris de futur.

Les platges de Barcelona es troben encaixades en el seu límit continental per elements estàtics (passeig marítim, porxos o murs verticals) de difícil modificació. En cas que es volgués mantenir la superfície útil actual de les platges s'haurien de recular aquests elements cap a la ciutat, cosa que només es podria arribar a plantejar en les platges de llevant (Nova Mar Bella i Llevant), amb el passeig encara per definir i sense edificacions ni condicionants importants en el seu darrera.

Es proposa en aquest cas que en la definició dels arranjaments que es facin en la franja costanera d'aquestes dues platges es prevegi la seva possible reculada cap a l'interior, sense consolidar elements que després ho puguin impedir.

En les platges de ponent, on darrera d'aquests elements estàtics trobem ja carrers o inclús edificacions, la pèrdua de superfície de platja útil resulta inevitable. Les mesures d'adaptació al canvi climàtic haurien d'anar encaminades en aquest cas a reduir els efectes de l'onatge.

Es planteja per aquestes platges la introducció de nous elements de protecció passiva com poden ser la configuració d'un sistema dunar transitori allà on s'espera major incidència de l'onatge per a episodis concrets de temporals, o l'elevació de la cota de passeig.

En el cas dels ports de la ciutat, tot i no haver estat objecte d'anàlisi d'aquest document, es recullen a mode de resum les propostes incloses en l'estudi sobre els *Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona* del Metrobs, on es planteja:

Pel que fa a mesures per a reducció de l'ultrapassament sobre dels dics de recer, augmentar la cota de coronació d'aquests dics o construir elements dissipadors d'energia com poden ser bermes o dics submergits en el seu costat mar.

Pel que fa a mesures per a reduir l'agitació interna, es proposen mesures més dures, que tenen a veure amb el perllongament d'espigons i les modificacions de zones puntuals en la planta dels ports.

5. BIBLIOGRAFIA



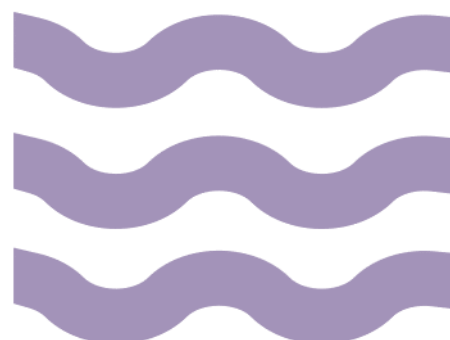
- OBSERVATORI METROPOLITÀ (ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA). *Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona de l'Àrea Metropolitana de Barcelona* (2015).
- MINISTERIO DE FOMENTO. *Red de Mareógrafos de Puertos del Estado. Informe 2014. Port de Barcelona*. (2015)
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Fifth Assessment Report* (2013, 2014)
- LOSADA, I., IZAGUIRRE, C. & DÍAZ, P. *Cambio Climático en la costa española* (2014)
- CENTRE INTERNACIONAL D'INVESTIGACIÓ DE RECURSOS COSTANERS. *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya* (2010).
- LISTE, M., MÉNDEZ J., LOSADA, I., MEDINA, R. Y OLABARRIETA, M. *Variaciones hiperanuales de parámetros medios de oleaje en el litoral mediterráneo español en los últimos 50 años: efectos sobre la costa* (2004).

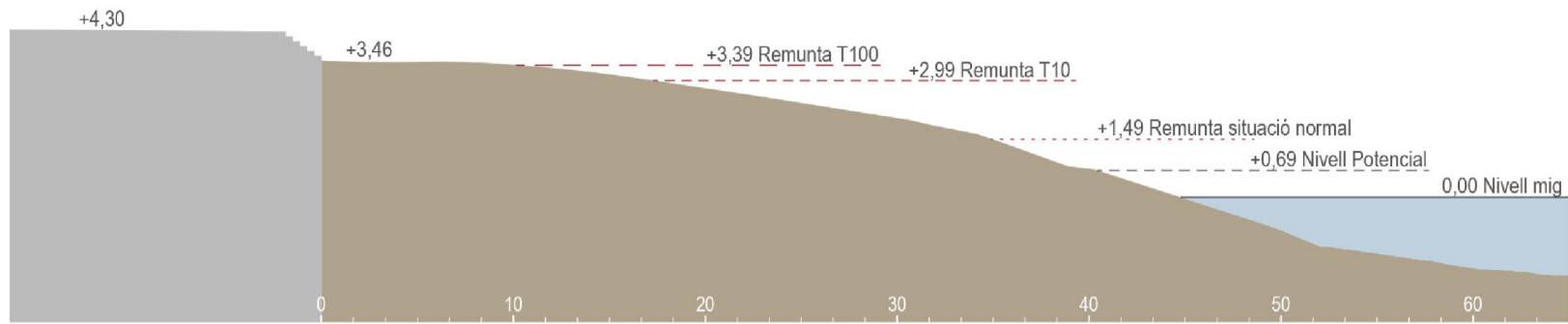
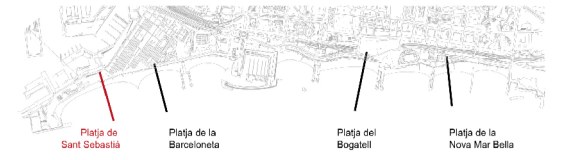
6. ANNEXOS



