

Resum executiu dels resultats de l'anàlisi dels impactes del canvi climàtic a Barcelona dut a terme en el marc del projecte europeu RESCCUE

Juliol del 2021



1	Introducció.....	10
2	Metodologia.....	11
3	Anàlisi dels impactes derivats de les inundacions provocades per episodis de pluja.....	14
3.1	Model d'inundació urbana.....	14
3.2	Risc per a les persones: estabilitat de vianants i vehicles.....	20
3.3	Afectació al trànsit.....	44
3.4	Estabilitat dels contenidors de residus sòlids urbans.....	51
3.5	Afectació de les inundacions sobre les propietats i els vehicles: anàlisi dels danys tangibles directes.....	58
3.6	Afectació a la qualitat de l'aigua de bany per abocaments al medi receptor.....	64
3.7	Afectació al sector elèctric.....	71
4	Anàlisi dels impactes derivats de la pujada del nivell del mar: afectació a les platges, infraestructures i serveis costaners.....	79
5	Anàlisi dels impactes sobre la disponibilitat d'aigua.....	82
6	Conclusions.....	85

Índex de figures

Figura 1. Metodologia emprada per al desenvolupament de l'anàlisi de risc.....	11
Figura 2. Metodologia de generació dels mapes de risc a partir de la combinació dels mapes de perillositat i vulnerabilitat.....	12
Figura 3. Comparació entre la pluja de disseny per a l'escenari actual (T10) i l'escenari futur (T10 CC) corresponents al període de retorn de 10 anys i l'horitzó temporal 2071-2100.	15
Figura 4. Comportament de la xarxa de clavegueram als escenaris actual i futur (metres de canonada).....	15
Figura 5. Matriu de perillositat per a vianants (a) i vehicles (b) en funció de les variables hidràuliques velocitat del flux i calat.	20
Figura 6. Superfície total (en %) de nivells de perillositat per a vianants per a l'escenari actual (BAS) i futur (BAU) amb tots els períodes de retorn simulats.	22
Figura 7. Superfície total (en %) de nivells de perillositat per a vehicles en els escenaris actual i futur per als períodes de retorn més significatius.....	24
Figura 8. Criteris de vulnerabilitat per a vianants exposats a inundacions urbanes.	25
Figura 9. Criteris de vulnerabilitat per a vehicles exposats a inundacions urbanes.....	25
Figura 10. Nivells de risc.....	27
Figura 11. Àrees (en %) d'alt risc per a vianants en els escenaris actual i futur per als períodes de retorn més significatius.....	29
Figura 12. Increment d'àrea (en %) d'alt risc per a vianants previst pel canvi climàtic per als períodes de retorn més significatius.	30
Figura 13. Àrees (en ha) d'alt risc per a vianants en els escenaris actual i futur per als períodes de retorn més significatius als eixos amb una concentració més alta d'àrees en risc alt.....	31
Figura 14. Àrees (en ha) d'alt risc per a vianants en els escenaris actual i futur per als períodes de retorn més significatius als eixos amb una concentració més alta d'àrees en risc alt.....	32
Figura 15. Àrees (en %) d'alt risc per a vehicles en els escenaris actual i futur per als períodes de retorn més significatius.....	35
Figura 16. Increment d'àrea (en %) d'alt risc per a vehicles previst pel canvi climàtic per als períodes de retorn més significatius.	35
Figura 17. Decrement d'àrea (en %) d'alt risc per a vianants com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2 per als períodes de retorn més significatius.	41
Figura 18. Decrement d'àrea (en %) d'alt risc per a vehicles com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2 per als períodes de retorn més significatius.	41
Figura 19. Decrement d'àrea (en %) d'alt risc per a vianants com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2 per als períodes de retorn més significatius als eixos amb una concentració més elevada d'àrees en risc alt.....	43
Figura 20. Metodologia desenvolupada per la Universitat d'Exeter per elaborar el model d'inundació-trànsit.....	44

Figura 21. Longituds (en %) de carrers amb velocitat reduïda i tancats per efecte de les inundacions a la ciutat de Barcelona per als escenaris actual, futur, d'adaptació 1 i 2 i per als períodes de retorn més significatius.	49
Figura 22. Increment de longituds (en %) de carrers amb velocitat reduïda i tancats per efecte de les inundacions a la ciutat de Barcelona previst pel canvi climàtic i per als períodes de retorn més significatius.....	49
Figura 23. Decrement de longituds (en %) de carrers amb velocitat reduïda i tancats per efecte de les inundacions a la ciutat de Barcelona com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2 per als períodes de retorn més significatius.....	50
Figura 24. Corbes d'estabilitat dels contenidors de residus urbans en funció del grau d'ompliment.....	52
Figura 25. Nombre de contenidors (en %) de residus sòlids urbans buits inestables per als escenaris actual i futur (esq.) i increment de contenidors (en %) buits inestables previst a causa del canvi climàtic (dreta) per al període de retorn T50.....	54
Figura 26. Decreixement de contenidors de residus sòlids urbans buits inestables (en %) com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2, i incorporant les peces de fixació per als contenidors per al període de retorn T50.....	56
Figura 27. Model conceptual per a l'estimació dels danys per inundació sobre les propietats urbanes. Font: ³	58
Figura 28. Valor dels danys (en M€) a propietats i vehicles per efecte de les inundacions a la ciutat de Barcelona per als escenaris actual, futur, d'adaptació 1 i 2 i pels períodes de retorn més significatius.	62
Figura 29. Increment del valor dels danys (en %) a propietats i vehicles per efecte de les inundacions a la ciutat de Barcelona previst pel canvi climàtic i pels períodes de retorn més significatius.	62
Figura 30. Decreixement del valor dels danys (en %) a propietats i vehicles per efecte de les inundacions a la ciutat de Barcelona com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2 pels períodes de retorn més significatius.....	63
Figura 31. Exemple de simulació de qualitat marítima després d'un episodi de DSU (Vermell= alta concentració d'E. coli; Blau= baixa concentració d'E. coli).....	64
Figura 32. Nova batimetria per al model marítim de Barcelona.....	65
Figura 33. Els tres nivells de malles niades implementades en el model marítim de Barcelona.....	65
Figura 34. Sèrie pluviomètrica de l'any mitjà seleccionat (2009).....	66
Figura 35. Temps d'incompliment (en dies) dels valors de contaminació bacteriològica marcats per la Directiva d'aigües de bany per temporada de bany a conseqüència dels abocaments al medi marí per als escenaris actual/futur i d'adaptació 1 i 2 per a les platges de Barcelona i valor mitjà.....	67
Figura 36. Temps d'incompliment (en %) dels valors de contaminació bacteriològica marcats per la Directiva d'aigües de bany per temporada de bany a conseqüència dels abocaments al	

medi marí per als escenaris actual/futur i d'adaptació 1 i 2 per a les platges de Barcelona i valor mitjà	67
Figura 37. Decreixement del temps d'incompliment (en %) dels valors de contaminació bacteriològica marcats per la Directiva d'aigües de bany per temporada de bany a conseqüència dels abocaments al medi marí com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2 per a les platges de Barcelona i valor mitjà.	68
Figura 38. Estimacions de danys indirectes per pèrdues de negoci i dies de contaminació alta per temporada de bany produïts per efecte dels abocaments al medi marí per als escenaris actual/futur i d'adaptació 1 i 2.	70
Figura 39. Decrement del valor dels danys estimats (en %) per pèrdues de negoci produïts per efecte dels abocaments al medi marí com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2.	70
Figura 40. Explicació del llindar de categorització proporcionat, basat en la corba de fragilitat adaptada de FEMA, 2009.	72
Figura 41. Nombre de subestacions afectades en els escenaris actual (BAS) i futur (BAU) i els seus percentatges sobre el total de subestacions ubicades a Barcelona.	73
Figura 42. Nombre de subestacions afectades en els escenaris d'adaptació 1 (SUD) i adaptació 2 (SiE) i els seus percentatges sobre el total de subestacions ubicades a Barcelona.	74
Figura 43. Comparació de l'escenari BAU-SUD amb BAU-SiE, en què es mostra el nombre de subestacions que estan fora de perill en l'escenari BAU aplicant els diferents conjunts de mesures de prevenció i el percentatge de reducció assolida.	76
Figura 44. Mitjana de reducció de la taxa de superfície afectada i profunditat de l'aigua Mitjana assolida aplicant els diferents conjunts de mesures de prevenció (SUD i SiE) per a cada període de retorn analitzat.	77
Figura 45. Sistema d'embassaments a les conques del Ter i el Llobregat. Font:	82
Figura 46. Disminució dels recursos hídrics de la ciutat durant els últims 20 anys.	83
Figura 47. Resultats de la simulació del model hidrològic utilitzat.	83
Figura 48. Resultats de la simulació del model hidrològic utilitzat.	83
Figura 49. Estudis sobre la reducció de recursos hídrics esperada per a Barcelona als anys 2050 i 2100.	84

Índex de mapes

Mapa 1. Inundabilitat urbana per a l'escenari actual amb període de retorn T10.....	16
Mapa 2. Inundabilitat urbana per a l'escenari futur amb període de retorn T10.	17
Mapa 3. Inundabilitat urbana per a l'escenari actual amb període de retorn T100.	17
Mapa 4. Inundabilitat urbana per a l'escenari futur amb període de retorn T100.....	18
Mapa 5. Punts crítics més importants de la ciutat.....	19
Mapa 6. Zones de perillositat alta per a vianants per a l'escenari actual amb els períodes de retorn T1, T10 i T100 simulats	21
Mapa 7. Zones de perillositat alta per a vianants per a l'escenari futur amb els períodes de retorn T1, T10 i T100 simulats	21
Mapa 8. Zones de perillositat alta per a vehicles per a l'escenari actual amb els períodes de retorn T1, T10 i T100 simulats	23
Mapa 9. Zones de perillositat alta per a vehicles per a l'escenari futur amb els períodes de retorn T1, T10 i T100 simulats	23
Mapa 10. Mapa de vulnerabilitat per a vianants.	26
Mapa 11. Mapa de vulnerabilitat per a vehicles	26
Mapa 12. Mapa de risc per a vianants en l'escenari actual amb període de retorn T10.	27
Mapa 13. Mapa de risc per a vianants en l'escenari futur amb període de retorn T10.	28
Mapa 14. Mapa de risc per a vianants en l'escenari actual amb període de retorn T100.....	28
Mapa 15. Mapa de risc per a vianants en l'escenari futur amb període de retorn T100.....	29
Mapa 16. Eixos crítics més importants de la ciutat.....	31
Mapa 17. Risc per a vehicles en l'escenari actual amb període de retorn T10.....	33
Mapa 18. Risc per a vehicles en l'escenari futur amb període de retorn T10.	33
Mapa 19. Risc per a vehicles en l'escenari actual amb període de retorn T100.	34
Mapa 20. Risc per a vehicles en l'escenari futur amb període de retorn T100.....	34
Mapa 21. Risc per a vianants en l'escenari d'adaptació 1 amb període de retorn T10.....	36
Mapa 22. Risc per a vianants en l'escenari d'adaptació 2 amb període de retorn T10.....	37
Mapa 23. Risc per a vianants en l'escenari d'adaptació 1 amb període de retorn T100.....	37
Mapa 24. Risc per a vianants en l'escenari d'adaptació 2 amb període de retorn T100.	38
Mapa 25. Risc per a vehicles en l'escenari d'adaptació 1 amb període de retorn T10.....	38
Mapa 26. Risc per a vehicles en l'escenari d'adaptació 2 amb període de retorn T10	39
Mapa 27. Risc per a vehicles en l'escenari d'adaptació 1 amb període de retorn T100.....	39
Mapa 28. Risc per a vehicles en l'escenari d'adaptació 2 amb període de retorn T100.....	40
Mapa 29. Afectació al trànsit de superfície per a l'escenari actual amb període de retorn T10. ..	45
Mapa 30. Afectació al trànsit de superfície per a l'escenari futur amb període de retorn T10.....	46
Mapa 31. Afectació al trànsit de superfície per a l'escenari actual amb període de retorn T100. 46	
Mapa 32. Afectació al trànsit de superfície per a l'escenari futur amb període de retorn T100. ..	47
Mapa 33. Mapes d'afectació al trànsit de superfície per a l'escenari d'adaptació 1 (esq.) i l'escenari d'adaptació 2 (dreta) amb període de retorn T10.	47

Mapa 34. Mapes d'afectació al trànsit de superfície per a l'escenari d'adaptació 1 (esq.) i l'escenari d'adaptació 2 (dreta) amb període de retorn T100.....	48
Mapa 35. Inundabilitat urbana a l'escenari futur per al període de retorn T50.....	52
Mapa 36 . Mapes d'afectació als contenidors de residus sòlids urbans per a l'escenari actual (esq.) i l'escenari futur (dreta) amb període de retorn T50.....	53
Mapa 37. Afectació als contenidors de residus sòlids urbans per a l'escenari futur, incorporant només les peces de fixació per als contenidors amb període de retorn T50.....	55
Mapa 38. Mapes d'afectació als contenidors de residus sòlids urbans per a l'escenari d'adaptació 1 (esq.) i l'escenari d'adaptació 2 (dreta) amb període de retorn T50.....	55
Mapa 39. Mapes d'afectació als contenidors de residus sòlids urbans per a l'escenari d'adaptació 1 (esq.) i l'escenari d'adaptació 2 (dreta) amb període de retorn T50, incorporant les peces de fixació per als contenidors.....	56
Mapa 40. Mapes de valor dels danys per inundació urbana a les propietats per a l'escenari actual (esq.) i l'escenari futur (dreta) amb període de retorn T10.	59
Mapa 41. Mapes de valor dels danys per inundació urbana a les propietats per a l'escenari d'adaptació 1 (esq.) i l'escenari d'adaptació 2 (dreta) amb període de retorn T10.	60
Mapa 42. Mapes de valor dels danys per inundació urbana a les propietats per a l'escenari actual (esq.) i l'escenari futur (dreta) amb període de retorn T100.....	60
Mapa 43. Mapes de valor dels danys per inundació urbana a les propietats per a l'escenari d'adaptació 1 (esq.) i l'escenari d'adaptació 2 (dreta) amb període de retorn T100.....	61
Mapa 44. Mapa de la zona costanera de Barcelona, en què es destaquen els districtes afectats per DSU.....	69
Mapa 45. Infraestructures elèctriques afectades en cas d'inundació urbana i el percentatge d'àrea afectat per a l'escenari actual.	72
Mapa 46. Infraestructures elèctriques afectades en cas d'inundació urbana i el percentatge d'àrea afectat per a l'escenari futur.....	73
Mapa 47. Representació de les diferents subestacions afectades després d'aplicar les mesures d'adaptació 1 (SUD) a l'escenari BAU, per als diferents períodes de retorn analitzats i tenint en compte la taxa d'àrea afectada (0-100%).....	75
Mapa 48. Representació de les diferents subestacions afectades després d'aplicar les mesures d'adaptació 2 (SiE) a l'escenari BAU, per als diferents períodes de retorn analitzats i tenint en compte la taxa d'àrea afectada (0-100%).....	75
Mapa 49. Representació de les subestacions on es va reduir la taxa d'àrea afectada després d'aplicar les mesures d'adaptació 1 (SUD) a l'escenari BAU per al diferent període de retorn analitzat i tenint en compte la taxa d'àrea afectada (0-100%).....	78
Mapa 50. Representació de les subestacions on es va reduir la taxa d'àrea afectada després d'aplicar les mesures d'adaptació 2 (SiE) a l'escenari BAU per al diferent període de retorn analitzat i tenint en compte la taxa d'àrea afectada (0-100%).....	78
Mapa 51. Principals afectacions per a l'escenari RCP 4.5 2070-2100.....	80
Mapa 52. Principals afectacions per a l'escenari RCP 8.5 2070-2100.....	80

1 Introducció

L'objectiu principal del projecte RESCCUE és ajudar les ciutats a esdevenir més resilients als reptes físics, però també als socials i econòmics, derivats dels impactes del canvi climàtic, generant metodologies aplicables a diversos tipus de ciutats amb diferents exposicions al canvi climàtic. Concretament, RESCCUE pretén millorar la resiliència urbana de les nostres ciutats mitjançant un conjunt de models i eines que avaluen els impactes del canvi climàtic en diversos sectors urbans estratègics, com el cicle de l'aigua (tractament d'aigua, subministrament d'aigua, drenatge urbà i tractament d'aigües residuals), el transport, el subministrament d'energia i els residus sòlids. En segon terme, el projecte estudia com aquests serveis urbans s'interconnecten per avaluar la resiliència urbana per a l'estat actual i per als diferents escenaris futurs de canvi climàtic i d'adaptació.

El coneixement detallat del comportament dels nostres sistemes urbans davant els esdeveniments climàtics extrems representa la peça bàsica inicial de tot el procés d'avaluació de la resiliència de la ciutat. Per assolir aquest objectiu, el projecte ha elaborat, calibrat i validat una sèrie de models sectorials detallats partint dels diferents escenaris futurs de canvi climàtic extrets de noves projeccions climàtiques, així com per a la situació actual. L'ús de models sectorials (o la integració de diversos models sectorials) pot ajudar a comprendre al màxim el perill potencial relacionat amb els esdeveniments climàtics extrems i, finalment, fer-se servir per a l'avaluació dels múltiples riscos que podrien afectar la ciutat de Barcelona en el futur. El projecte es va centrar en l'anàlisi dels impactes relacionats amb l'aigua en tres àmbits diferents: **perill d'inundació, perill de sequera i perill per la pujada del nivell del mar.**

En el marc del perill d'inundació, es va fer una avaluació multirisc de diversos sectors exposats als efectes del canvi climàtic per a quatre escenaris diferents: **l'escenari actual:** preveu la situació avui en dia; **l'escenari futur:** planteja els futurs canvis que implicarà el canvi climàtic a partir de les noves projeccions climàtiques; **l'escenari d'adaptació 1:** recull les millores de la implantació de SUDS (sistemes urbans de drenatge sostenible) respecte de l'escenari futur, i **l'escenari d'adaptació 2:** preveu la incorporació de mesures estructurals en la xarxa de drenatge, a més dels SUDS, respecte de l'escenari futur.

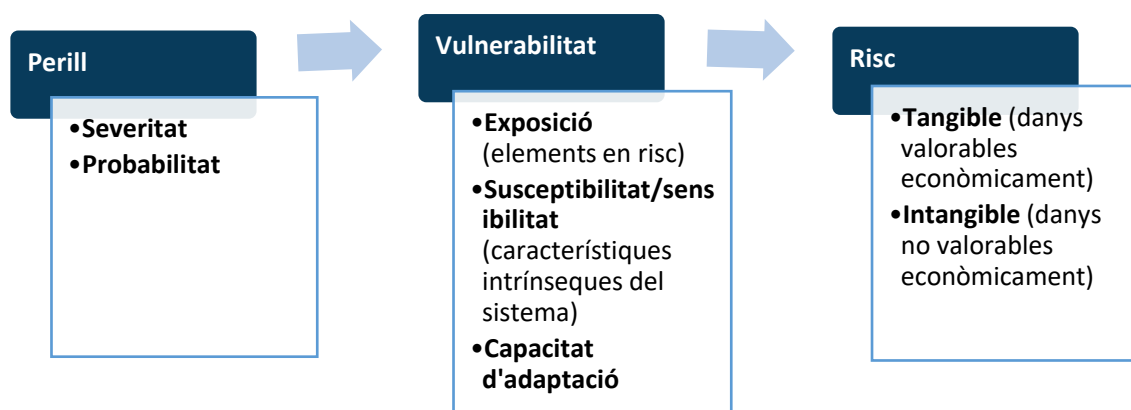
Els quatre escenaris considerats per al perill d'inundació s'han desenvolupat per als períodes de retorn **T1, T10, T50, T100 i T500**. Ara bé, en funció del sector avaluat i les seves característiques particulars, en aquest document es consideraran els períodes de retorns més significatius.

En el cas de la pujada del nivell del mar, els escenaris analitzats recullen l'horitzó temporal 2070-2100 per als RCP 4.5 i 8.5.

2 Metodologia

A la figura 1 es mostra el marc conceptual de l'avaluació del risc i les definicions emprats.

Figura 1. Metodologia emprada per al desenvolupament de l'anàlisi de risc.



El risc dels impactes relacionats amb el clima resulta de la interacció dels perills associats pròpiament amb el clima (inclosos els esdeveniments extrems i les tendències de canvi) amb la vulnerabilitat dels sistemes humans i naturals.

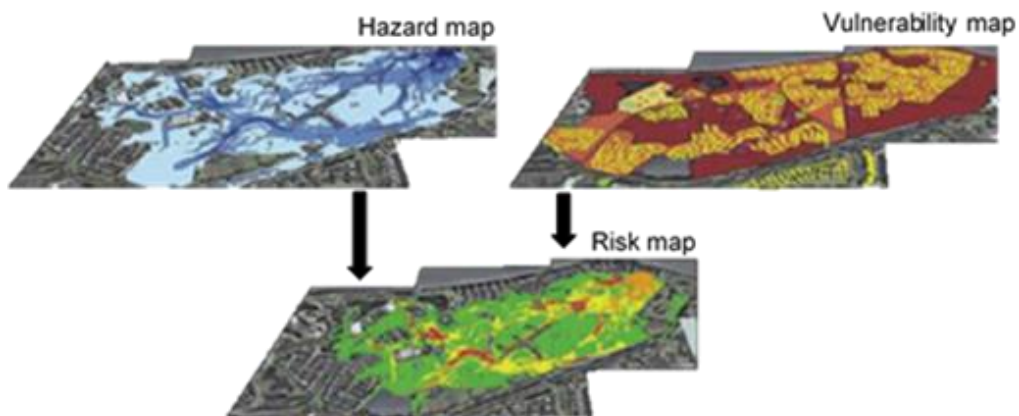
Es considera **perill climàtic** qualsevol condició d'una variable climàtica que pot ser causa d'un efecte advers: com a primer pas, se seleccionen les variables climàtiques rellevants que serveixen de base per obtenir els índexs climàtics necessaris per a l'anàlisi del perill. Per a cada perill relacionat amb el clima, s'identifiquen un o més índexs rellevants, com ara la probabilitat d'aparició o les superacions dels valors líndars. Els índexs es calculen per a un període climàtic definit i es poden combinar amb altres paràmetres per avaluar diferents escales de perill.

La **vulnerabilitat** es refereix a la propensió d'elements exposats (com ara éssers humans, els seus mitjans de vida i els seus actius) a patir efectes adversos quan es vegin afectats per esdeveniments de perill. Es correspon amb l'inventari d'elements presents a les zones on es poden produir esdeveniments perillosos (inundacions, sequera i augment del nivell del mar, en el nostre cas) que poden afectar-los negativament (possiblement danyats o alterats). Aquests valors depenen de la presència de persones, ecosistemes, serveis i recursos ambientals, infraestructures o béns econòmics, socials i culturals en llocs que es podrien veure afectats negativament. D'altra banda, la susceptibilitat (o sensibilitat) és el grau en què el sistema està afectat, que depèn de les característiques intrínseques dels seus elements exposats dins de la zona en la qual es poden produir esdeveniments perillosos, mentre que la capacitat adaptativa d'un sistema és la seva capacitat per suportar i superar qualsevol pertorbació, com les

inundacions, i mantenir nivells importants d'eficiència en els seus components socials, econòmics, ambientals i físics.

Finalment, el procés **d'avaluació del risc** treballa tenint en compte les magnituds i probabilitats dels impactes associats als riscos identificats abans, amb l'objectiu de valorar la importància dels actius afectats, identificant-los i localitzant-los en un mapa de risc. Aquest mapa es desenvolupa sobreposant el mapa de perillositat i el mapa de vulnerabilitat. El resultat d'aquest procés és un mapa que estableix diferents nivells de risc en zones específiques de la ciutat per als diferents àmbits estudiats, basats en la combinació del nivell de perill i el nivell de vulnerabilitat. A la figura 2 s'observa el concepte de mapa de riscos com la combinació de perillositat i vulnerabilitat:

Figura 2. Metodologia de generació dels mapes de risc a partir de la combinació dels mapes de perillositat i vulnerabilitat.



Els resultats es classifiquen per danys tangibles (danys econòmics sobre els béns) o danys intangibles (danys que no es poden valorar econòmicament, p. ex. l'ampliació de zones d'alt risc, els impactes socials sobre col·lectius vulnerables o la pèrdua de vides humanes). Els resultats de l'anàlisi i la monetització dels riscos derivats de l'impacte del canvi climàtic desenvolupat dins el marc del projecte RESCCUE es poden consultar a: *RESCCUE Deliverable 3.5 Impact assessments of multiple hazards in case study areas* (<https://toolkit.resccue.eu/resccue-deliverables>).

ESCENARIS D'ADAPTACIÓ

El model d'inundació urbana permet la simulació dels escenaris de canvi climàtic, i l'aplicació de diferents mesures d'adaptació, i proporciona informació sobre la **reducció del risc** d'inundació en funció de les mesures aplicades. Concretament, s'han considerat dos escenaris d'adaptació diferents: **l'escenari d'adaptació 1**, que preveu les millores de la implantació de sistemes urbans de drenatge sostenible, i **l'escenari d'adaptació 2**, que planteja la incorporació de mesures estructurals en la xarxa de drenatge, a més dels SUDS, respecte de l'escenari futur.

3 Anàlisi dels impactes derivats de les inundacions provocades per episodis de pluja

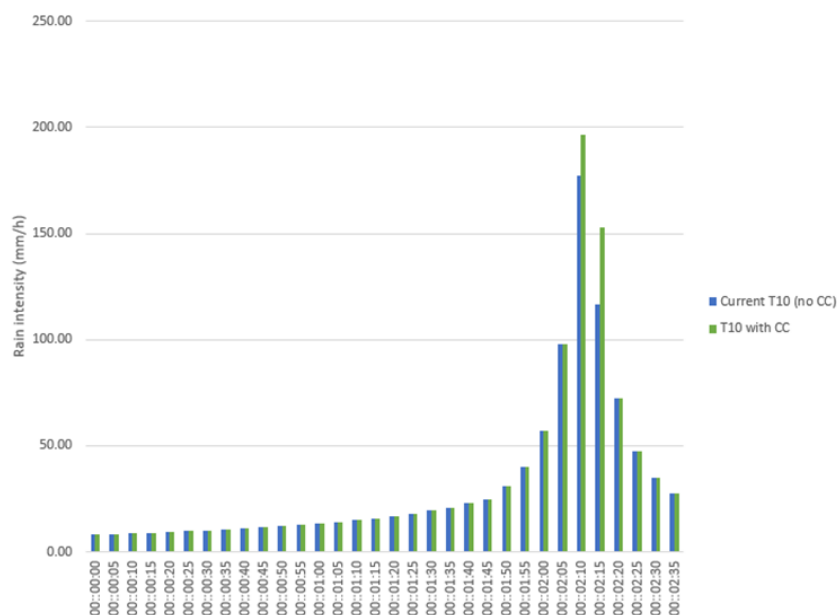
3.1 Model d'inundació urbana

La modelització matemàtica del sistema de drenatge urbà de Barcelona serveix com a punt de partida per a l'anàlisi del perill d'inundació i l'avaluació dels impactes que aquestes inundacions provoquen sobre els béns i les persones. El model de drenatge urbà desenvolupat en el projecte RESCCUE sorgeix de la participació de BCASA com a soci del projecte, que va acceptar proporcionar els resultats del model PDISBA (Pla director de sanejament de Barcelona) al projecte RESCCUE, de manera que els dos projectes es beneficien de les metodologies desenvolupades i els seus resultats són coherents.

La característica principal del nou model de drenatge urbà consisteix en la modelització de tota la xarxa de drenatge de la ciutat, tant primària com secundària, i que caracteritza tots els elements singulars que la componen (reixes, embornals, tancs de retenció, vàlvules, estacions de bombament, etcètera). El model, denominat 1D/2D, combina la simulació del flux de la xarxa subterrània de clavegueram amb el model de circulació d'aigua en superfície, la qual cosa proporciona informació sobre les variables hidràuliques profunditat, velocitat i extensió de les zones inundables de la ciutat durant episodis de pluja torrencial.

El calibratge del model de drenatge urbà es va desenvolupar, dins el marc del PDISBA, sobre la base de la pluja de disseny corresponent al període de retorn de 10 anys (T10) elaborada a partir de les dades històriques proporcionades per BCASA (Figura 3).

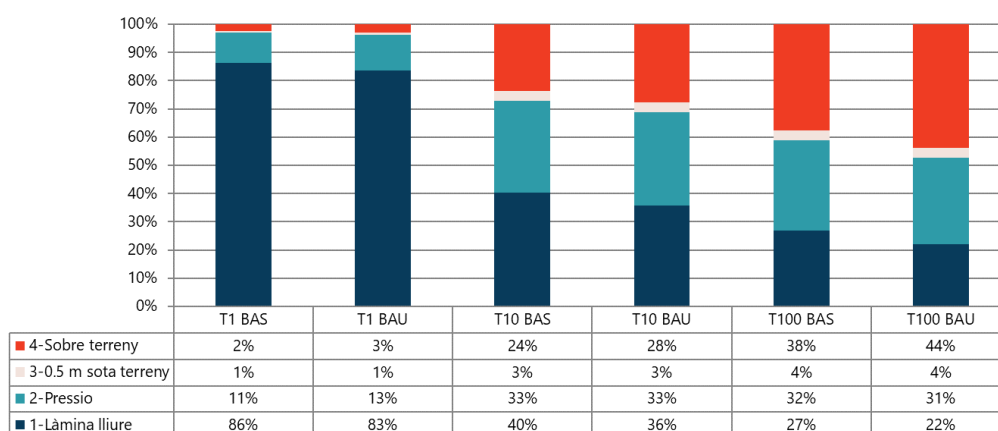
Figura 3. Comparació entre la pluja de disseny per a l'escenari actual (T10) i l'escenari futur (T10 CC) corresponents al període de retorn de 10 anys i l'horitzó temporal 2071-2100.



Un cop validat el model, es van simular els diferents períodes de retorn (T1, T10, T50, T100, T500) per a l'escenari actual i per a l'escenari futur de canvi climàtic aplicant els factors de canvi climàtic obtinguts de les projeccions climàtiques de precipitació resultants de la regressió estadística de 20 sèries pluviomètriques proporcionades per 10 models climàtics globals forçats pels RCP 4.5 i 8.5, prèviament validats pel període històric 1976-2005.

De la simulació de les diferents pluges de disseny elaborades s'extreu el comportament de la xarxa de clavegueram per a cada episodi de pluja associat, per a l'escenari actual i per a l'escenari futur (Figura 4):

Figura 4. Comportament de la xarxa de clavegueram als escenaris actual i futur (metres de canonada).

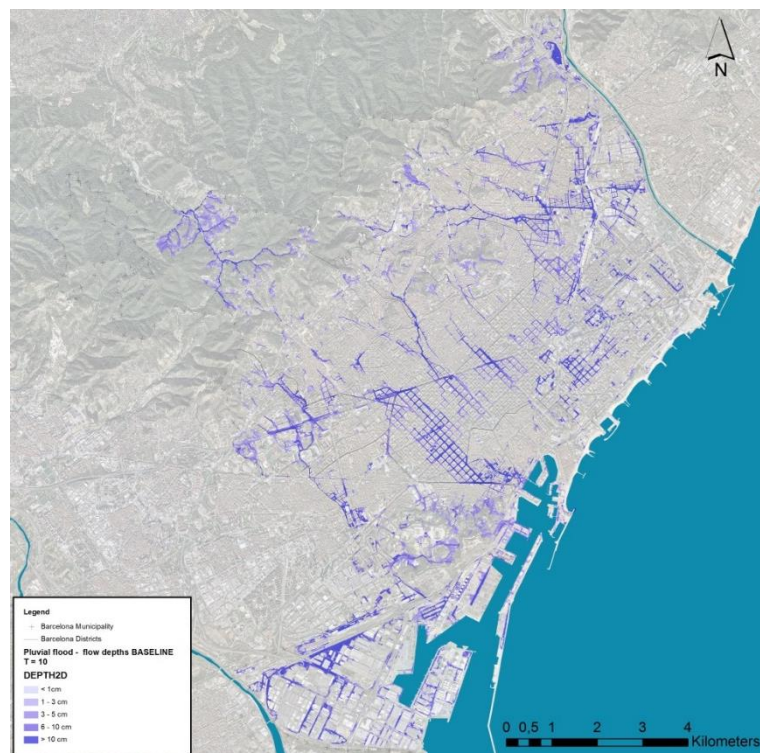


Lògicament, a mesura que s'incrementa el període de retorn, hi ha menys trams de col·lectors que funcionen en làmina lliure, ja que cada vegada estan més sol·licitats. En la simulació de l'escenari futur de canvi climàtic per al període de retorn de 10 anys (T10) s'observa un empitjorament del funcionament de la xarxa de clavegueram respecte a l'estat actual, de manera que augmenten fins al 28% els trams on l'aigua circula en superfície, al 3% els trams on l'aigua circula 50 cm per sota de la cota del terreny i al 33% els trams que funcionen a pressió. La resta de la xarxa, el 36%, treballa correctament.

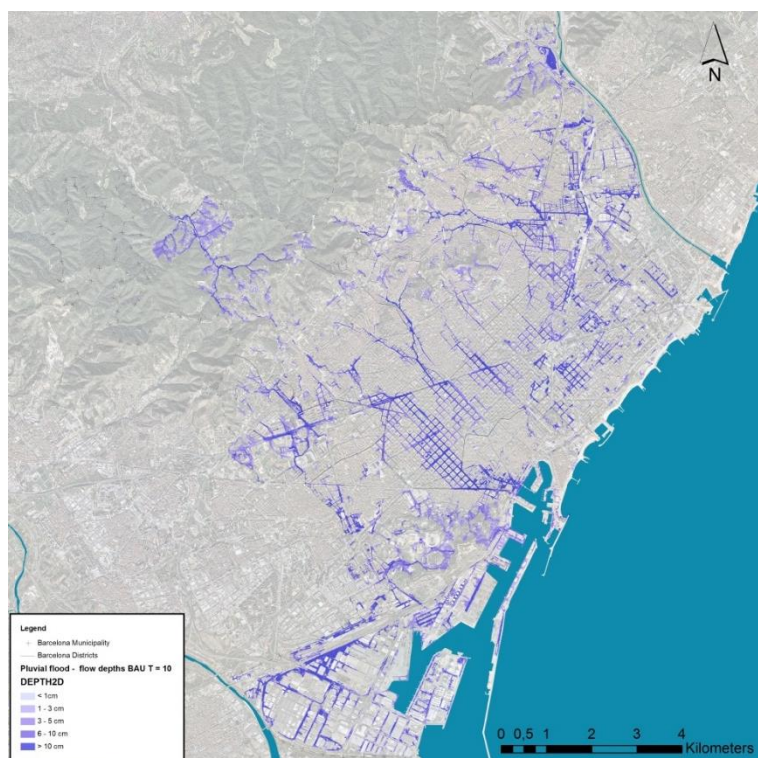
Segons les noves projeccions climàtiques elaborades dins del marc del projecte, es preveu que la intensitat dels episodis de pluja torrencial a la ciutat augmenti entre un 20% i un 40%. Tenint en compte que la xarxa de clavegueram ja comença a patir desbordaments importants amb una pluja de període de retorn de 10 anys, aquest augment de la intensitat de la precipitació comportarà un augment de les zones inundables de la ciutat.

El model de drenatge urbà ens permet analitzar el comportament de l'aigua en superfície parametritzant la velocitat i el calat de l'aigua, i conèixer l'extensió de les zones inundables de la ciutat. Als mapes següents es mostren com varien les variables hidràuliques analitzades (velocitat i calat de l'aigua) per als períodes de retorn més significatius: T10 per representar una freqüència habitual i T100 per representar una freqüència reduïda; tant per a l'escenari actual com per a l'escenari futur:

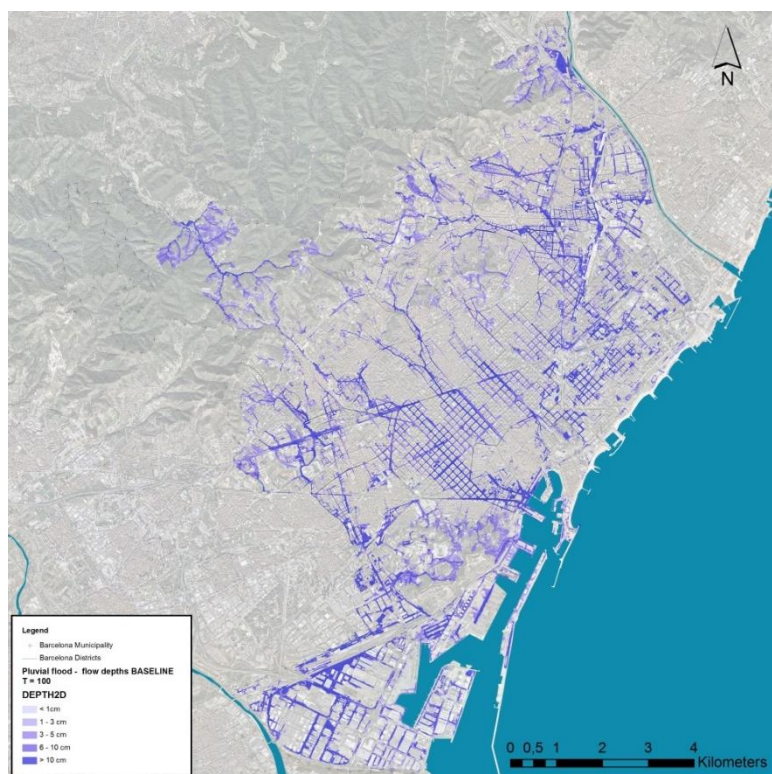
Mapa 1. Inundabilitat urbana per a l'escenari actual amb període de retorn T10.



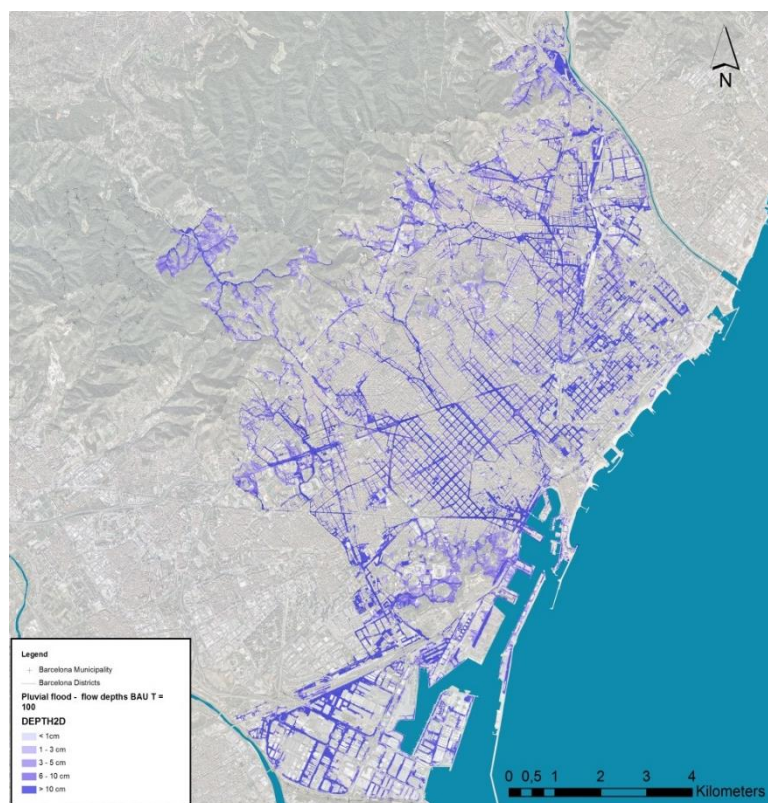
Mapa 2. Inundabilitat urbana per a l'escenari futur amb període de retorn T10.



Mapa 3. Inundabilitat urbana per a l'escenari actual amb període de retorn T100.



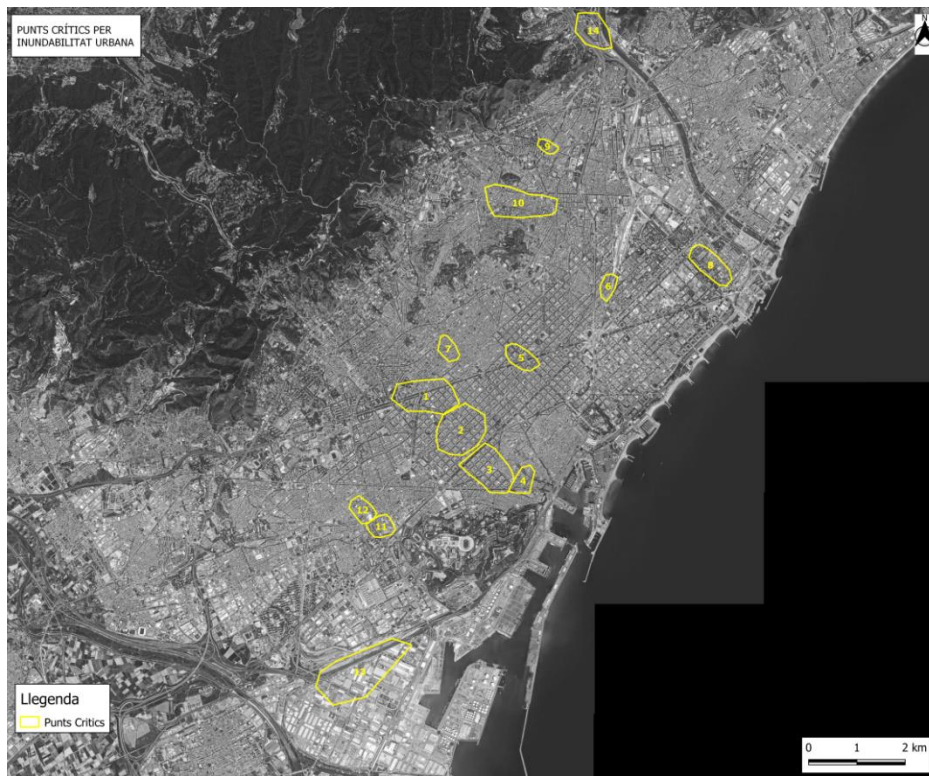
Mapa 4. Inundabilitat urbana per a l'escenari futur amb període de retorn T100.