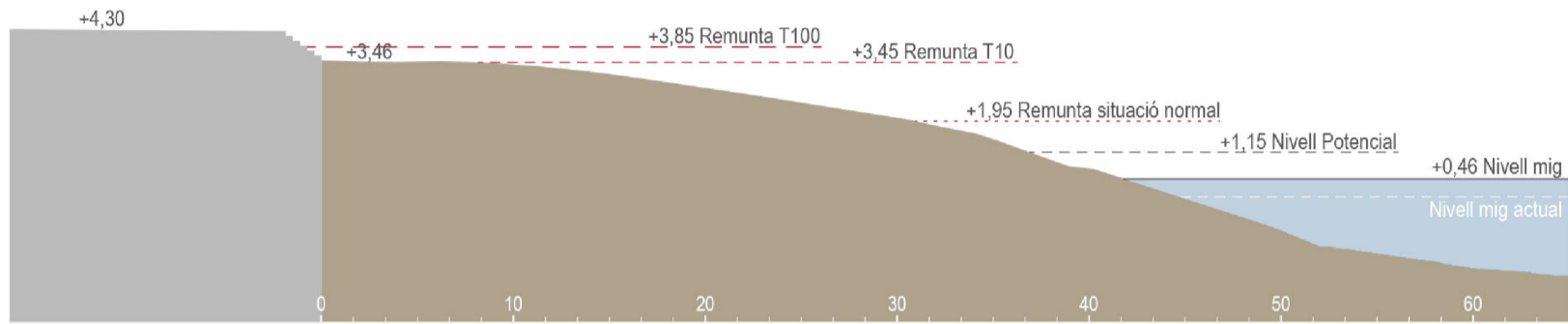
Mapes

1. Secció de la platja de Sant Sebastià
2. Secció de la platja de la Barceloneta
3. Secció de la platja de Bogatell
4. Secció de la platja de la Nova Mar Bella