Els plànols permeten identificar quins són els punts crítics més importants de la ciutat a causa del mal funcionament de la xarxa, i que es poden resumir en els següents:

1. Diagonal - plaça de Francesc Macià
2. Urgell / Casanova / av. Roma
3. Ronda de Sant Pau – av. Paral·lel
4. Voltants del carrer de Sant Pau
5. Diagonal (Bruc - Roger de Flor)
6. Clot - Navas
7. Via Augusta - Príncep d'Astúries - rambla del Prat
8. Voltants de la rambla de Prim
9. Plaça de Lluçmajor
10. Tajo - Cartellà
11. Carrer de Parcerisa
12. Carrer de la Riera Blanca
13. Voltants de la Seat (Zona Franca)
14. Torrent de Tapioles

Mapa 5. *Punts crítics més importants de la ciutat.*



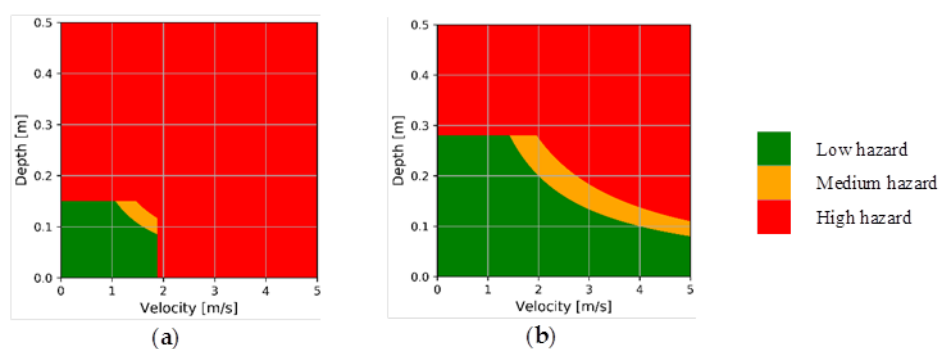
Els efectes de les inundacions en un context potencial de canvi climàtic per a la ciutat s'han avaluat mitjançant un enfocament multisc i els resultats d'aquesta avaluació s'han presentat en termes de perillositat, vulnerabilitat i a través dels mapes de risc per als serveis urbans afectats en cas d'inundació: mobilitat i residus, així com l'afectació a les persones (vianants i vehicles) i l'afectació a la qualitat de l'aigua, per avaluar els impactes socioeconòmics de les descàrregues al medi receptor. Els resultats de les simulacions d'inundació demostren que Barcelona podria patir un augment significatiu d'aquests impactes. Per exemple, els increments de la intensitat màxima de les precipitacions torrencials entre el 12% i el 16% podrien suposar increments superiors al 25-30% en termes d'impactes socials (danys intangibles com l'augment d'àrees classificades amb condicions d'alt risc) i pèrdues econòmiques (danys tangibles expressats en termes monetaris).

A continuació es mostren els principals resultats de l'anàlisi dels impactes provocats per les inundacions a la ciutat de Barcelona.

3.2 Risc per a les persones: estabilitat de vianants i vehicles.

L'estudi sobre l'afectació de les inundacions a l'estabilitat dels vianants i els vehicles es basa en els resultats del model hidrodinàmic en què la velocitat i el calat es consideren les principals variables hidràuliques causants que afecten l'estabilitat dels vianants i els vehicles en cas d'inundacions urbanes pluvials, de manera que l'escorrentia superficial es caracteritza per una velocitat de flux alta i una alçària de flux (calat) baixa. A la figura 6 es mostra com la velocitat i el calat es transformen en un nivell de perill segons els llindars proposats¹ per l'estudi, per a vianants (a) i per a vehicles (b):

Figura 5. Matriu de perillositat per a vianants (a) i vehicles (b) en funció de les variables hidràuliques velocitat del flux i calat.



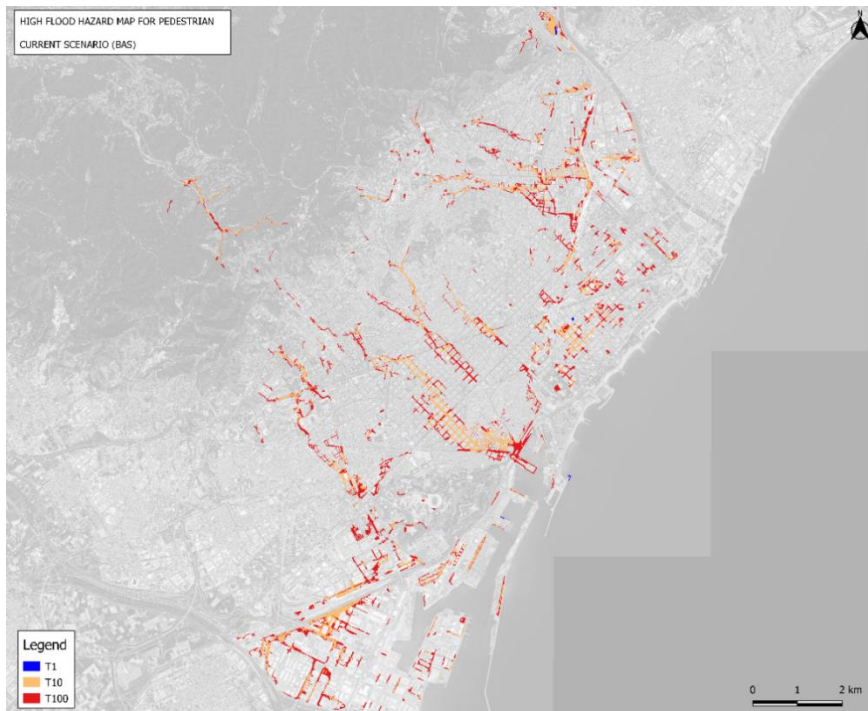
Els **mapes de perillositat** següents representen els nivells de probabilitat que un vianant perdi l'estabilitat i, per tant, pugui caure i ser arrossegat pel flux d'aigua. Les zones de perillositat alta indiquen aquelles zones on les variables hidrodinàmiques són capaces de causar una inestabilitat a una persona en funció de la intensitat de l'episodi de pluja, caracteritzat pel seu període de retorn. Al mapa següent s'observen les zones amb perillositat alta per a vianants per a tots els períodes de retorn simulats:

¹ Russo, B., Gómez, M., Macchione, F., 2013. Pedestrian hazard criteria for flooded urban areas. Nat. Hazards 69, 251–265. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0702-2>

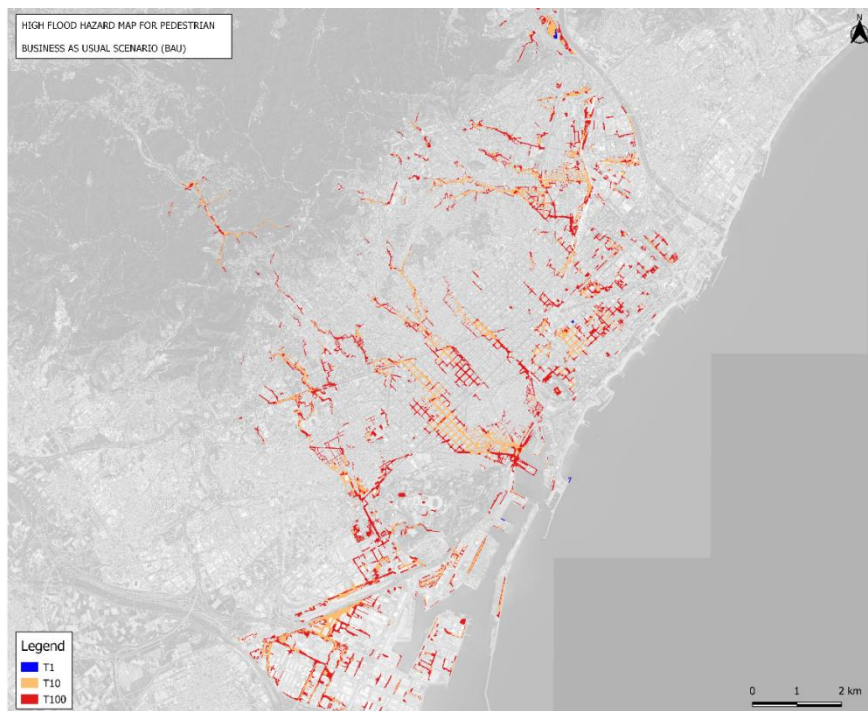
Martínez-Gomariz, E.; Gómez, M.; Russo, B. Experimental study of the stability of pedestrians exposed to urban pluvial flooding. Nat. Hazards 2016, 82, 1259–1278.

Martínez-Gomariz, E.; Gómez, M.; Russo, B.; Djordjević, S. A new experiments-based methodology to define the stability threshold for any vehicle exposed to flooding. Urban Water J. 2017, 14, 930–939.

Mapa 6. Zones de perillositat alta per a vianants per a l'escenari actual amb els períodes de retorn T1, T10 i T100 simulats

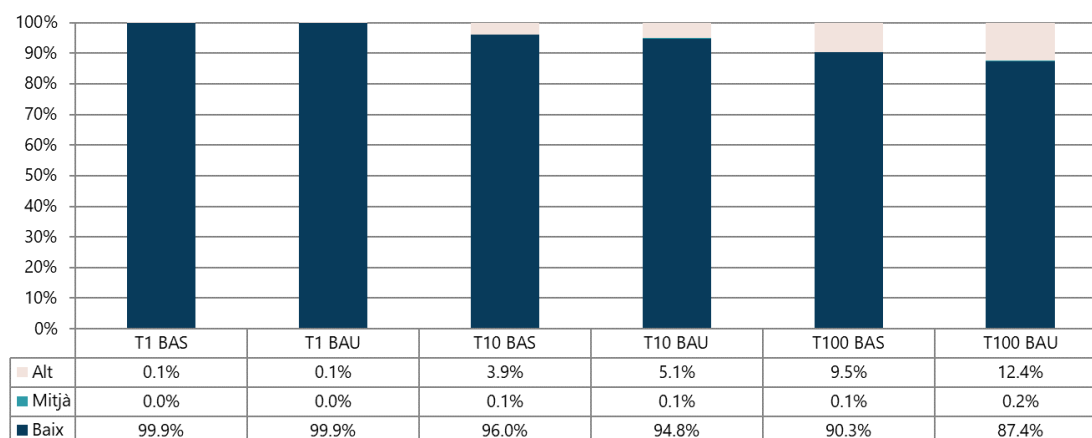


Mapa 7. Zones de perillositat alta per a vianants per a l'escenari futur amb els períodes de retorn T1, T10 i T100 simulats



El gràfic següent resumeix els resultats dels mapes de perillositat per a vianants classificats per nivell de perill:

Figura 6. Superfície total (en %) de nivells de perillositat per a vianants per a l'escenari actual (BAS) i futur (BAU) amb tots els períodes de retorn simulats.

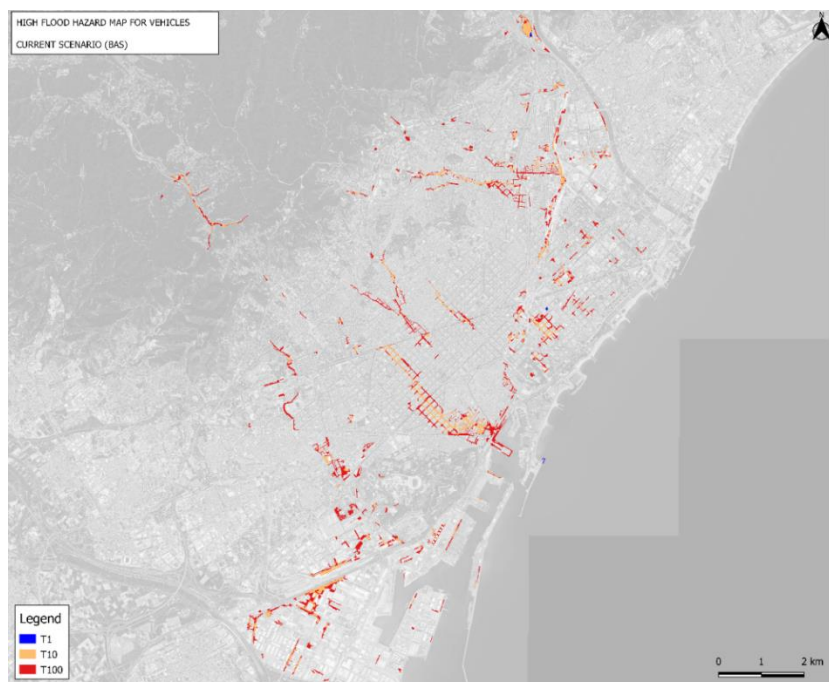


Per al període de retorn d'un any (T1), tant en l'escenari actual com en l'escenari futur, les zones de perillositat alta són anecdòtiques (0,02% i 0,03% de la superfície, respectivament). Per tant, el canvi climàtic no suposa un empitjorament respecte a la situació existent.

En el període de retorn de T10, les zones de perill alt sumen 240 ha, que representen el 3,9% del total de la superfície transitable de la ciutat. Amb l'acció del canvi climàtic no apareixen noves zones de perill alt, però les existents s'incrementen de manera equitativa a tots els barris fins a arribar a les 312 ha, que són el 5,1% de la superfície total, la qual cosa representa un increment del 30% de la superfície amb perill alt.

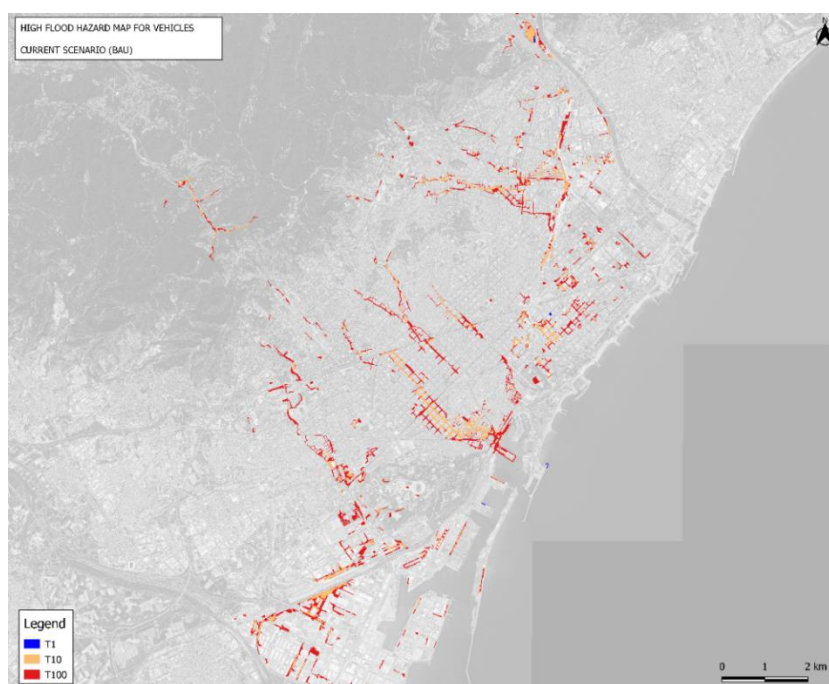
En el cas de la T100, la situació actual empitjora de manera notable, ja que apareixen noves zones amb àrees de perill alt i augmenten considerablement les existents per a la T10, fins a arribar al 9,5% de la superfície total de Barcelona (585 ha). En el cas de l'escenari futur, una altra vegada es produeix un increment del 30% en la superfície transitable amb perillositat alta per als vianants fins a arribar al 12,4% de la superfície total (762 ha).

Mapa 8. Zones de perillositat alta per a vehicles per a l'escenari actual amb els períodes de retorn T1, T10 i T100 simulats



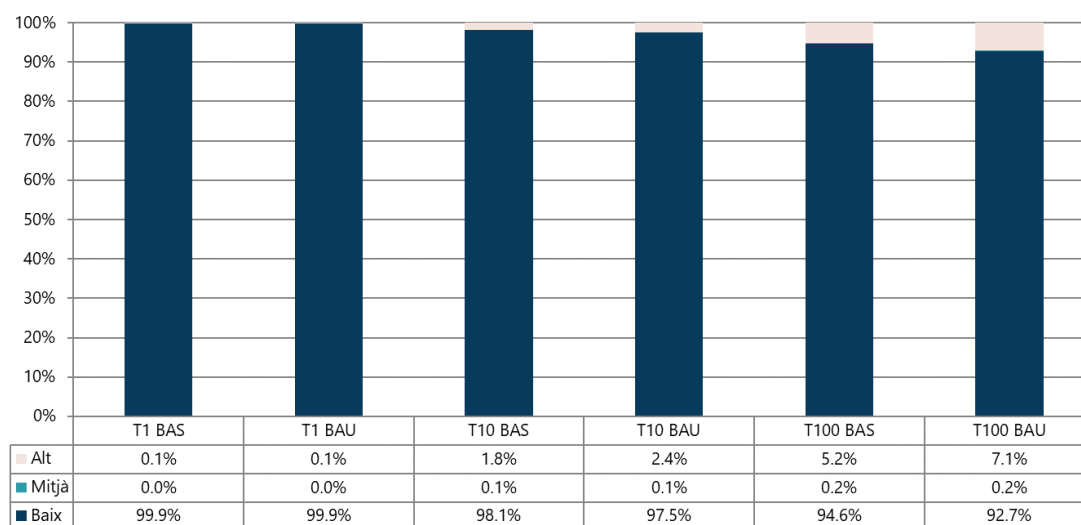
Els mapes de perillositat següents mostren la probabilitat que un vehicle sigui arrossegat pel flux d'aigua en superfície:

Mapa 9. Zones de perillositat alta per a vehicles per a l'escenari futur amb els períodes de retorn T1, T10 i T100 simulats



Un altre cop, les zones de perillositat alta a la T1 són irrelevantes. Respecte a la T10, les zones d'alta perillositat són les mateixes que en el cas del perill per a vianants, però aquí s'estenen al llarg d'un nombre de carrers inferior a l'anterior, que suposen, en la situació actual, una superfície de 110 ha (1,8% del total), i en l'escenari futur 148 ha (2,4%), que implica un increment del 34%.

Figura 7. Superfície total (en %) de nivells de perillositat per a vehicles en els escenaris actual i futur per als períodes de retorn més significatius.



En el cas de la T100, es reproduïx la tendència dels resultats del perill per als vianants, amb un increment en l'escenari actual de fins a 318 ha (5,2%) i en l'escenari futur, de fins a 433 ha (7,1%), de manera que l'increment es torna a situar en el 35% aproximadament.

Per tant, una vegada analitzats els resultats de les zones de perill per a vianants i per a vehicles, es pot concloure que:

- Hi ha un comportament anàleg entre el perill per a vianants i el perill per a vehicles.
- Les zones de perill de nivell mitjà són irrelevantes en tots els períodes de retorn.
- La superfície total de perillositat alta per als vianants és el doble de gran que la de perillositat alta per als vehicles, la qual cosa posa de manifest que l'estabilitat dels vianants és menor que la dels vehicles, que tenen més capacitat de resistència al lliscament.
- Les zones de perillositat alta són irrelevantes en T1, fins i tot en l'escenari futur. Això és degut al fet que el sistema de clavegueram de la ciutat està dissenyat per a un període de disseny de T10, per tant, a T1 no s'aprecia un impacte pel canvi climàtic provocat per l'increment de la pluja de disseny, ja que el sistema té capacitat per absorbir-lo sense cap problema.

- A partir de la T10 sí que es veu un increment de perillositat proporcional en tots els períodes de retorn de l'ordre del 30-35%.

El pas següent defineix la **vulnerabilitat** de les persones considerades en risc en aquest estudi. S'estableixen diferents nivells de vulnerabilitat segons l'exposició de la gent (densitat de persones) i les seves característiques físiques (sensibilitat) tenint en compte indicadors com el percentatge de persones en edat crítica, la densitat de població o el percentatge de persones foranes. D'altra banda, també es va considerar, en la valoració de la vulnerabilitat, la presència d'infraestructures vulnerables com ara escoles, hospitals o casals de gent gran. A la figura 8 es mostren els criteris de vulnerabilitat per a vianants exposats a inundacions urbanes:

Figura 8. Criteris de vulnerabilitat per a vianants exposats a inundacions urbanes.