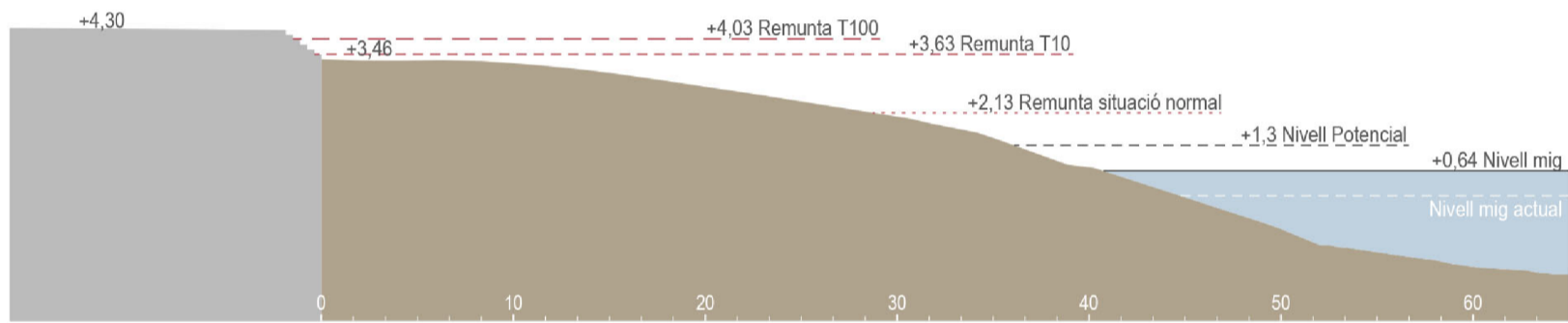




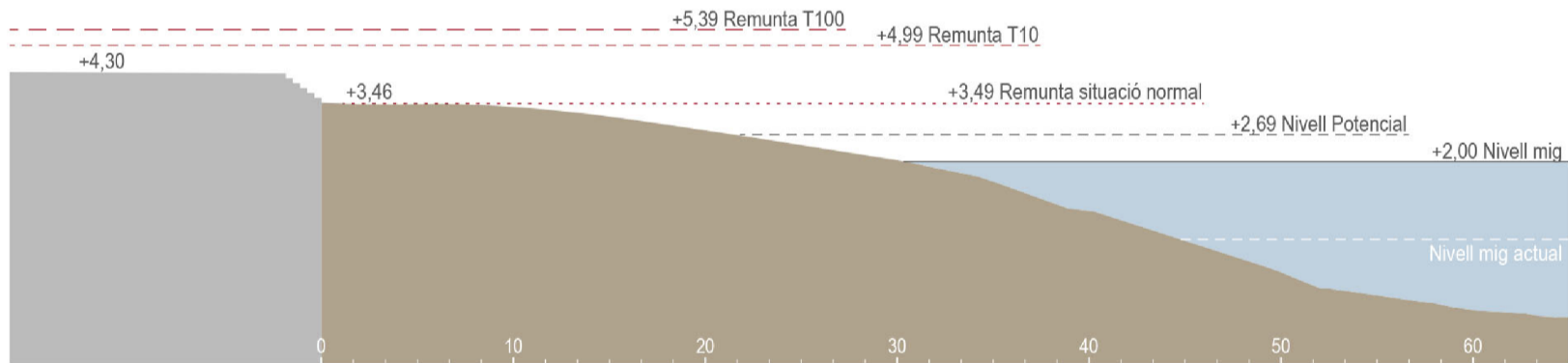
Escenari actual. Platja de Sant Sebastià



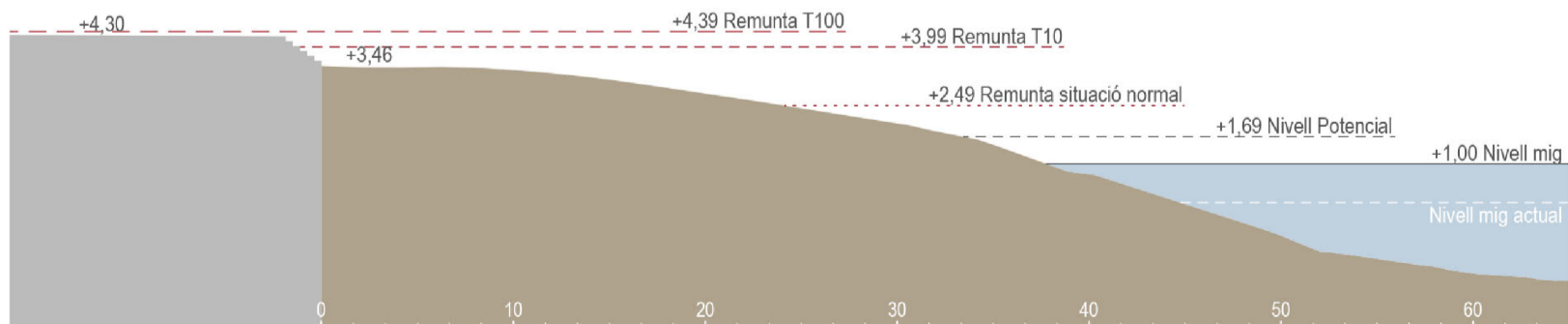
Escenari RCP4.5 (2100). Platja de Sant Sebastià



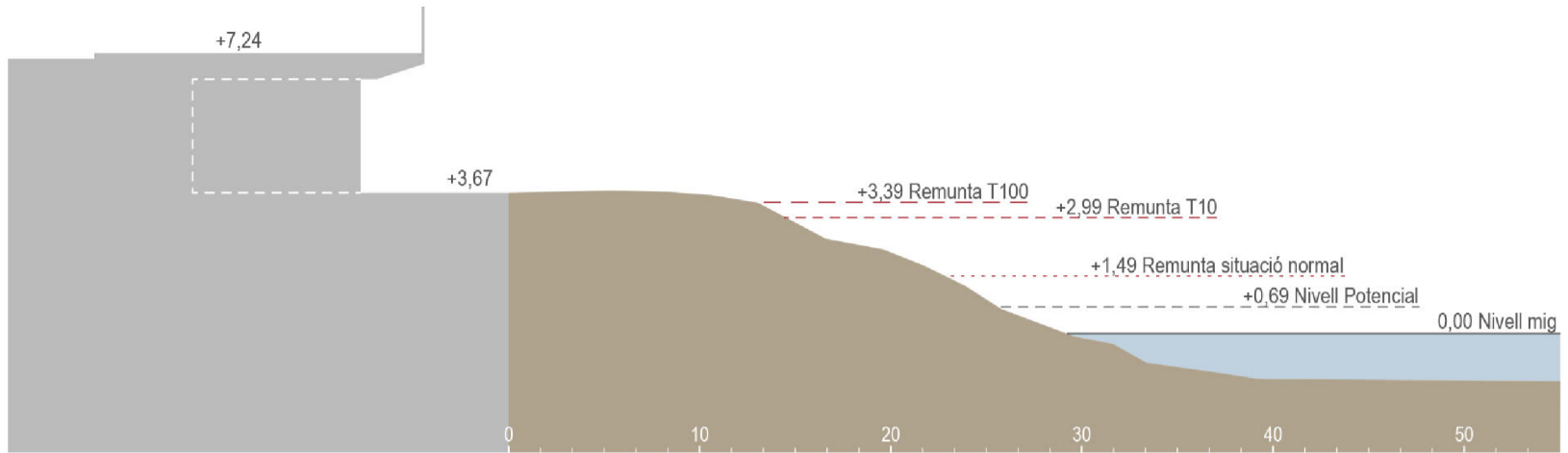
Escenari RCP8.5 (2100). Platja de Sant Sebastià