VULNERABILITY FOR PEDESTRIANS IN CENSAL AREAS FOR BARCELONA CITY				
Vulnerability index / score	A. Population density (person/km ²)	B. % areas of infrastructures vulnerability	C. % of people with critical age	D. % of foreign people
1 (low)	≤ 384,62	0%	≤ 25%	≤ 10%
2 (medium)	384,62 < X ≤ 15,747	0% < X ≤ 15%	25% < X ≤ 33%	10% < X ≤ 25%
3 (high)	> 15,747	> 15%	> 33%	> 25%

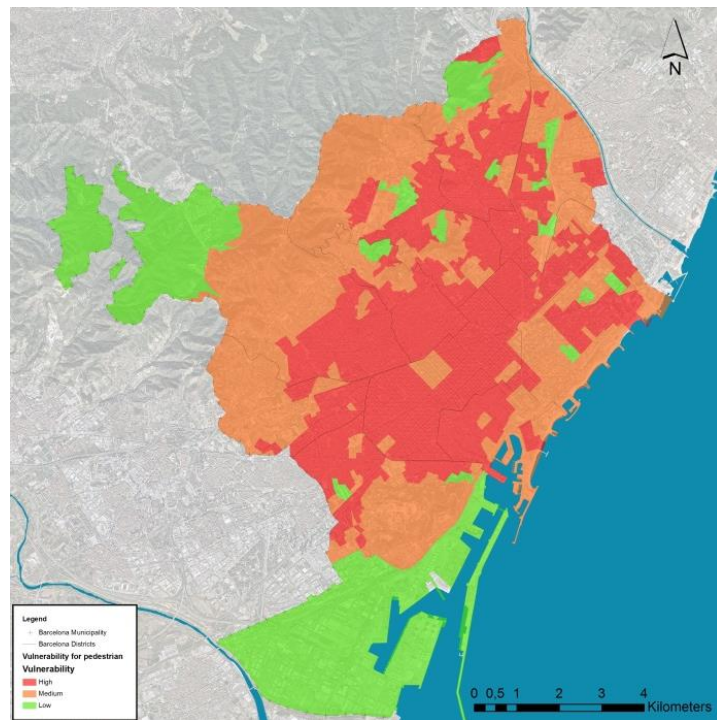
A més, l'estabilitat dels vehicles pot comprometre la seguretat de les persones, de manera que s'analitza el flux de trànsit (indicador d'exposició) per definir els nivells de vulnerabilitat de cada carretera. A la figura 9 es mostren els criteris de vulnerabilitat per a vehicles exposats a inundacions urbanes:

Figura 9. Criteris de vulnerabilitat per a vehicles exposats a inundacions urbanes.

VULNERABILITY FOR VEHICLES	
Vulnerability index / score	Vehicular flow intensity (VFI) (veh/day)
1 (low)	< 5,000
2 (medium)	5,000 ≤ X ≤ 10,000
3 (high)	> 10,000

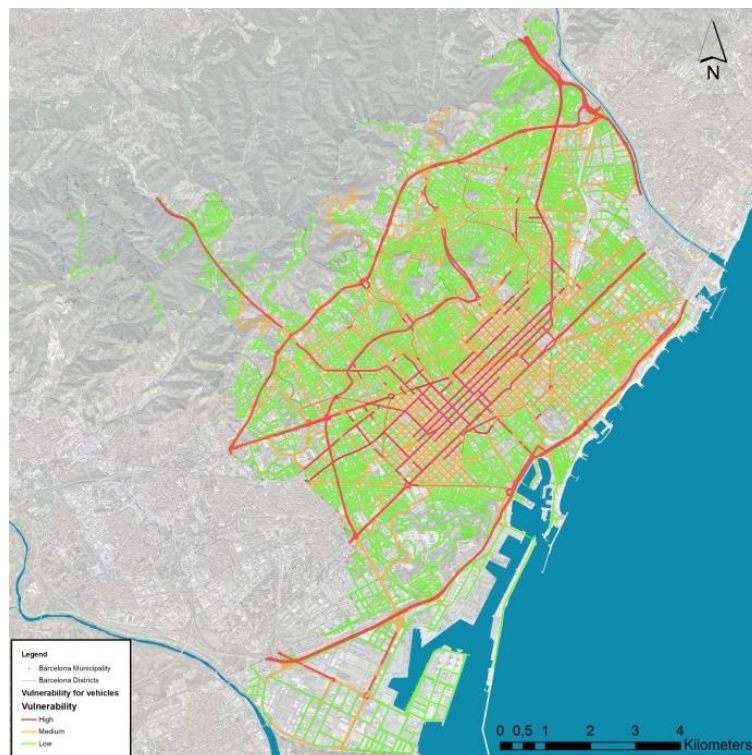
Els mapes de vulnerabilitat representen la vulnerabilitat dels vianants o dels vehicles quan s'exposen a inundacions pluvials en zones concretes de la ciutat i estableixen tres nivells qualitatius: baix, mitjà i alt.

Mapa 10. Mapa de vulnerabilitat per a vianants.



Respecte al mapa de vulnerabilitat per a vianants, el pes més gran atorgat a la densitat de població (50%) provoca que les zones amb més vulnerabilitat per a vianants siguin pràcticament coincidents amb les zones dels barris amb més densitat de població.

Mapa 11. Mapa de vulnerabilitat per a vehicles



En relació amb el mapa de vulnerabilitat de vehicles, les vies principals amb més trànsit són al mateix temps les més vulnerables.

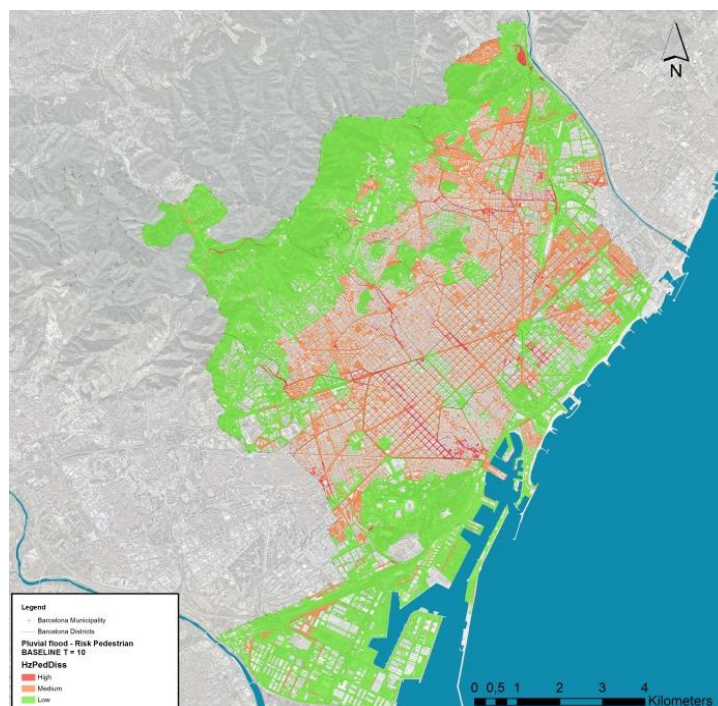
Un cop definits el perill i la vulnerabilitat, es desenvolupen els **mapes de risc**. El resultat d'aquest procés és un mapa qualitatiu que estableix tres nivells de risc en zones específiques de la ciutat, per a vianants o vehicles, a partir de la combinació del nivell de perill produït per la inundació pluvial i el nivell de vulnerabilitat. A la figura 10 es mostren els diferents nivells de risc com a resultat de la combinació de perill provocat per les inundacions i el nivell de vulnerabilitat:

Figura 10. Nivells de risc.

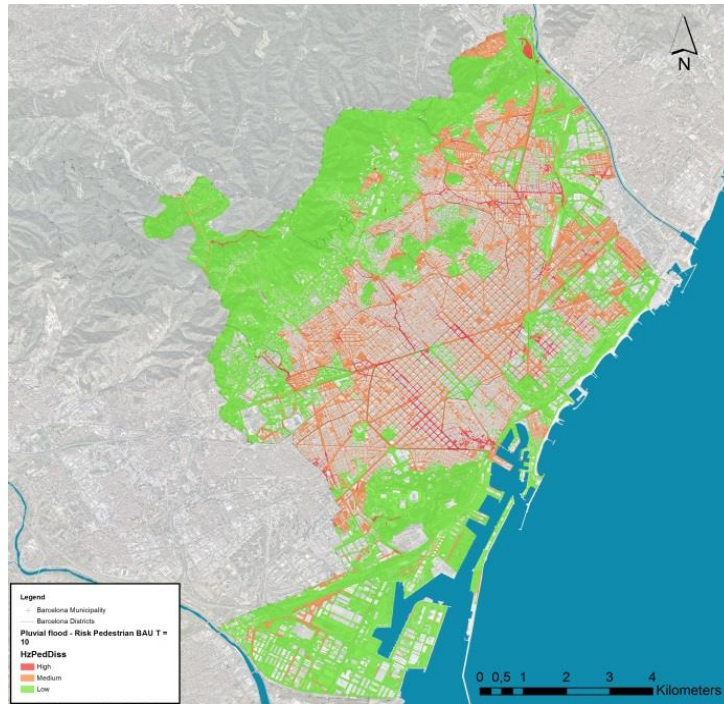
		Hazard		
		Low	Medium	High
Vulnerability	Low	Low	Low	Medium
	Medium	Low	Medium	High
	High	Medium	High	High

A continuació, es mostren els diferents mapes de risc per a vianants i vehicles en als escenaris actual i de canvi climàtic per als períodes de retorn T10 i T100:

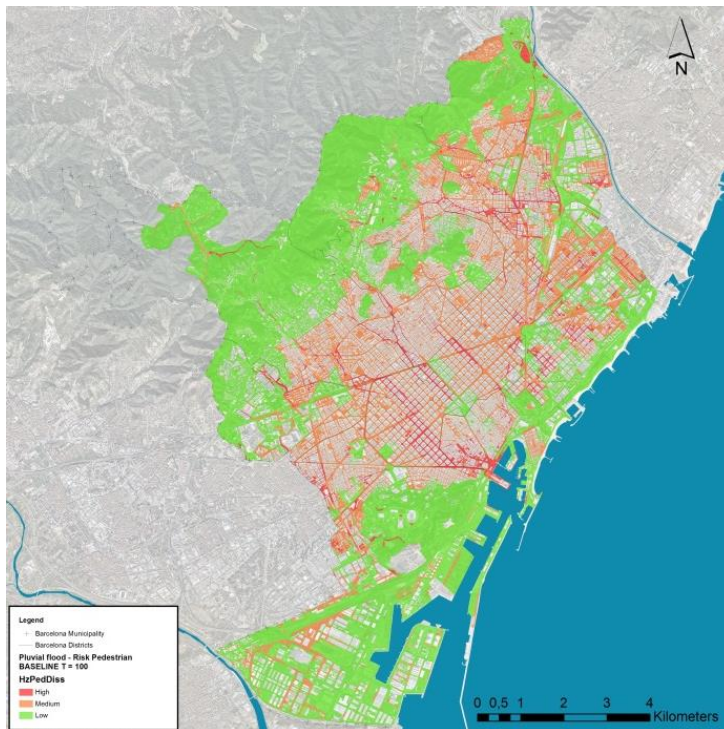
Mapa 12. Mapa de risc per a vianants en l'escenari actual amb període de retorn T10.



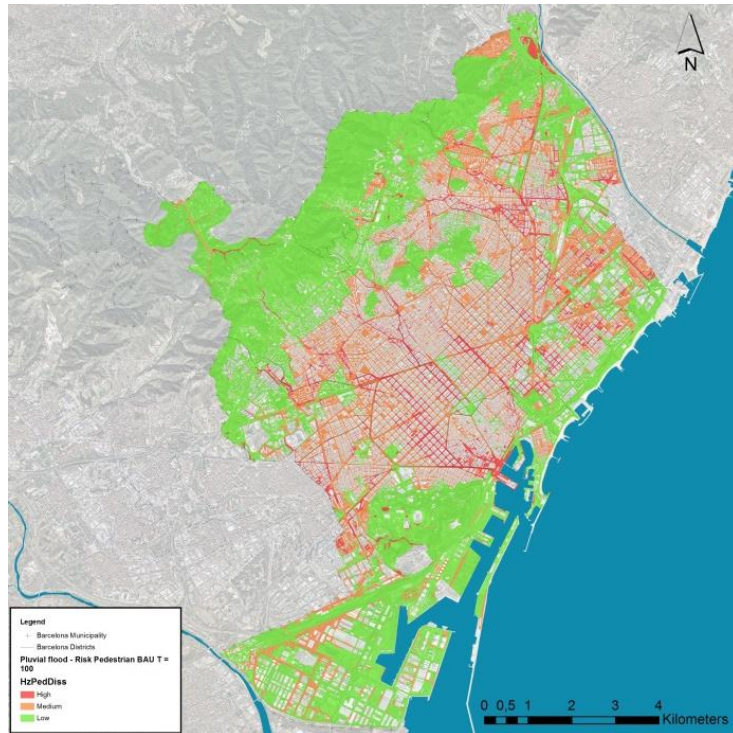
Mapa 13. Mapa de risc per a vianants en l'escenari futur amb període de retorn T10.



Mapa 14. Mapa de risc per a vianants en l'escenari actual amb període de retorn T100.

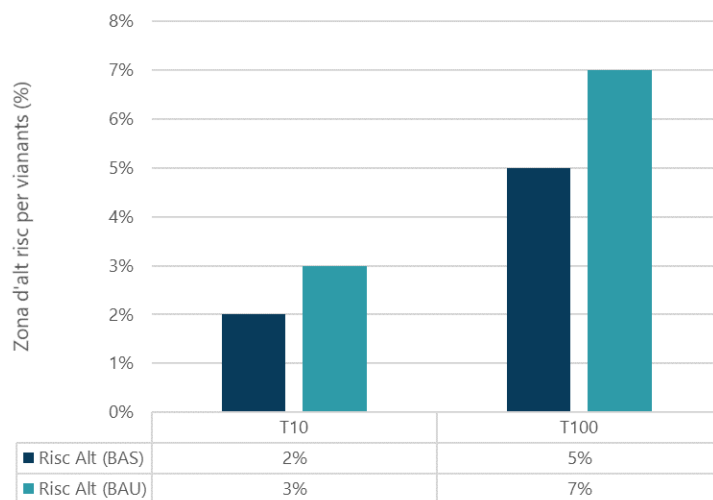


Mapa 15. Mapa de risc per a vianants en l'escenari futur amb període de retorn T100.



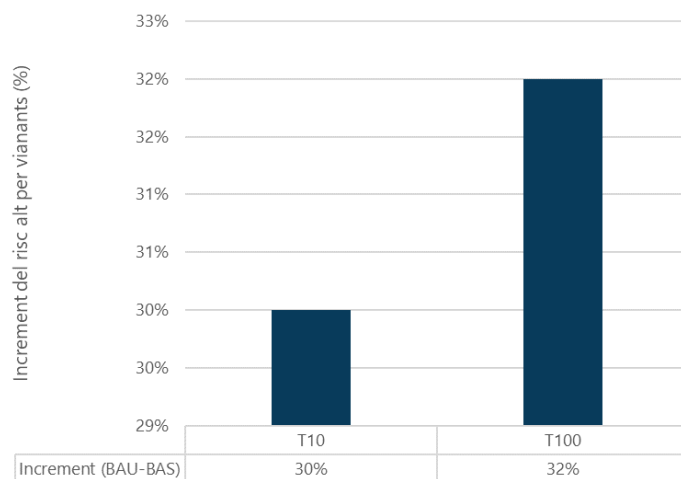
En general, i tenint en consideració les conclusions exposades als mapes de perill, els resultats de les zones d'alt risc de tota la ciutat es presenten resumits a la figura següent:

Figura 11. Àrees (en %) d'alt risc per a vianants en els escenaris actual i futur per als períodes de retorn més significatius.



A més, amb l'objectiu de ressaltar l'efecte del canvi climàtic en termes d'increment d'àrees d'alt risc a Barcelona, es presenta la variació d'àrees de risc per als vianants.

Figura 12. Increment d'àrea (en %) d'alt risc per a vianants previst pel canvi climàtic per als períodes de retorn més significatius.



En el gràfic anterior es pot observar que l'increment de la intensitat màxima de les precipitacions torrencials a causa dels efectes del canvi climàtic provoca un augment del risc per als vianants de l'ordre del 30%.

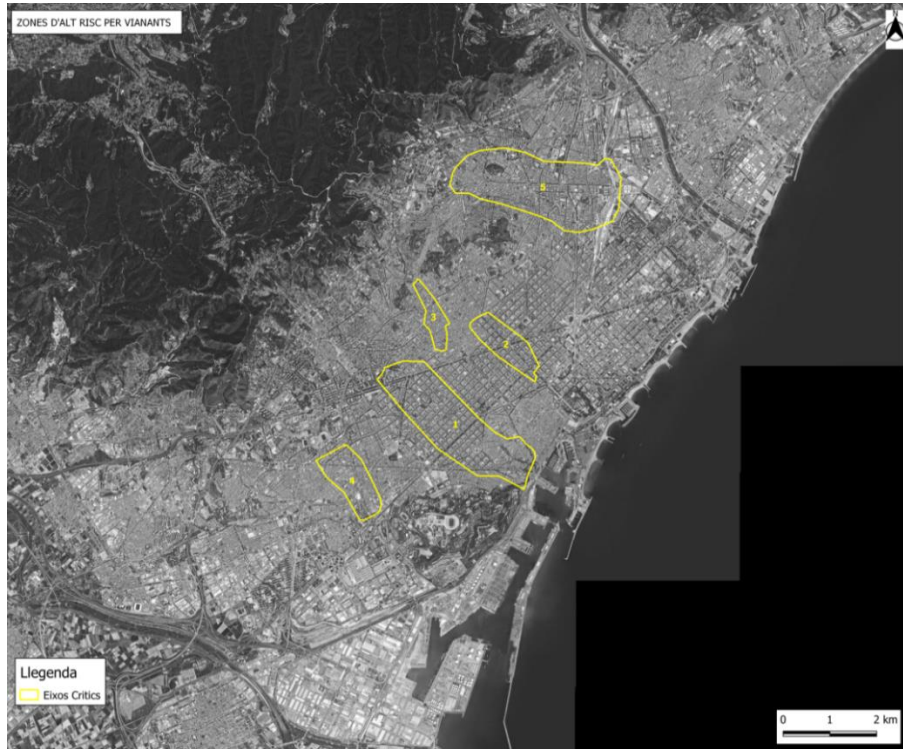
A més, els mapes de risc anteriors permeten definir les zones més problemàtiques de la ciutat per als vianants segons les seves àrees de risc alt, tant en la situació actual com per a la situació futura, i es pot comprovar l'efecte del canvi climàtic sobre l'increment del risc.

En primer lloc, s'identifiquen les zones amb més concentració d'àrees en risc alt, que són pràcticament coincidents amb els punts crítics més importants de la ciutat a causa del mal funcionament de la xarxa, a excepció d'aquells indrets on la densitat de població és baixa (i, per tant, no són zones d'alta vulnerabilitat). Per facilitar-ne la comprensió s'han classificat en eixos:

- Eix 1: el format a l'Esquerra de l'Eixample, barri de Sant Antoni i el Raval, que comença a la zona de Diagonal - pl. Francesc Macià, continuant per Villarroel - Casanova - av. Roma - Comte d'Urgell - Comte Borrell fins a acabar als voltants del carrer de Sant Pau: zona de la Ronda i carrer de Sant Pau, Sant Antoni Abat, Paral·lel, rambla del Raval i avinguda de les Drassanes.
- Eix 2: Passeig de Sant Joan - Bailèn - av. Diagonal.
- Eix 3: Vallcarca - Riera de Cassoles - via Augusta.
- Eix 4: Zona compresa entre la rambla de Badal i Riera Blanca, des de Munné - carrer de Sants, Bacardí, Parcerisa a l'altura de Constitució fins al carrer de Quetzal.

- Eix 5: Zona de Sant Andreu començant a Nou Barris i fins a la platja de vies de la Sagrera. Eix entre el carrer d'Alella i les rambles de Fabra i Puig i Onze de Setembre, i eix Tajo - Cartellà - Riera d'Horta.

Mapa 16. Eixos crítics més importants de la ciutat



En les figures següents es mostren les àrees d'alt risc per als vianants i el seu increment, classificades segons aquests eixos.

Figura 13. Àrees (en ha) d'alt risc per a vianants en els escenaris actual i futur per als períodes de retorn més significatius als eixos amb una concentració més alta d'àrees en risc alt.

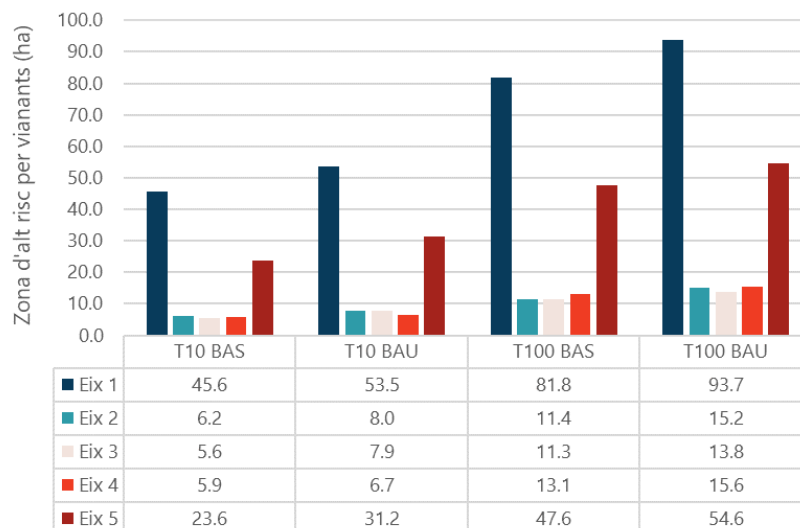
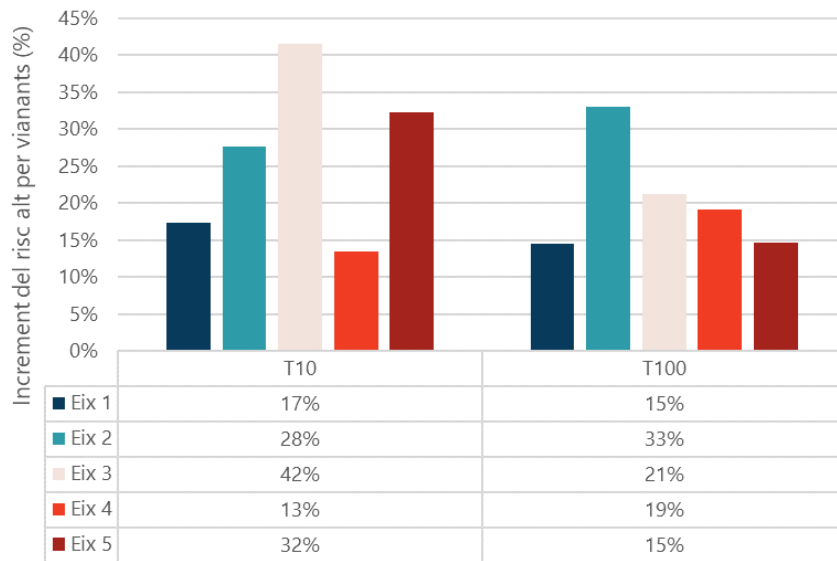


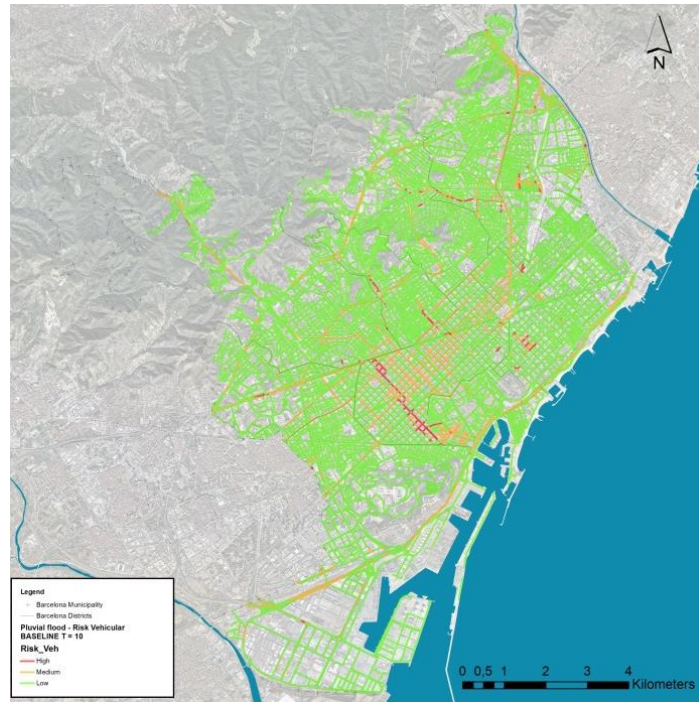
Figura 14. Àrees (en ha) d'alt risc per a vianants en els escenaris actual i futur per als períodes de retorn més significatius als eixos amb una concentració més alta d'àrees en risc alt.



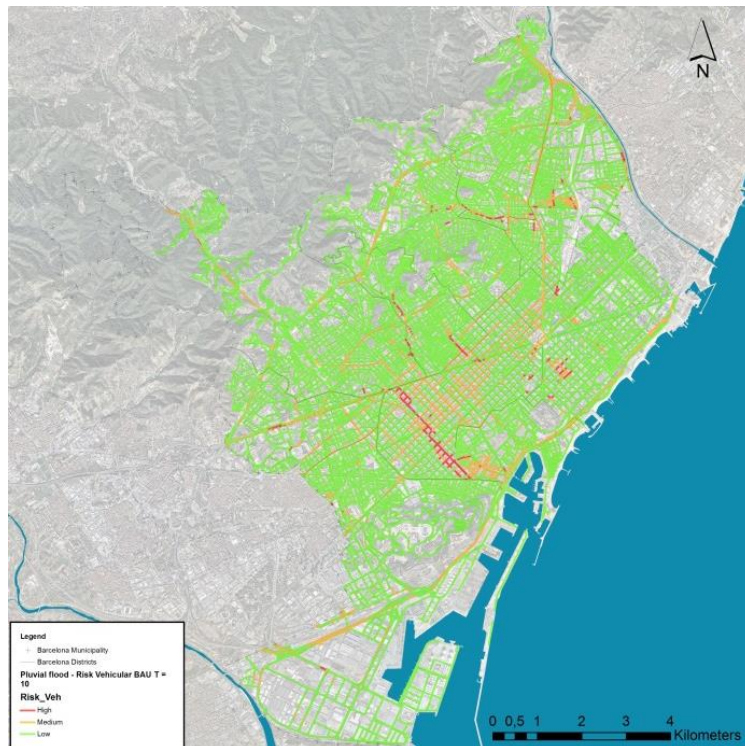
Els resultats mostren que per a un període de retorn de 10 anys, el canvi climàtic pot produir un increment mitjà de les àrees de risc alt del 15% en els eixos 1 i 4, del 30% en els eixos 2 i 5 i fins d'un 42% en l'eix 3.

Respecte a les zones de risc alt per a vehicles, els resultats segueixen la tendència dels obtinguts per avaluar la perillositat per als vehicles i el risc per als vianants, i, per tant, són vàlides les conclusions i consideracions especificades anteriorment.

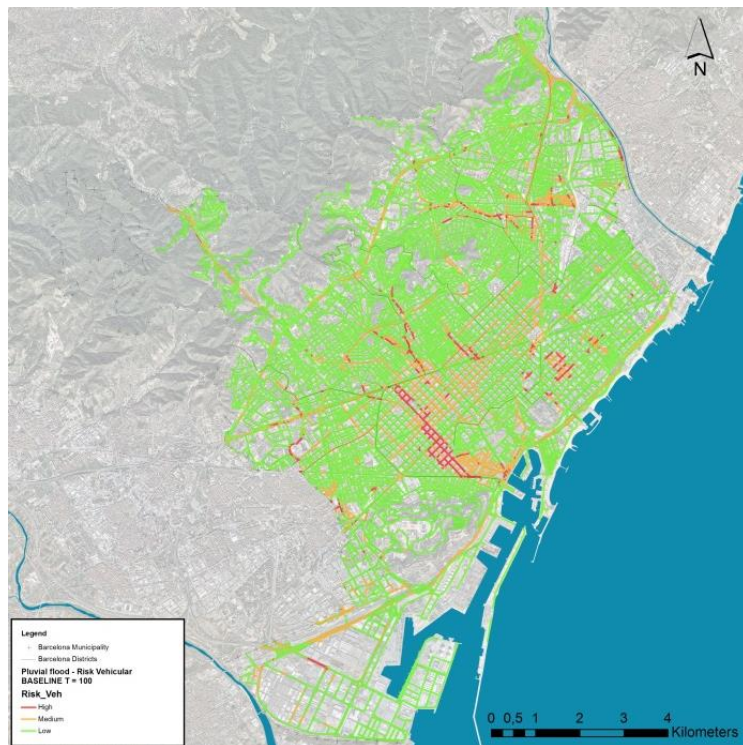
Mapa 17. Risc per a vehicles en l'escenari actual amb període de retorn T10.



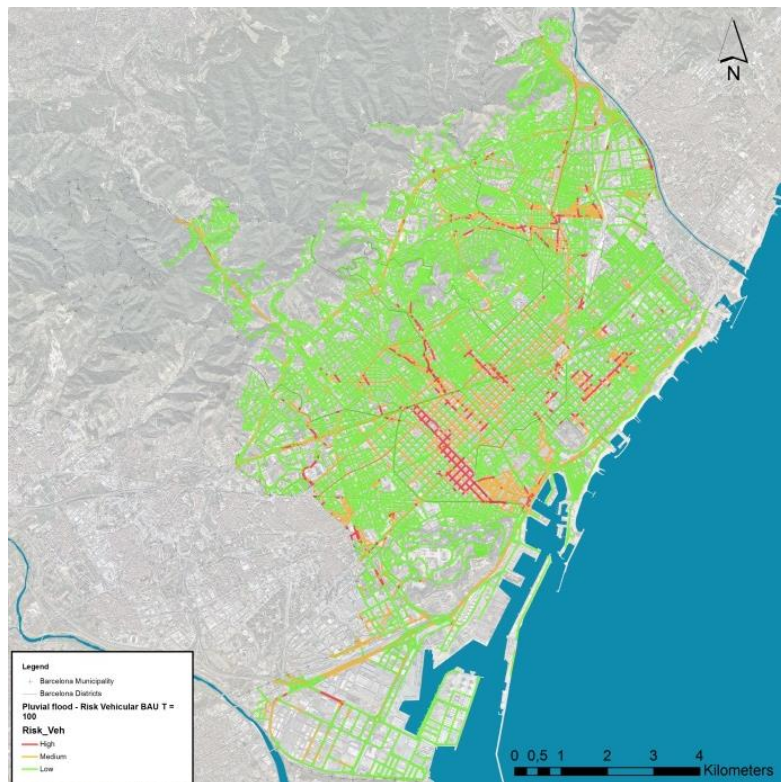
Mapa 18. Risc per a vehicles en l'escenari futur amb període de retorn T10.



Mapa 19. Risc per a vehicles en l'escenari actual amb període de retorn T100.



Mapa 20. Risc per a vehicles en l'escenari futur amb període de retorn T100.



Cal destacar que els resultats mostren que algunes àrees classificades de perillositat alta d'inundabilitat tenen un risc reduït per a vehicles comparat amb el risc per als vianants. Malgrat això, els resultats mostren que el canvi climàtic pot produir un increment del risc alt de prop del 35% (Figura 13).

Figura 15. Àrees (en %) d'alt risc per a vehicles en els escenaris actual i futur per als períodes de retorn més significatius.

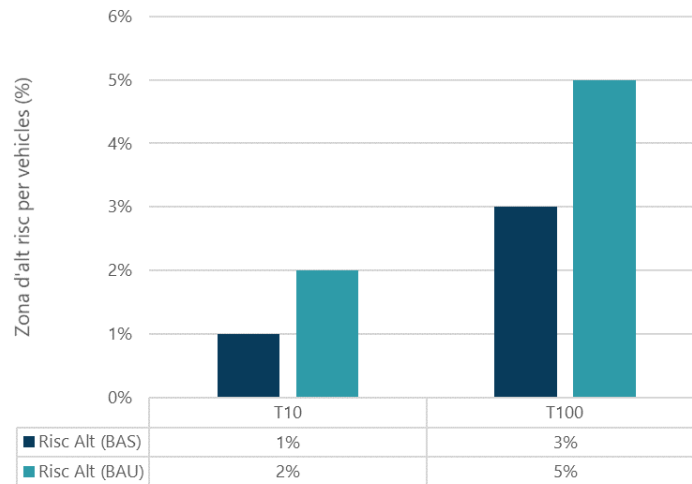
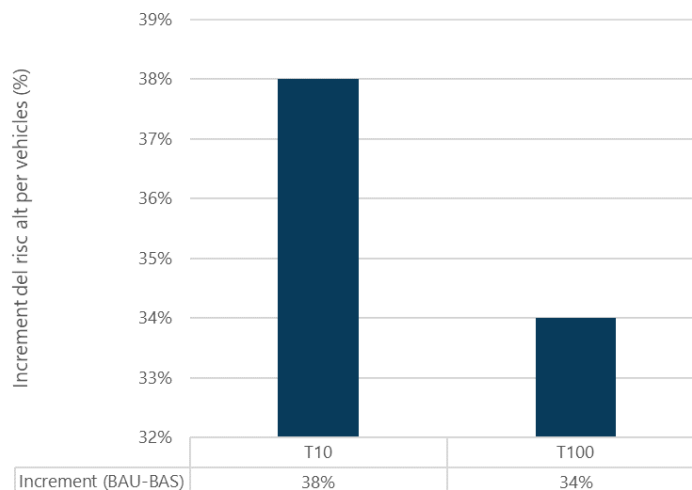


Figura 16. Increment d'àrea (en %) d'alt risc per a vehicles previst pel canvi climàtic per als períodes de retorn més significatius.

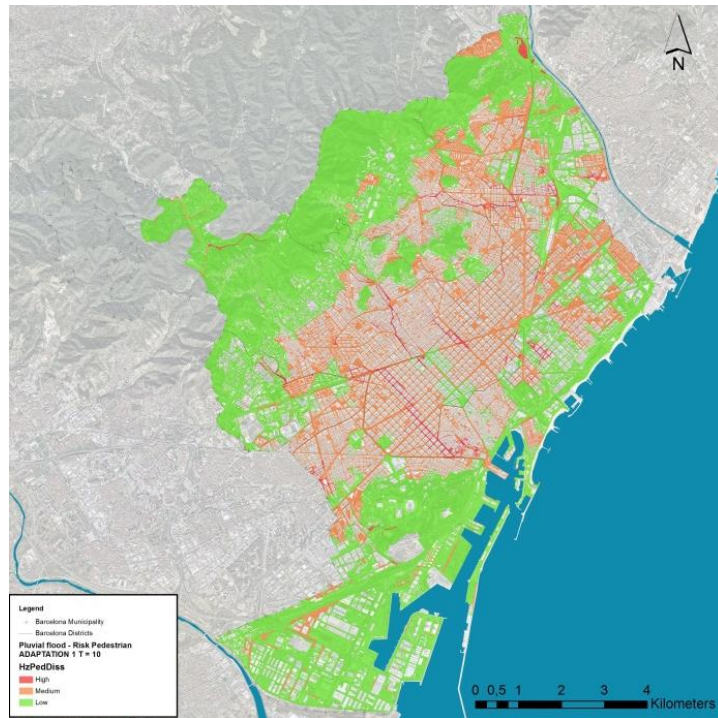


Un cop avaluat l'increment de les zones d'alt risc tant per a vianants com per a vehicles, el projecte passa a avaluar la introducció de millores a la xarxa de clavegueram. Aquestes millores s'han diferenciat en dos escenaris d'adaptació: el primer preveu la instal·lació de SUDS (sistemes

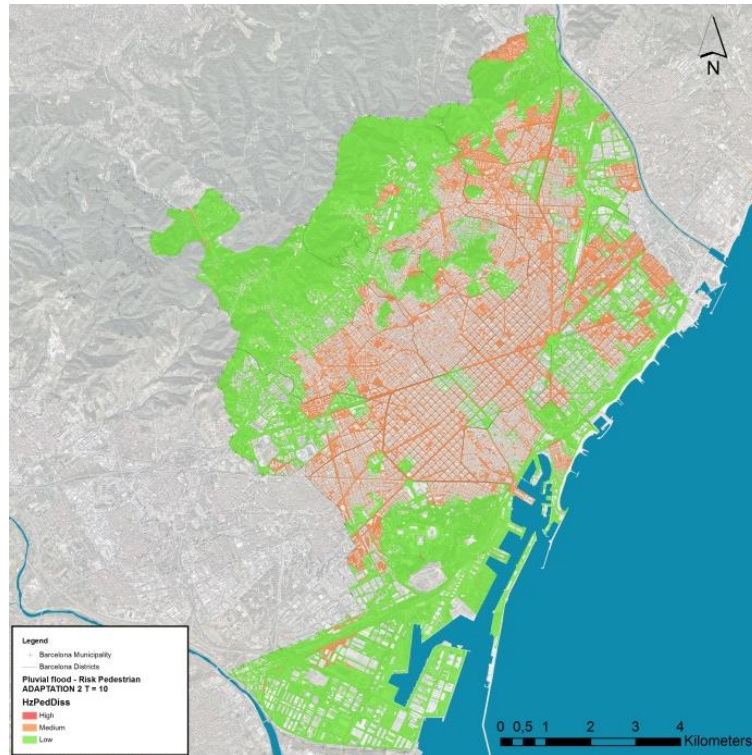
de drenatge sostenible) a la ciutat —escenari Adapt. 1— i el segon preveu la introducció de millores estructurals a la xarxa de clavegueram (millora de les canonades, implementació de tancs de retenció d'aigües pluvials) juntament amb els SUDS —escenari Adapt. 2—.

A continuació es mostren els mapes de risc per a vianants i vehicles resultants de la simulació dels models un cop introduïts els escenaris d'adaptació 1 i 2:

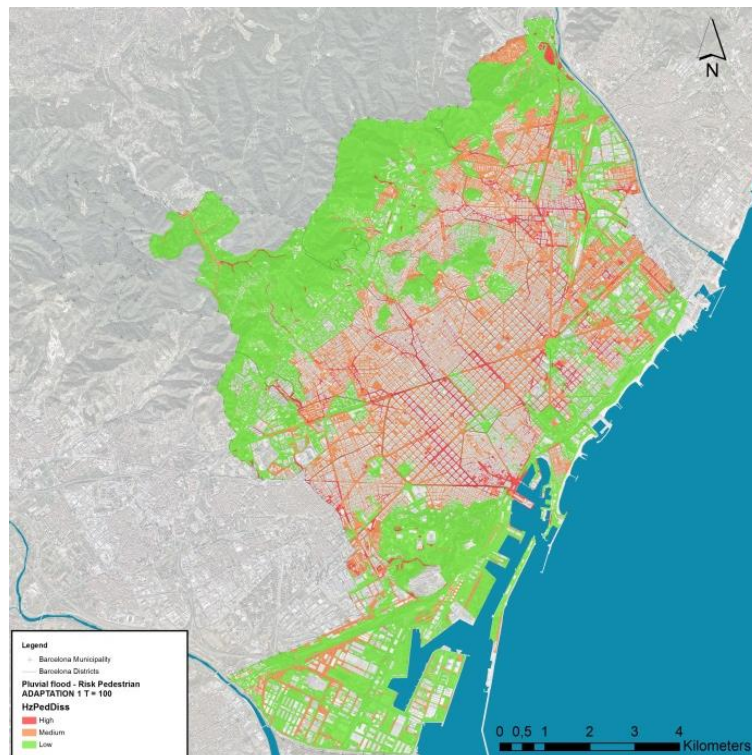
Mapa 21. Risc per a vianants en l'escenari d'adaptació 1 amb període de retorn T10.



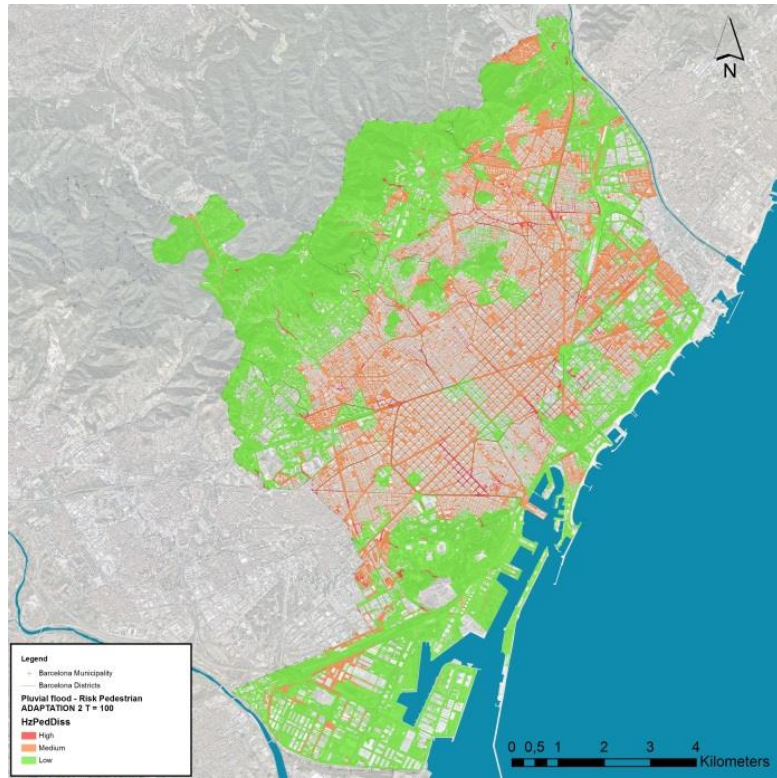
Mapa 22. Risc per a vianants en l'escenari d'adaptació 2 amb període de retorn T10.