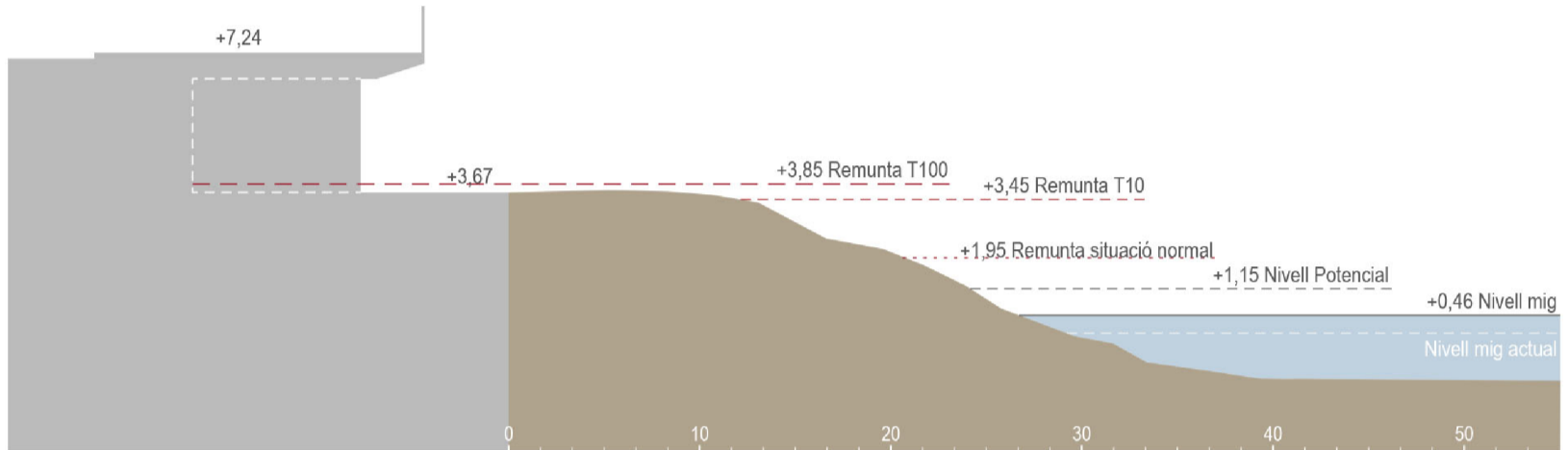
Escenari pessimista (2100). Platja de Sant Sebastià



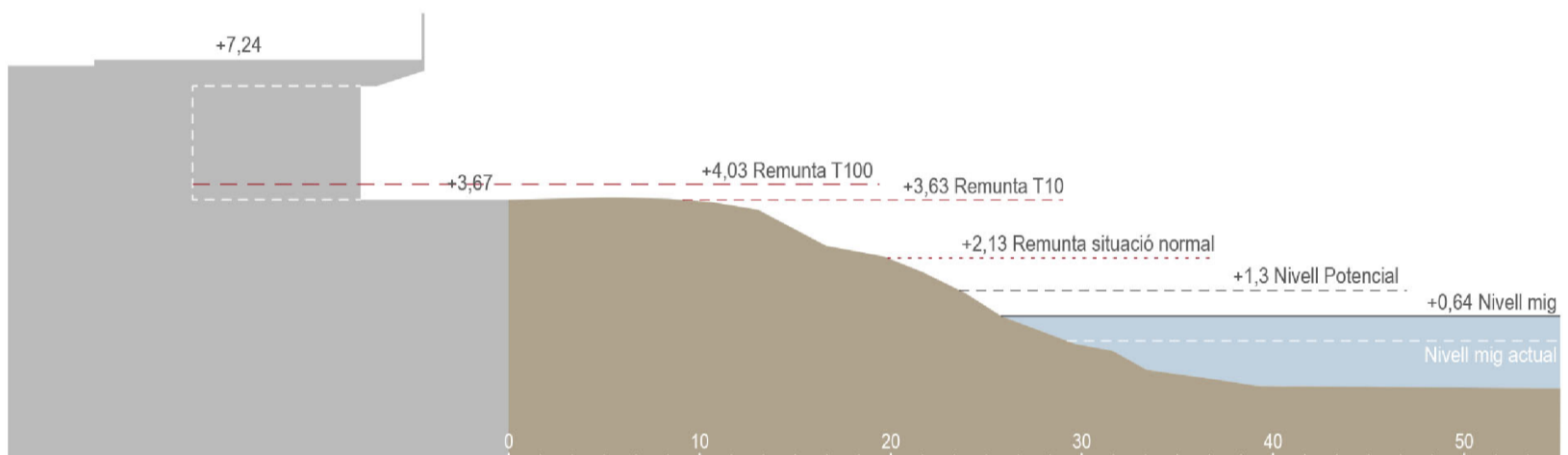
Escenari tendencial (2040). Platja de Sant Sebastià