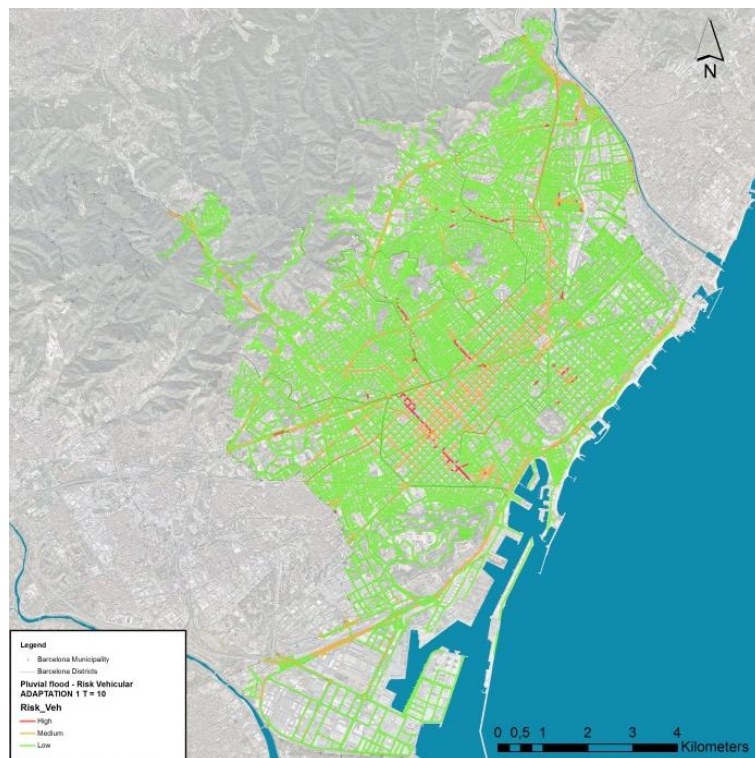
Mapa 23. Risc per a vianants en l'escenari d'adaptació 1 amb període de retorn T100.



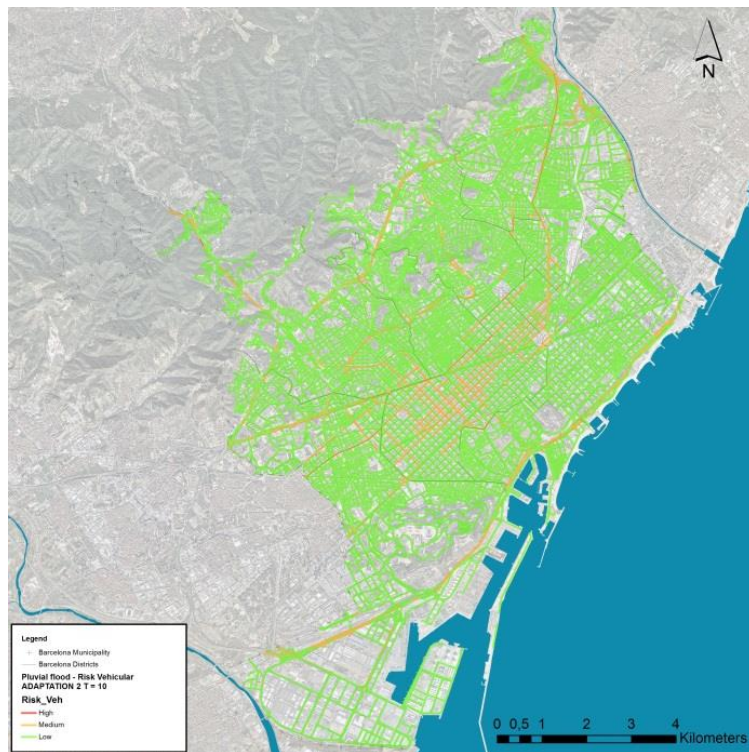
Mapa 24. Risc per a vianants en l'escenari d'adaptació 2 amb període de retorn T100.



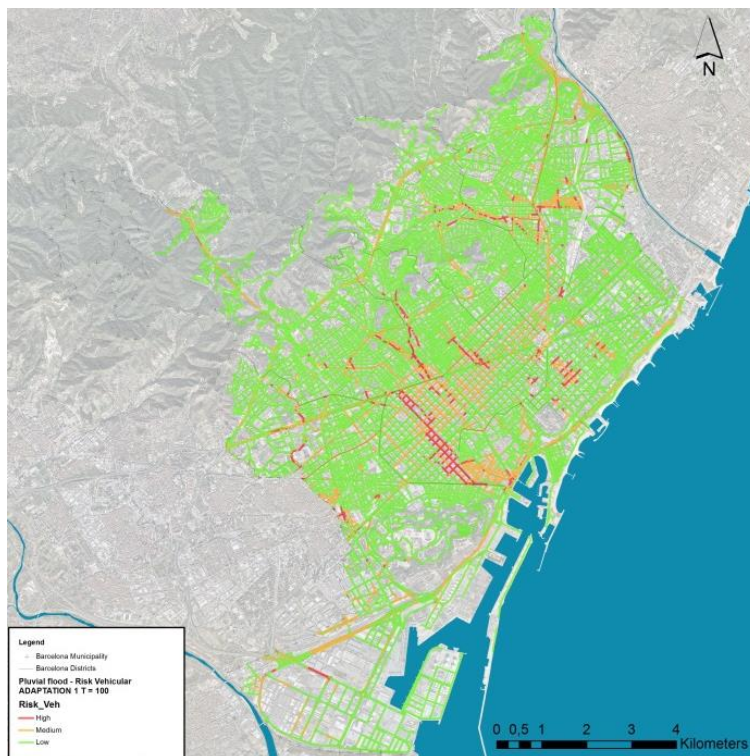
Mapa 25. Risc per vehicles en l'escenari d'adaptació 1 amb període de retorn T10.



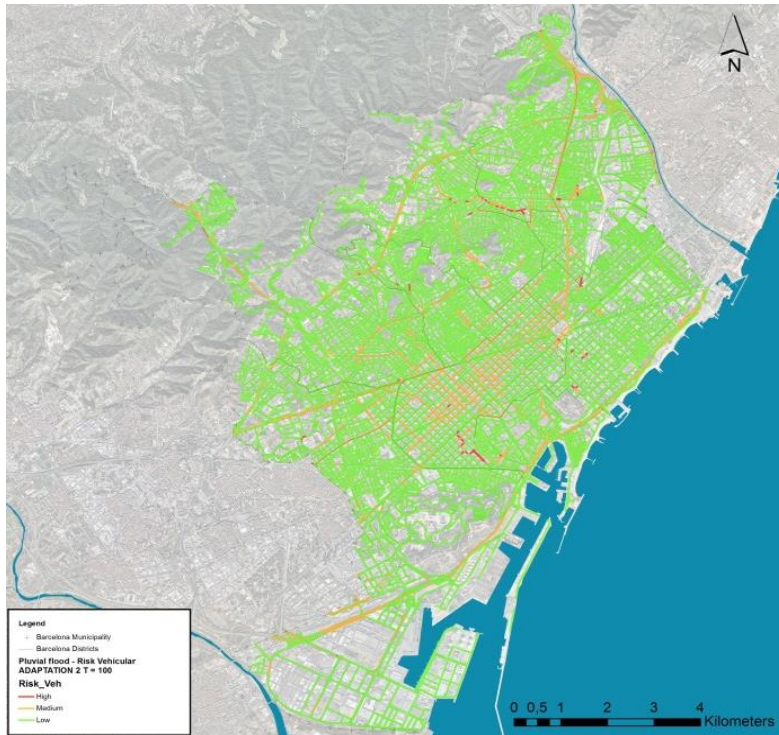
Mapa 26. Risc per a vehicles en l'escenari d'adaptació 2 amb període de retorn T10



Mapa 27. Risc per a vehicles en l'escenari d'adaptació 1 amb període de retorn T100.



Mapa 28. Risc per a vehicles en l'escenari d'adaptació 2 amb període de retorn T100.



Si es compara l'escenari de futur, és a dir, l'estat actual de la ciutat afectat per les futures condicions de pluja degudes al canvi climàtic, amb els diferents escenaris d'adaptació, es pot obtenir la reducció del risc com a reducció del percentatge d'àrea amb risc alt d'inundació.

Les figures següents indiquen la reducció del risc obtinguda per als vianants i vehicles, respectivament:

Figura 17. Decrement d'àrea (en %) d'alt risc per a vianants com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2 per als períodes de retorn més significatius.

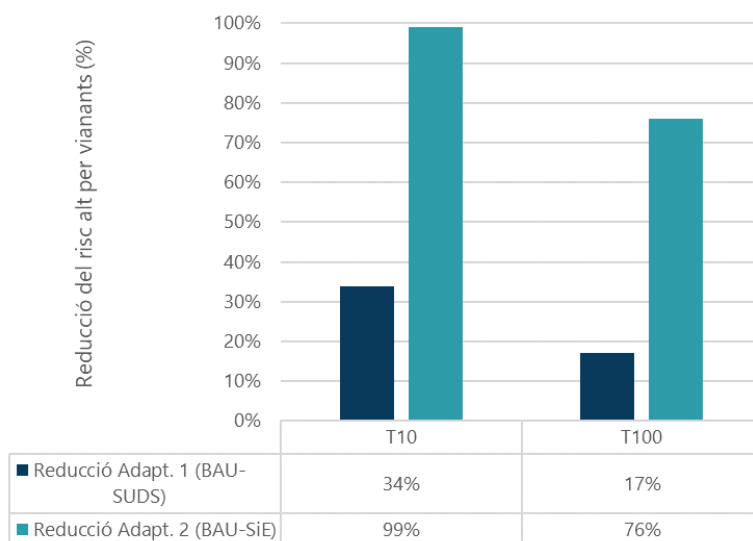
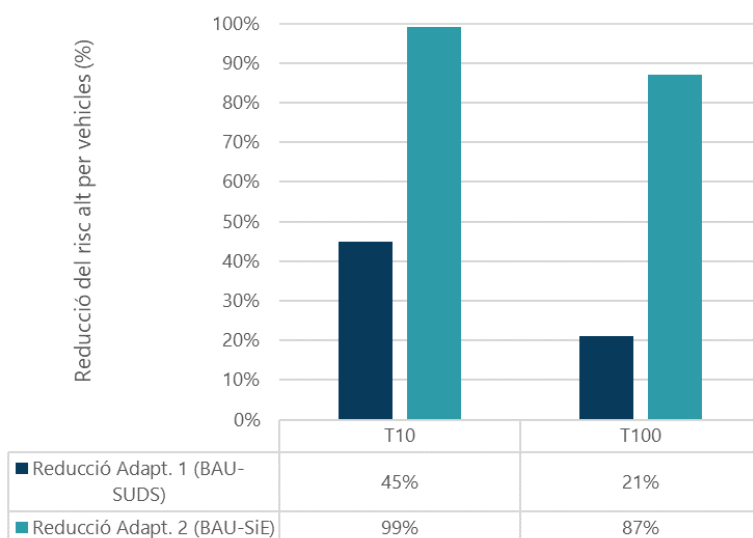


Figura 18. Decrement d'àrea (en %) d'alt risc per a vehicles com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2 per als períodes de retorn més significatius.



Com es pot observar, es preveu que els sistemes urbans de drenatge sostenible (SUDS) implementats a tota la ciutat redueixin prop del 40% els dos riscos quan es tracti de precipitacions amb un període de retorn de 10 anys, tot i que es calcula que per a períodes de retorn superiors, les reduccions del risc siguin del 20% o inferiors.

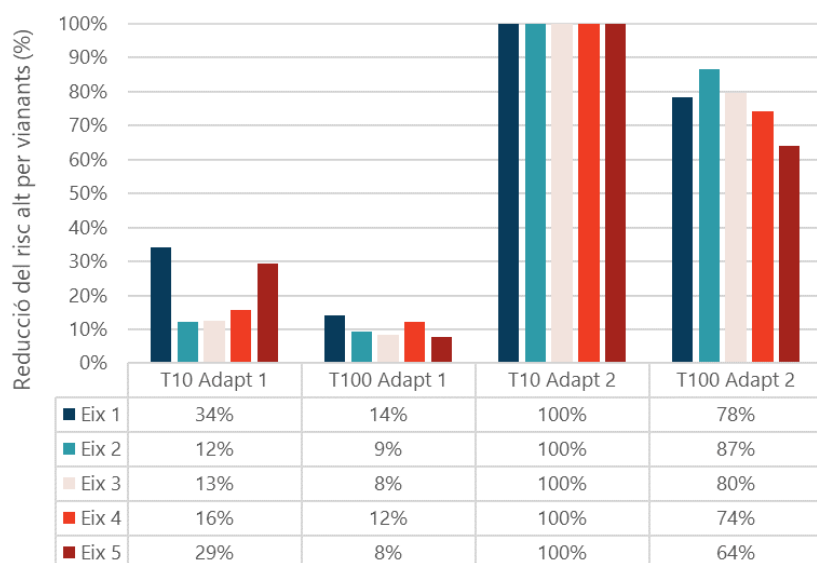
D'altra banda, la implementació conjunta tant de SUDS com de mesures estructurals condueixen a la reducció pràcticament del 100% dels dos riscos per a tempestes de disseny de 10 anys de

període de retorn. Aquesta xifra es redueix a mesura que augmenta el període de retorn, de manera que s'obté una reducció de prop d'un 80% per al període de retorn de 100 anys.

S'ha de remarcar que l'escenari d'adaptació 2 preveu la proposta d'actuacions per a la xarxa primària de la ciutat i considera la xarxa secundària amb prou capacitat.

A més, s'ha fet una anàlisi detallada sobre la reducció del risc per als vianants (cas més desfavorable) als eixos amb una concentració més elevada d'àrees en risc alt.

Figura 19. Decrement d'àrea (en %) d'alt risc per a vianants com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2 per als períodes de retorn més significatius als eixos amb una concentració més elevada d'àrees en risc alt.



Tot i que s'observa un comportament similar en termes de reducció de risc per als vianants a escala de ciutat, s'identifiquen algunes diferències entre eixos.

Els eixos 1, a l'Esquerra de l'Eixample, barri de Sant Antoni i el Raval, i 5, a la zona de Sant Andreu - Nou Barris, són els que més es beneficien a l'hora d'implementar SUDS en reduir el seu risc per als vianants en prop d'un 30% per les precipitacions més freqüents (període de retorn de 10 anys). Per contra, els eixos 2, a passeig de Sant Joan, i 3, a Riera de Cassoles, són els que menys es beneficien de la implementació de les actuacions amb només un 12-13% de reducció de risc per als vianants. Cal recalcar que els eixos 1 i 5 són els més grans i, per tant, els que tenen més àrea de risc alt (Figura 16) i que, en conseqüència, són els que es beneficien d'una reducció del risc més elevada.

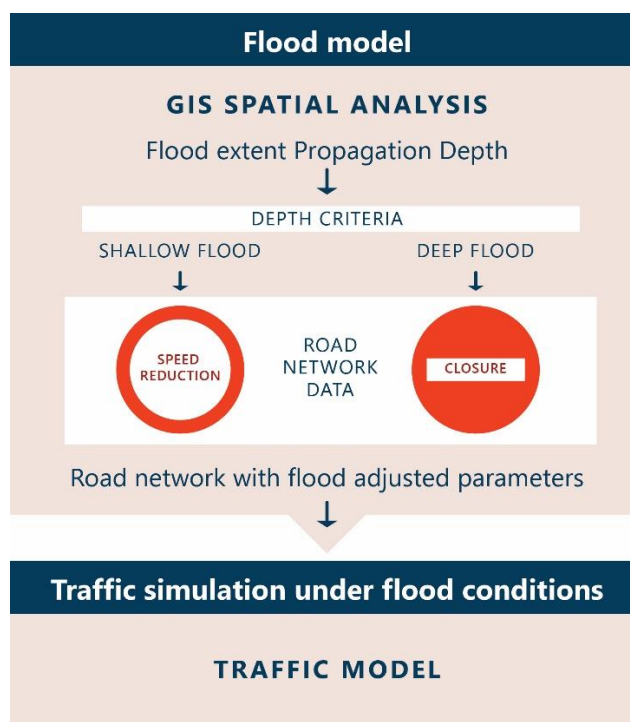
No obstant això, el desplegament del segon escenari d'adaptació implica una reducció de risc total per a tots els eixos quan es tracta de tempestes de disseny a 10 anys.

3.3 Afectació al trànsit

Quan es produeix una inundació urbana, l'escorrentia superficial podria suposar danys indirectes per interrupció del trànsit. Al projecte RESCCUE s'ha avaluat la reducció de les velocitats de desplaçament permeses a través dels diferents transsectes en relació amb les profunditats de flux d'aigua present. Aquesta classe d'anàlisi va permetre avaluar el perill d'inundació en el sector del transport de superfície. A més, els resultats de la modelització s'han utilitzat per alimentar el model de transport dinàmic Transcad, que utilitza la Direcció de Mobilitat de l'Ajuntament de Barcelona per estimar els impactes produïts per les inundacions urbanes pluvials sobre el servei de trànsit.

El model hidrodinàmic proporciona una profunditat d'inundació a la superfície per a cada cel·la del domini. Aquestes profunditats d'inundació s'utilitzen per elaborar mapes de perill segons criteris específics de perillositat. La metodologia, desenvolupada per la Universitat d'Exeter, es mostra a la figura següent.

Figura 20. Metodologia desenvolupada per la Universitat d'Exeter per elaborar el model d'inundació-trànsit.

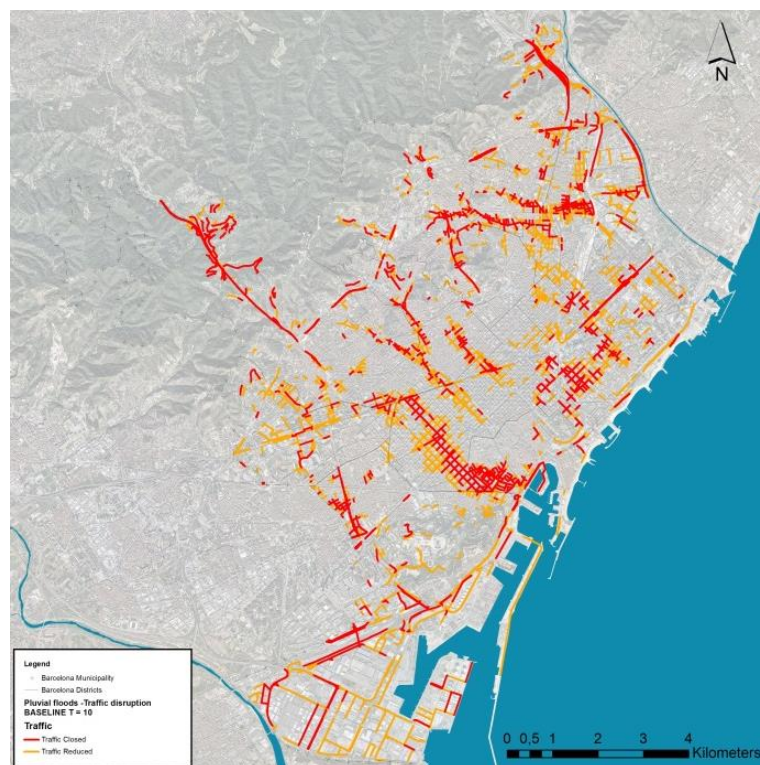


Per a l'avaluació del perill d'inundació a la infraestructura viària s'ha fet una anàlisi espacial en base GIS i s'han aplicat les regles sobre la reducció de la velocitat del trànsit que es mostren a la taula següent:

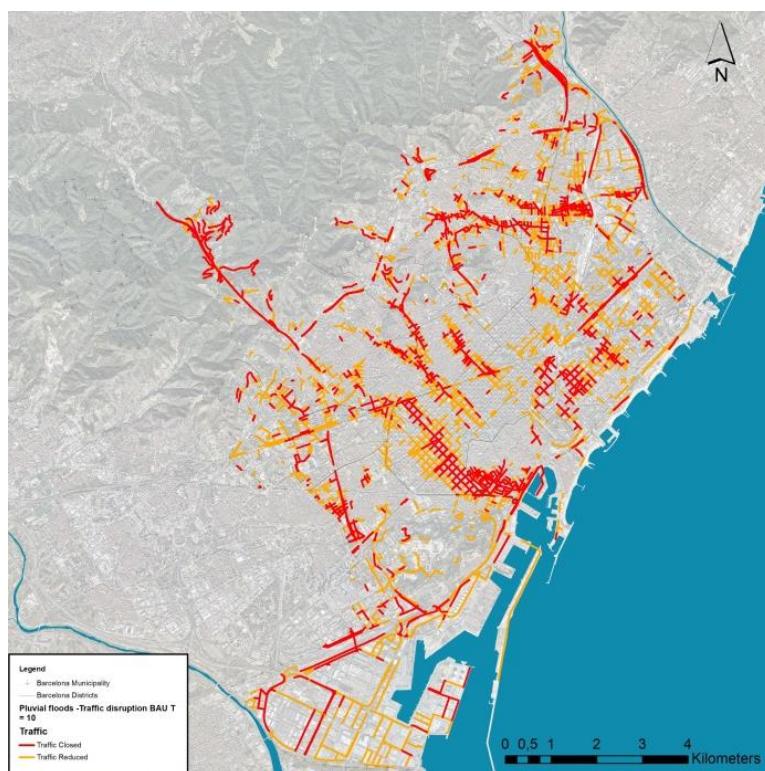
Flood Depth Range (cm)	Maximum Permitted Speed kmh ⁻¹
0,00 – 10,00	Roads maximum speed
10,00 – 30,00	20
30,00 +	0 (Road closed)

Segons la metodologia exposada, s'han elaborat mapes de risc qualitatiu classificant el perill en tres nivells (**baix, mitjà i alt**), per a l'escenari actual i per als escenaris de canvi climàtic obtinguts mitjançant tècniques estadístiques i de regressió temporal per a 20 sèries pluviomètriques futures proporcionades per 10 models de circulació atmosfèrica general, forçats per escenaris RCP 4.5 i 8.5, i prèviament validats per a un període de control històric (1976-2005). A continuació es mostren els mapes d'afectació al trànsit pel risc d'inundació en l'escenari actual i l'escenari futur, per als períodes de retorn T10 i T100:

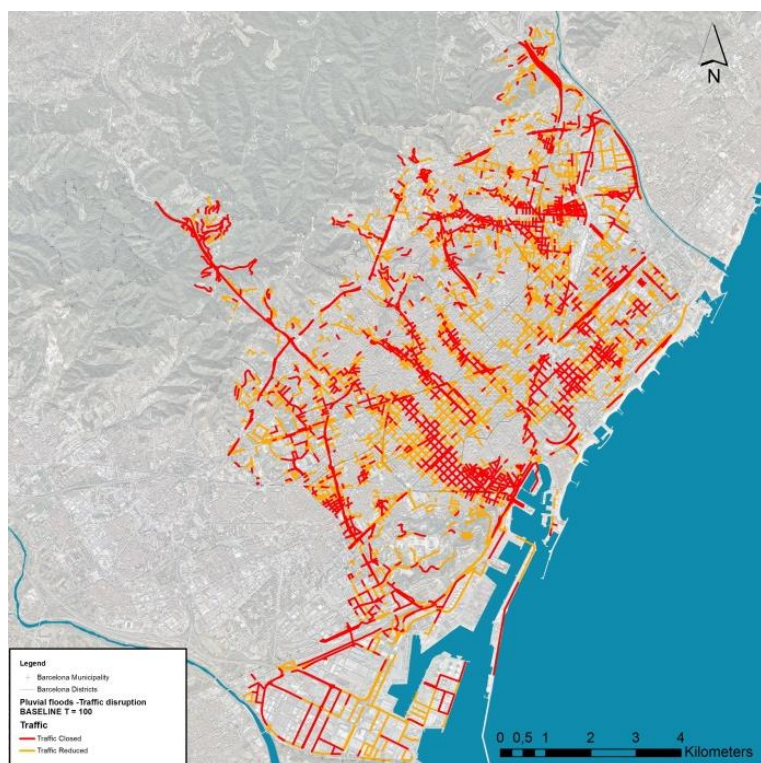
Mapa 29. *Afectació al trànsit de superfície per a l'escenari actual amb període de retorn T10.*



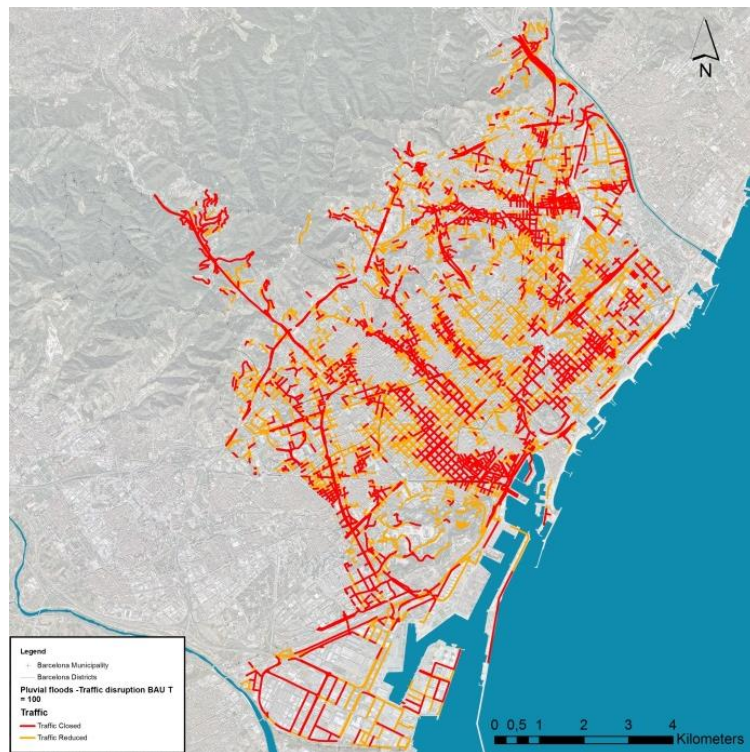
Mapa 30. Afectació al trànsit de superfície per a l'escenari futur amb període de retorn T10.



Mapa 31. Afectació al trànsit de superfície per a l'escenari actual amb període de retorn T100.

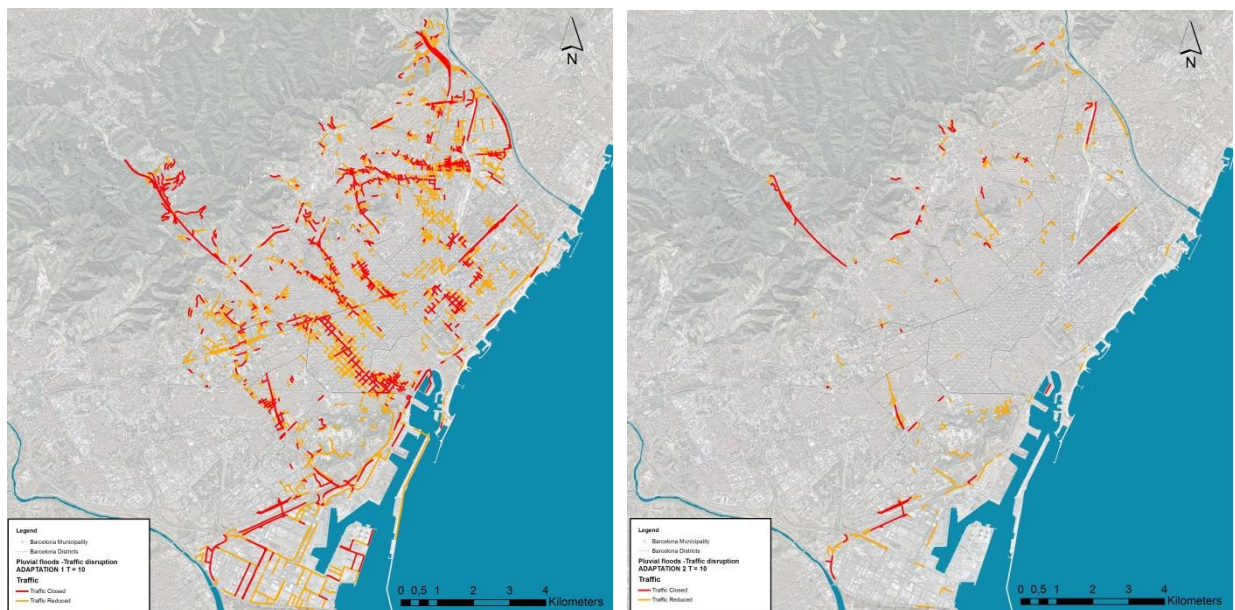


Mapa 32. Afectació al trànsit de superfície per a l'escenari futur amb període de retorn T100.

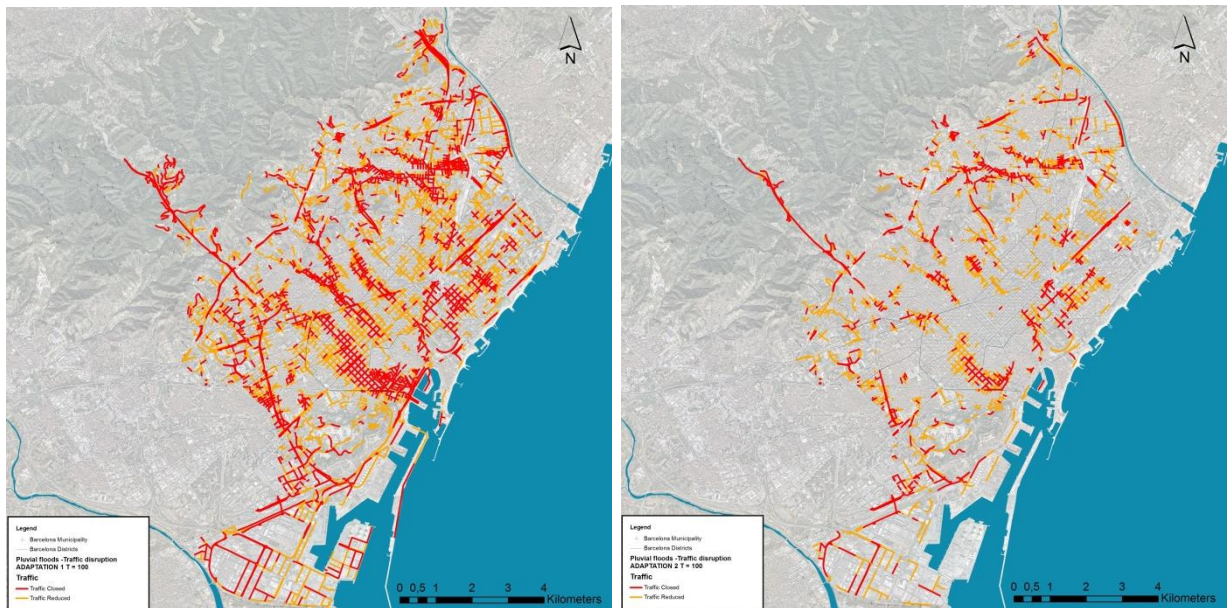


A continuació es mostren els mapes d'afectació al trànsit de superfície tenint en compte la incorporació de mesures d'adaptació a través dels escenaris d'adaptació 1 i 2:

Mapa 33. Mapes d'afectació al trànsit de superfície per a l'escenari d'adaptació 1 (esq.) i l'escenari d'adaptació 2 (dreta) amb període de retorn T10.



Mapa 34. Mapes d'afectació al trànsit de superfície per a l'escenari d'adaptació 1 (esq.) i l'escenari d'adaptació 2 (dreta) amb període de retorn T100.



El model de trànsit del Transcad inclou, entre altres paràmetres de trànsit, la informació de la velocitat màxima permesa en cada tram de carrer. A partir dels calats d'aigua calculats en el model hidrodinàmic 1D/2D a tots els escenaris i períodes de retorn estudiats, i tenint en consideració la taula anterior dels efectes del perill d'inundació en el trànsit, es modifiquen els límits de velocitat màxima permesa a cadascun dels trams de carrers inundats dins del model de trànsit i es torna a córrer el model amb aquestes noves condicions.

Aquesta mena d'informació es pot introduir en el model de trànsit del departament de mobilitat de la ciutat per avaluar l'increment del temps de viatge a la ciutat i, posteriorment, fer anàlisis de monetització, increment d'emissions i consum, etcètera.

En les figures següents es pot observar l'evolució de la situació de l'afectació al trànsit de superfície als carrers de Barcelona per als escenaris actual, futur, d'adaptació 1 i 2, i els períodes de retorn de 10 i 100 anys.

Figura 21. Longituds (en %) de carrers amb velocitat reduïda i tancats per efecte de les inundacions a la ciutat de Barcelona per als escenaris actual, futur, d'adaptació 1 i 2 i per als períodes de retorn més significatius.

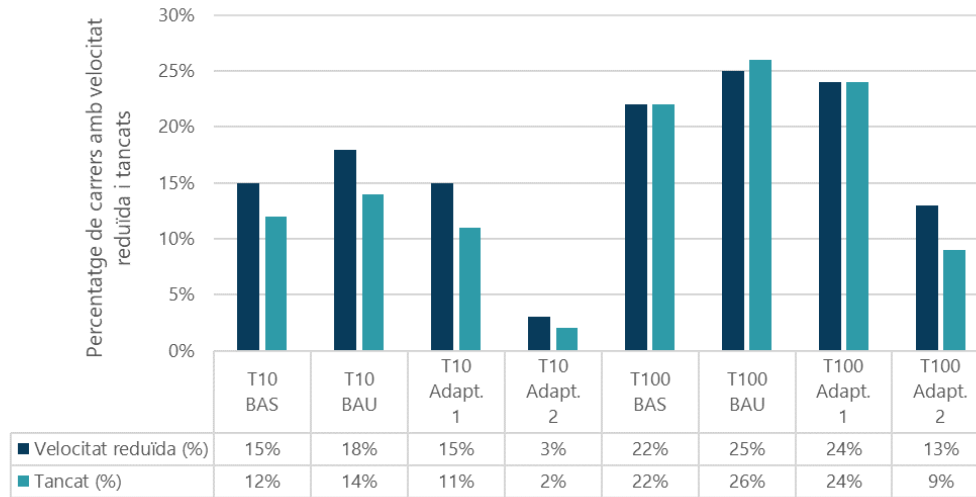


Figura 22. Increment de longituds (en %) de carrers amb velocitat reduïda i tancats per efecte de les inundacions a la ciutat de Barcelona previst pel canvi climàtic i per als períodes de retorn més significatius.

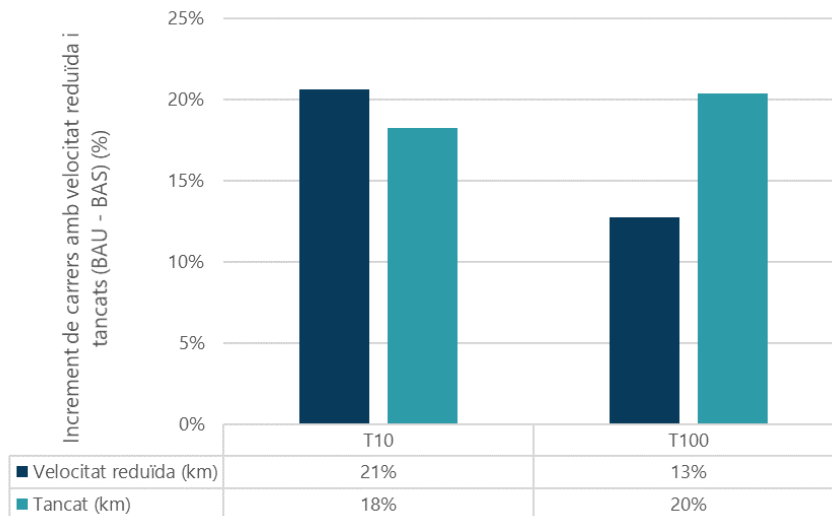
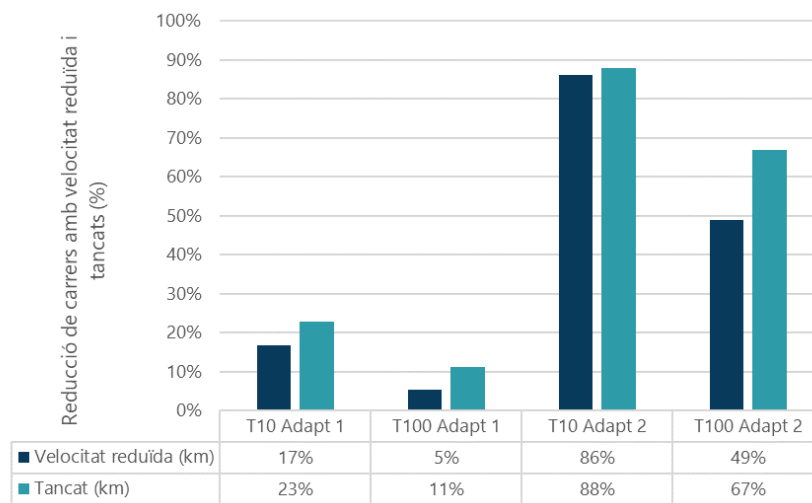


Figura 23. Decrement de longituds (en %) de carrers amb velocitat reduïda i tancats per efecte de les inundacions a la ciutat de Barcelona com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2 per als períodes de retorn més significatius.



L'anàlisi dels resultats mostra que, a mesura que augmenta el període de retorn, el nombre de trams de carrers afectats augmenta en conseqüència. La Figura 15 presenta el percentatge de quilòmetres de carrer que es classifiquen com a tancats o amb velocitat reduïda, i com aquest percentatge augmenta amb el període de retorn. Lògicament, aquests percentatges també augmenten en l'escenari de canvi climàtic i disminueixen en els escenaris d'adaptació gràcies a les mesures implementades.

Comparant els resultats dels dos escenaris (actual i futur), es pot observar que per a un total de 1.492 km, els carrers que es poden veure afectats per una reducció de velocitat s'incrementen entre el 13% i el 21% segons el període de retorn, mentre que l'augment de carrers tallats pot ser de prop del 20% per a tots els períodes de retorn.

Quant a l'efecte de les mesures d'adaptació, les variacions dels escenaris d'actuacions s'han considerat en relació amb l'escenari futur amb canvi climàtic. Els resultats indiquen que el decrement de carrers afectats se situa en prop del 20% (escenari d'adaptació 1) i del 90% (escenari d'adaptació 2) per al període de retorn de disseny (T10).

3.4 Estabilitat dels contenidors de residus sòlids urbans

Abans que els residus sòlids es transportin fins als abocadors, el procés de recollida de les grans ciutats comença a partir d'una recollida regular del servei municipal de residus domèstics que es fa a través de contenidors de carrer. Per tant, quan es produeix una inundació urbana, aquests contenidors poden perdre l'estabilitat, cosa que pot provocar que les deixalles escapin del contenidor i contaminin l'aigua de la inundació. Aquest estudi pretén proporcionar la ubicació de contenidors potencialment inestables a la ciutat quan s'exposen a diferents freqüències d'inundacions. Els riscos relacionats amb l'estabilitat dels contenidors es poden resumir en col·lisions amb altres elements o propietats urbanes, esforços i despeses addicionals per tornar-los a posar al seu lloc, contaminació de l'aigua, seguretat dels vianants, interrupció del trànsit, possibles bloquejos del clavegueram i augment de la probabilitat d'efectes en cascada per inundacions.

La metodologia desenvolupada² considera que l'estabilitat dels contenidors es pot veure compromesa quan les variables hidrodinàmiques, calat i velocitat de l'aigua, superen un llindar determinat. Aquestes variables s'han combinat i comparat amb els llindars d'estabilitat de lliscament i bolcada dels diferents contenidors.

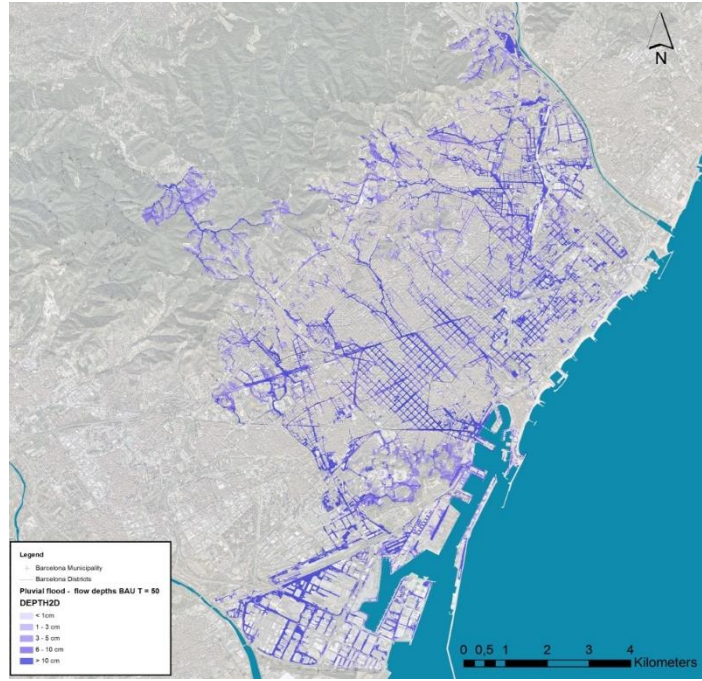
A Barcelona hi ha un total de 27.134 contenidors, que es poden classificar segons la fracció que contenen: resta (44%), orgànics (22%), paper i cartó (12%), envasos (11%) i vidre (11%); pel seu volum en litres (3.200, 3.000, 2.400, 2.200 i 1.800) o la manera de carregar-los: lateral (62%), bilateral (25%), posterior (12%) i subterrània (1%). A causa del petit percentatge de contenidors de càrrega posterior i subterrània quan es compara amb els de tipus lateral i bilateral, només s'han tingut en compte aquests últims en l'estudi, la qual cosa suposa un 87% del total de contenidors. Un contenidor pot ser més o menys vulnerable a les inundacions, en funció del seu volum, fracció i grau d'ompliment. S'han estudiat tres escenaris d'ompliment: contenidors buits, 50% plens i plens.