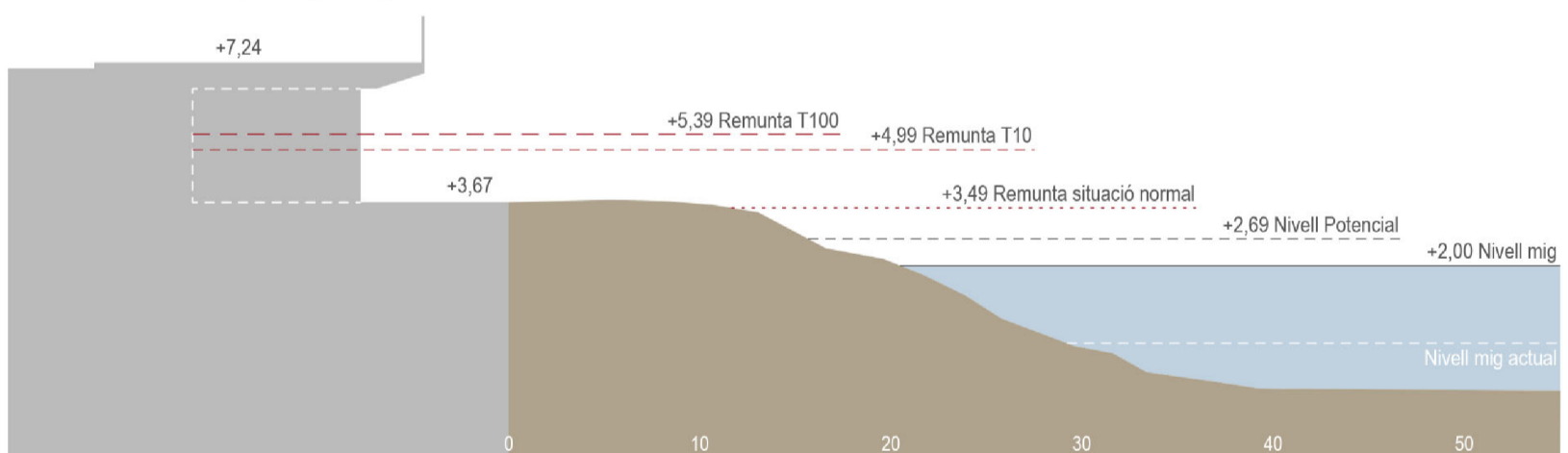
Escenari actual. Platja de la Barceloneta



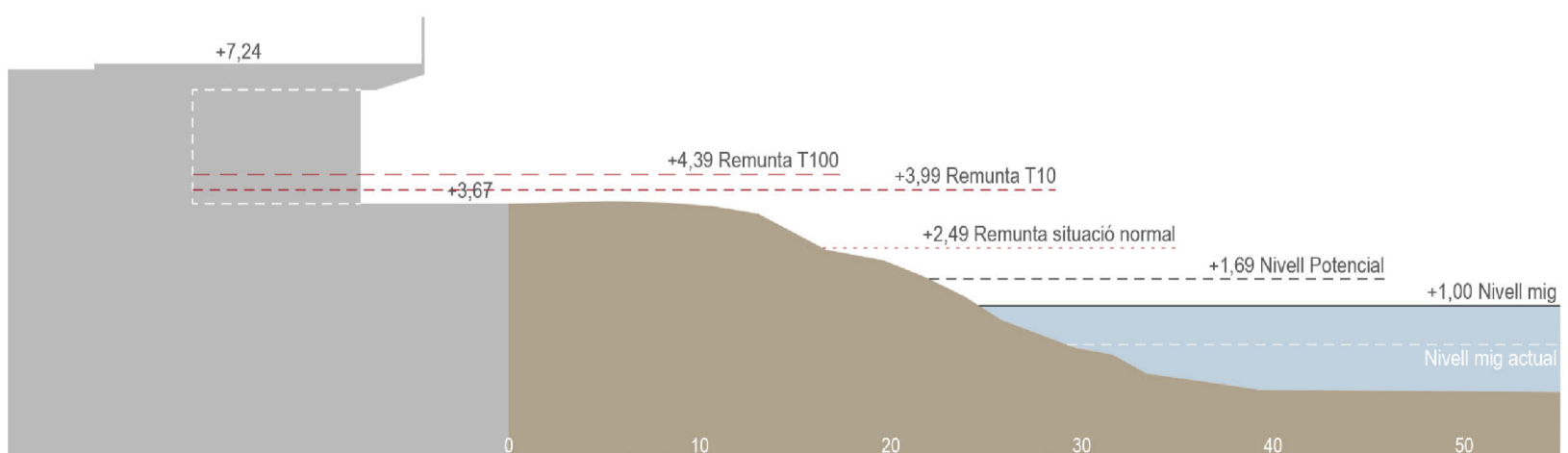
Escenari RCP4.5 (2100). Platja de la Barceloneta



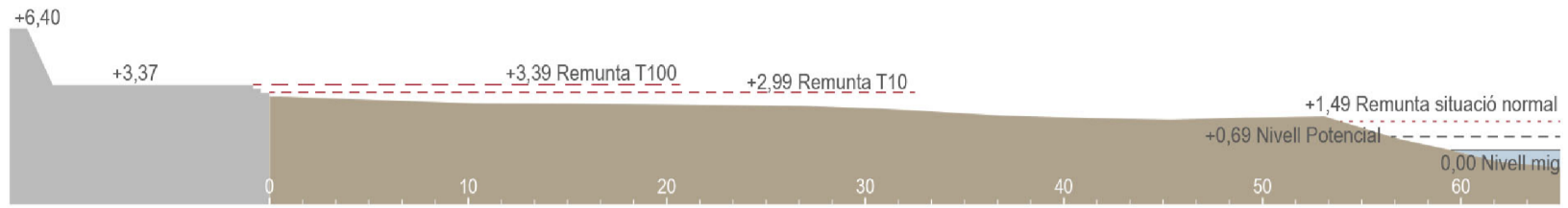
Escenari RCP8.5 (2100). Platja de la Barceloneta



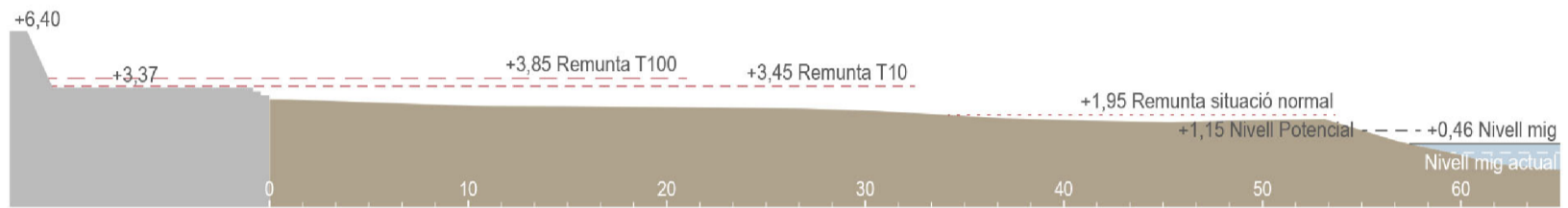
Escenari pessimista (2100). Platja de la Barceloneta



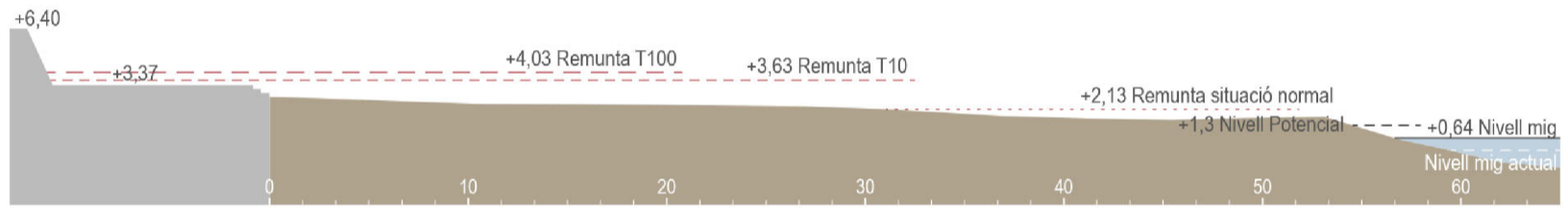
Escenari tendencial (2040). Platja de la Barceloneta



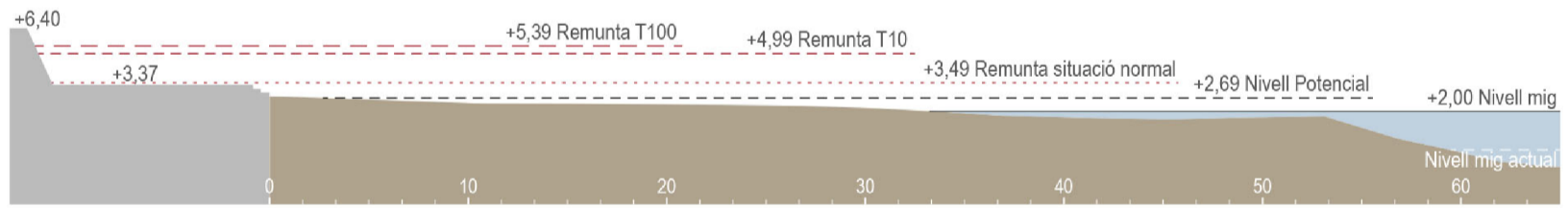
Escenari actual. Platja del Bogatell



Escenari RCP4.5 (2100). Platja del Bogatell



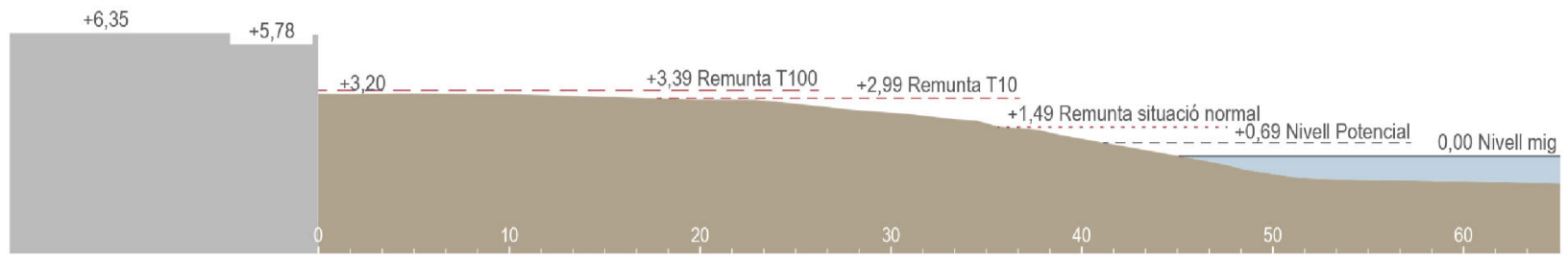
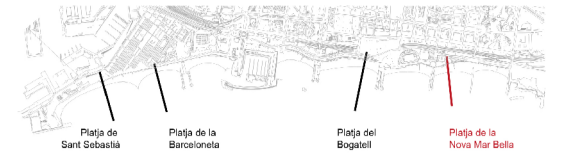
Escenari RCP8.5 (2100). Platja del Bogatell



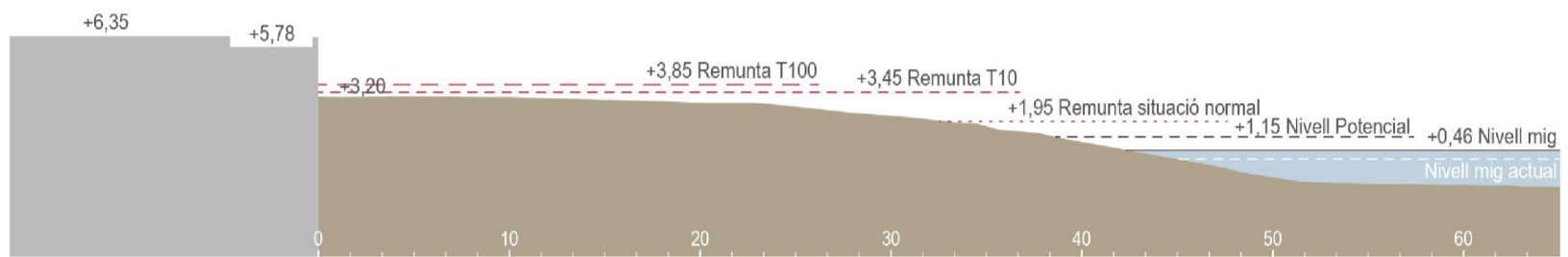
Escenari pessimista (2100). Platja del Bogatell



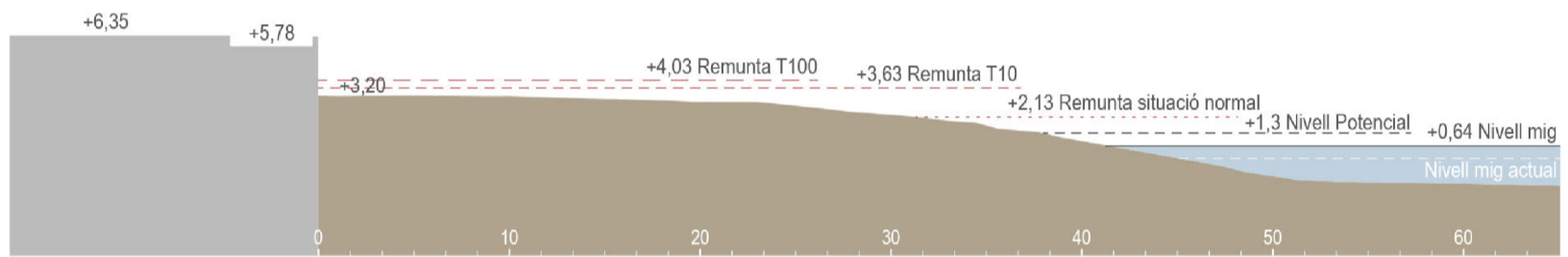
Escenari tendencial (2040). Platja del Bogatell



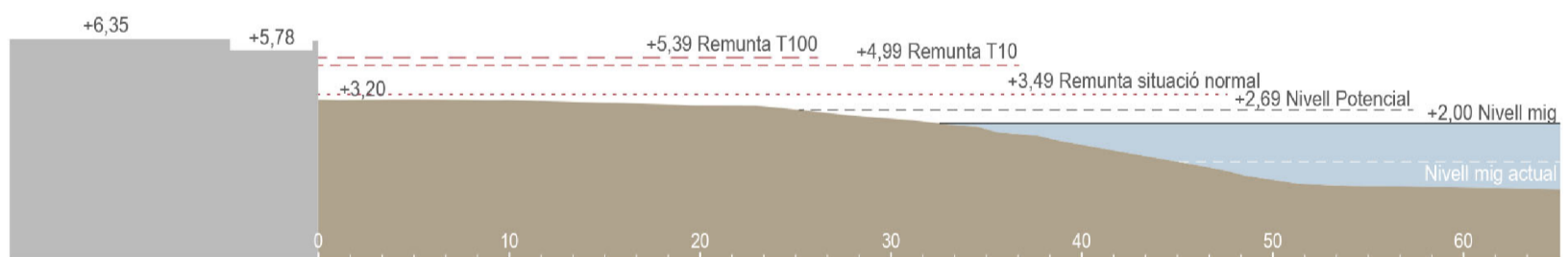
Escenari actual. Platja de la Nova Mar Bella



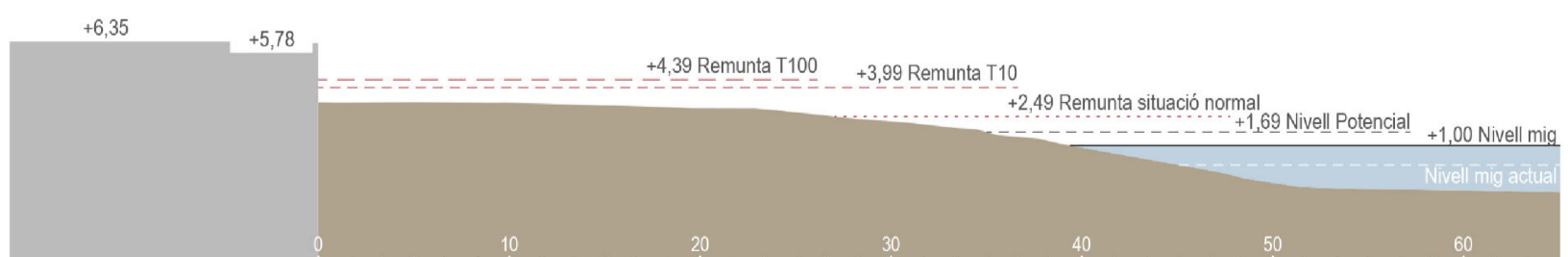
Escenari RCP4.5 (2100). Platja de la Nova Mar Bella



Escenari RCP8.5 (2100). Platja de la Nova Mar Bella



Escenari pessimista (2100). Platja de la Nova Mar Bella



Escenari tendencial (2040). Platja de la Nova Mar Bella