La vulnerabilitat es defineix mitjançant corbes d'estabilitat que s'han desenvolupat per a cada mena de contenidor. Tots els contenidors considerats en l'estudi es presenten en aquests mapes amb la indicació de la seva capacitat i la classe de fracció que contenen. Les funcions d'estabilitat s'han desenvolupat a partir d'una anàlisi de les forces que actuen sobre un contenidor establint condicions d'equilibri per als diferents modes d'inestabilitat (és a dir, lliscar, bolcar i flotar). Aquestes funcions depenen de la velocitat i de la profunditat de l'aigua (calat). A més, les característiques de cada contenidor (per exemple, el volum, les dimensions o la fracció que pot contenir) determinen la forma de cada funció. Els llindars d'estabilitat obtinguts s'utilitzen per analitzar el comportament potencial dels contenidors davant les inundacions a Barcelona causades per pluges de disseny per a períodes històrics i de curt període de retorn, és

² Martínez-Gomariz, E., Russo, B., Gómez, M., Plumed, A., 2020. An approach to the modelling of stability of waste containers during urban flooding. *J. Flood Risk Manag.* 13, jfr3.12558. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12558>

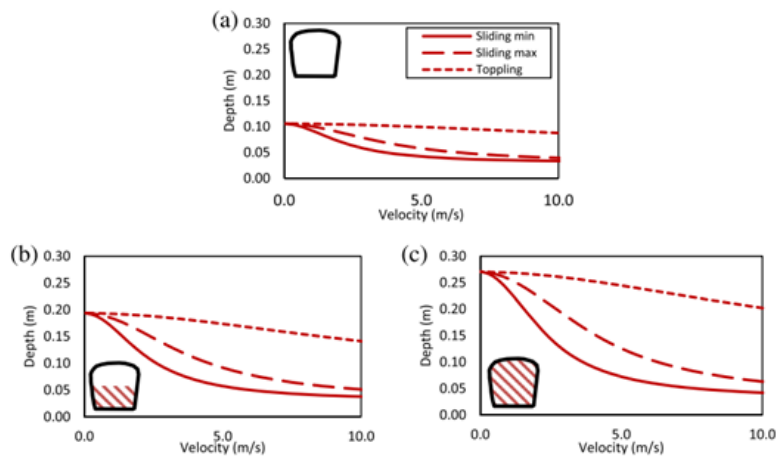
a dir, entre 1, 10 i 50 anys. A continuació es mostra el mapa d'inundabilitat urbana corresponent a un període de retorn de 50 anys per a l'escenari futur:

Mapa 35. Inundabilitat urbana a l'escenari futur per al període de retorn T50.



A la figura següent es mostren les corbes d'estabilitat pel que fa al lliscament i a la bolcada per a un contenidor de càrrega lateral de 3.200 L, i fracció rebuig per a diferents escenaris: (a) contenidor buit, (b) contenidor ple al 50% i (c) contenidor complet:

Figura 24. Corbes d'estabilitat dels contenidors de residus urbans en funció del grau d'ompliment.



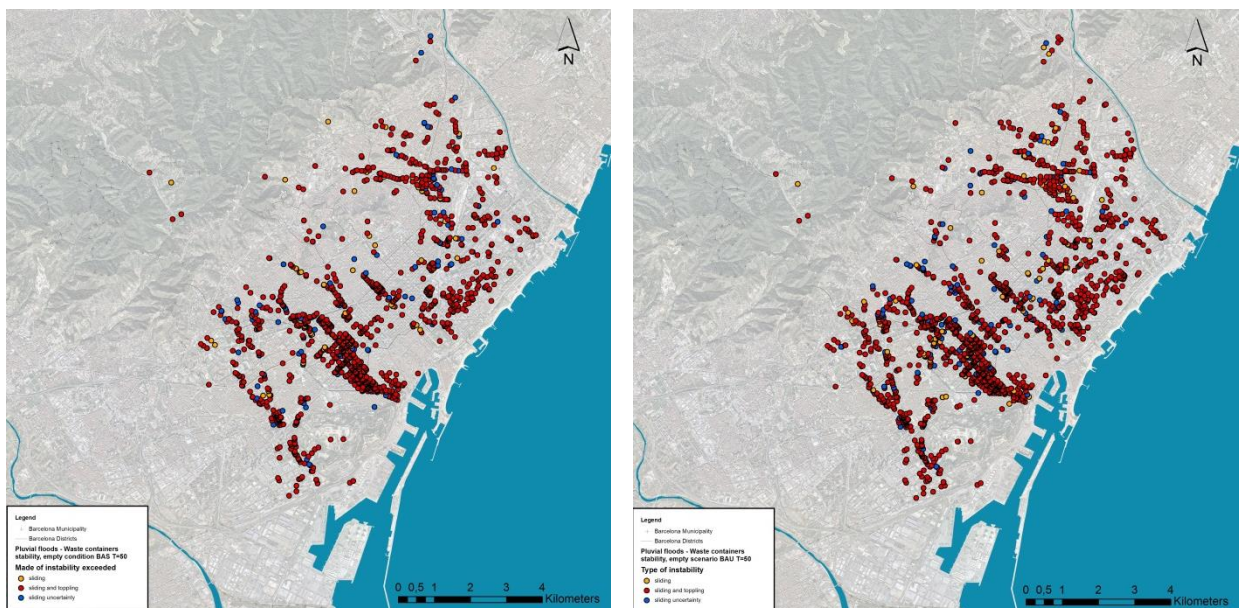
Aquesta mena de deixalles transportades per aigües d'inundació poden restringir encara més un carrer estret i augmentar el risc, ja que poden crear una conca tancada sense sortida per a l'escorrentia i agreujar els efectes de les inundacions. D'altra banda, les entrades a les clavegueres poden quedar obstruïdes amb residus sòlids si surten del contenidor després de perdre l'estabilitat, i empitjorar el sistema de drenatge. A més, la pèrdua d'estabilitat dels contenidors pot provocar efectes en cascada, com la interrupció del trànsit, la interrupció de la recollida de residus i el bloqueig potencial de les clavegueres, així com causar impactes en les persones o altres béns.

L'avaluació del risc que s'ha fet es basa en els contenidors específics exposats a un cert nivell de perill determinat per la profunditat i la velocitat de l'aigua, de manera que s'han identificat les zones d'alt risc on s'espera que una gran quantitat de contenidors perdin l'estabilitat.

La principal incertesa d'aquest estudi és el grau d'ompliment de cada contenidor. Tot i que es consideren tres escenaris diferents quant al grau d'ompliment, l'assumpció de tots ells al mateix temps, que s'han d'omplir al mateix grau, implica una incertesa important.

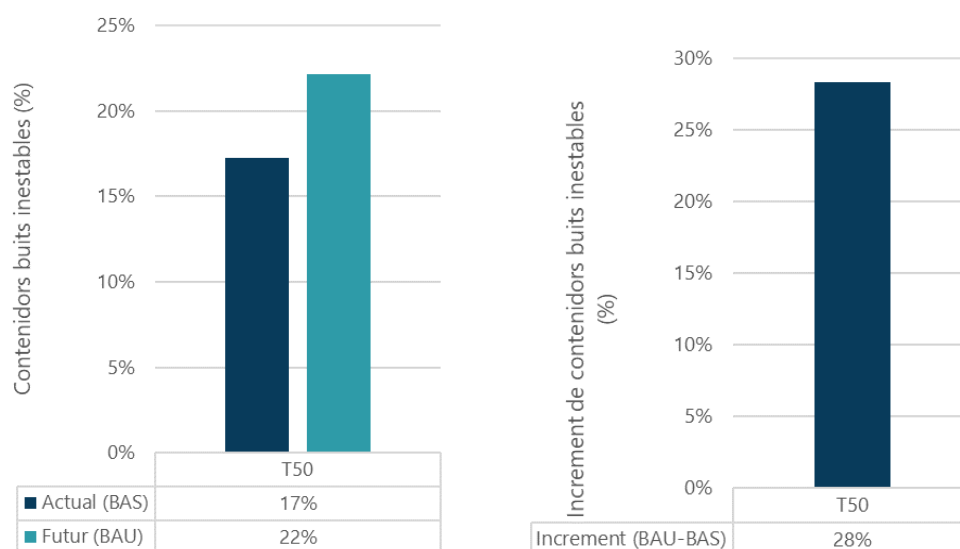
Els mapes generats representen els contenidors que poden perdre l'estabilitat segons diferents tipus de modes d'inestabilitat (flotabilitat, lliscament i bolcament) i basats en diferents escenaris d'ompliment (buits, mig plens, totalment plens). A continuació es mostren els mapes per a un escenari de risc alt: contenidors buits per a un període de retorn de 50 anys per als escenaris actual i futur.

Mapa 36 . Mapes d'afectació als contenidors de residus sòlids urbans per a l'escenari actual (esq.) i l'escenari futur (dreta) amb període de retorn T50.



Si representem gràficament el nombre i la variació de contenidors de residus sòlids urbans dels mapes anteriors, obtenim que:

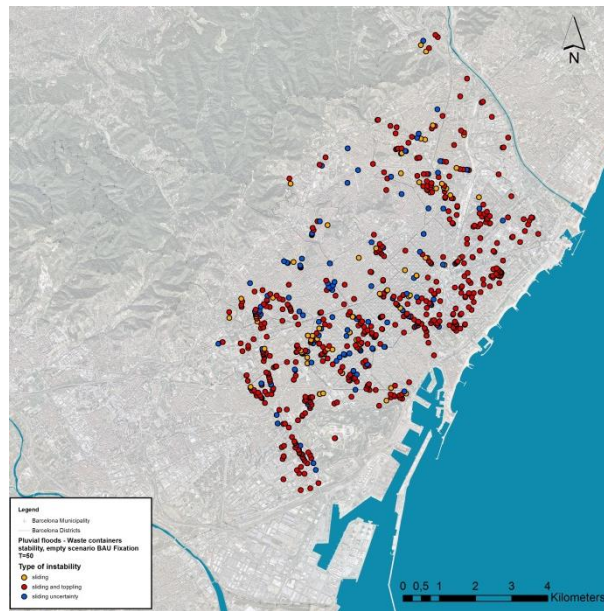
Figura 25. Nombre de contenidors (en %) de residus sòlids urbans buits inestables per als escenaris actual i futur (esq.) i increment de contenidors (en %) buits inestables previst a causa del canvi climàtic (dreta) per al període de retorn T50.



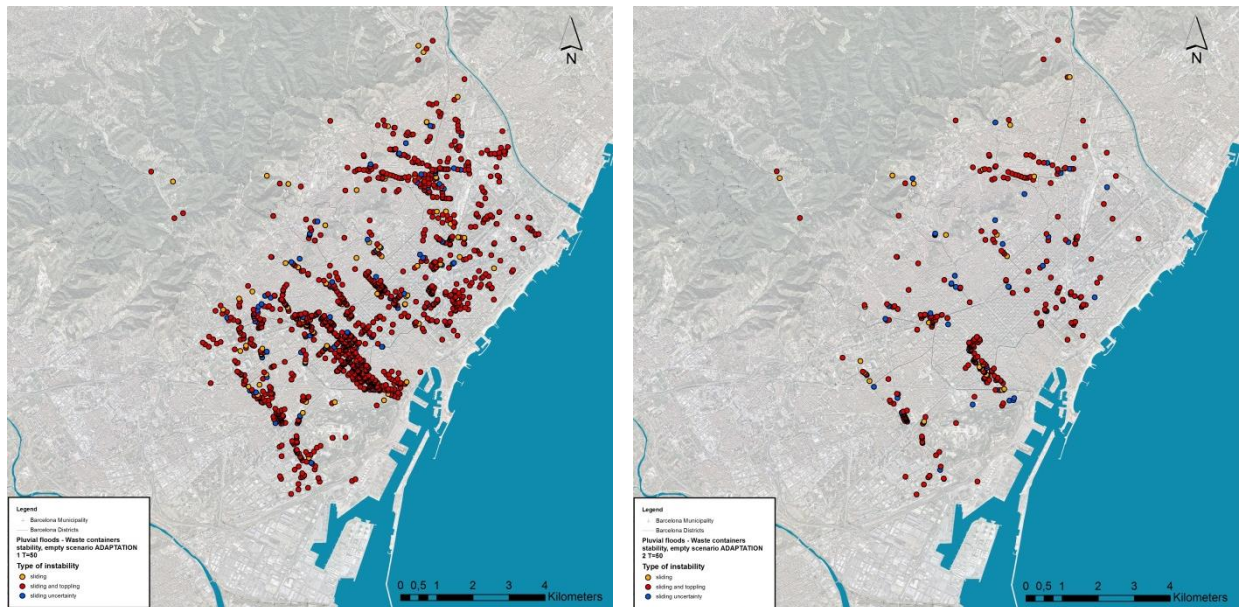
L'anàlisi ha demostrat que amb les pluges actuals corresponents al període de retorn T50, el 17% del total de contenidors de la ciutat perden l'estabilitat i que aquesta quantitat podria augmentar fins al 22% amb les condicions de pluges futures, la qual cosa suposa un increment del 28% en el nombre de contenidors buits potencialment inestables a conseqüència del canvi climàtic.

Per al sector dels residus sòlids urbans, a més dels escenaris d'adaptació 1 i 2, s'ha elaborat un tercer escenari que preveu la incorporació de peces de fixació per als diferents tipus de contenidors. A més, aquest tercer escenari s'ha combinat amb els altres dos i ha donat com a resultat un total de cinc escenaris d'adaptació diferents. A continuació es mostren els mapes d'afectació als contenidors de residus sòlids urbans per a un escenari de risc alt: contenidors buits i període de retorn de T50 anys per als 5 diferents escenaris d'adaptació:

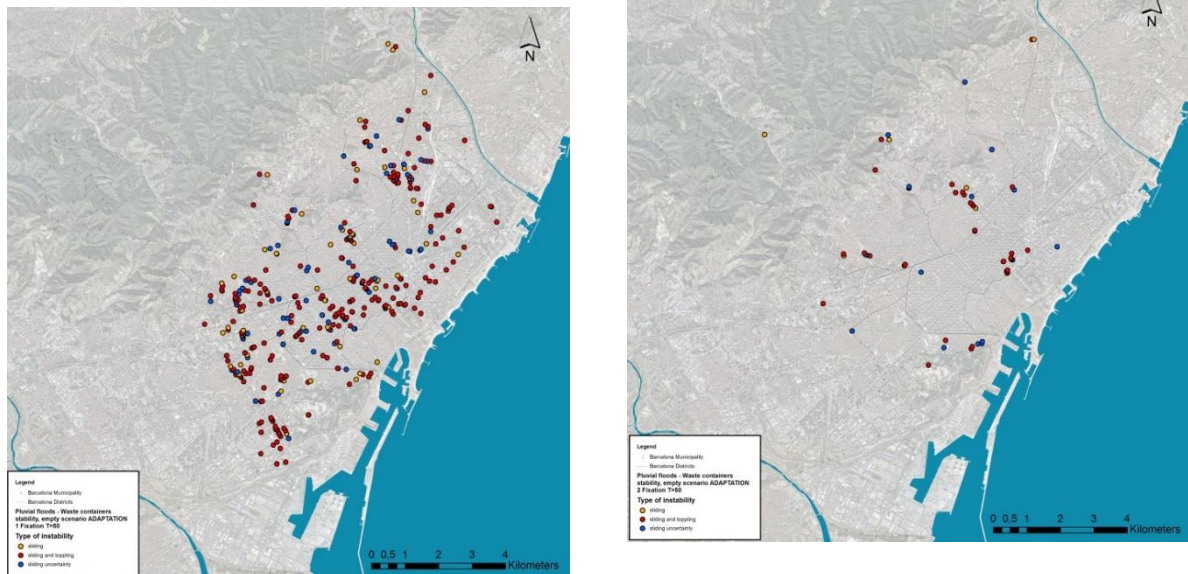
Mapa 37. Afectació als contenidors de residus sòlids urbans per a l'escenari futur, incorporant només les peces de fixació per als contenidors amb període de retorn T50.



Mapa 38. Mapes d'afectació als contenidors de residus sòlids urbans per a l'escenari d'adaptació 1 (esq.) i l'escenari d'adaptació 2 (dreta) amb període de retorn T50.

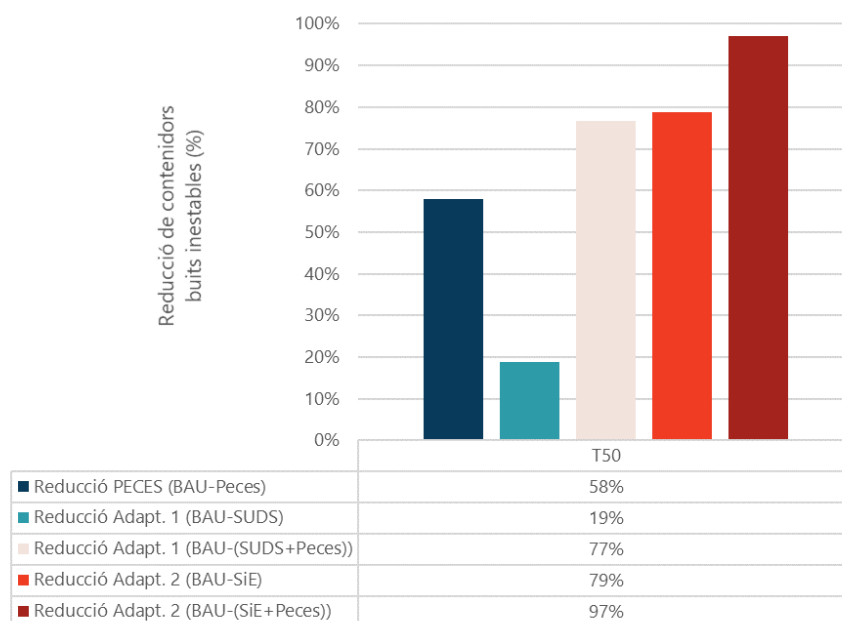


Mapa 39. Mapes d'afectació als contenidors de residus sòlids urbans per a l'escenari d'adaptació 1 (esq.) i l'escenari d'adaptació 2 (dreta) amb període de retorn T50, incorporant les peces de fixació per als contenidors.



A la Figura 23 es presenten els resultats sobre l'efectivitat de l'aplicació de les peces de fixació, de l'escenari d'adaptació SUDS i la implementació conjunta de SUDS i mesures estructurals (SM) sobre l'estabilitat dels contenidors de residus sòlids urbans per a una inundació relacionada amb un període de retorn de 50 anys i en l'escenari de contenidors buits.

Figura 26. Decreixement de contenidors de residus sòlids urbans buits inestables (en %) com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2, i incorporant les peces de fixació per als contenidors per al període de retorn T50.



L'efecte aïllat de les peces de fixació es tradueix en una reducció del 58% del nombre de contenidors inestables. Per tant, es tracta d'una solució de baix cost molt efectiva.

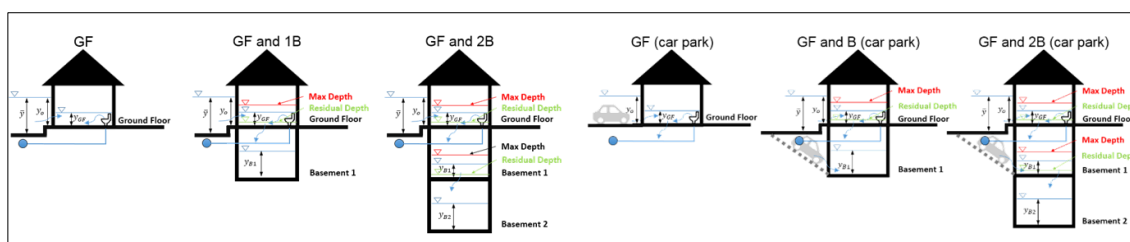
D'altra banda, tot i que la implementació conjunta de SUDS i mesures estructurals (escenari d'adaptació 2) és molt eficaç (79% de reducció), la instal·lació de peces de fixació juntament amb l'escenari d'adaptació SUDS seria suficient per evitar el moviment de quasi el mateix percentatge (77%) de contenidors a un cost molt menor. Finalment, el moviment dels contenidors buits gairebé s'evita quan s'implementen conjuntament SUDS, mesures estructurals i peces de fixació (97%).

3.5 Afectació de les inundacions sobre les propietats i els vehicles: anàlisi dels danys tangibles directes.

Per a l'estimació de danys directes tangibles causats per inundacions pluvials en zones urbanes, s'ha considerat l'impacte econòmic sobre les propietats i els vehicles, que són els béns més afectats segons les dades d'indemnitzacions proporcionades per la companyia espanyola Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), que és l'entitat pública que dona cobertura a les pèrdues generades, entre d'altres, per fenòmens climàtics extrems.

L'avaluació dels danys immobiliaris s'ha fet seguint una metodologia³ basada en l'ús de corbes de danys, que mesuren els danys en funció del calat d'inundació. El primer pas ha consistit a transferir a l'interior de les propietats els calats d'aigua dels carrers que els envolten (provinents del model hidrodinàmic), a partir d'uns coeficients d'estanquitat desenvolupats per a 14 usos del sòl (tipus de propietats) de Barcelona, i de l'eventual existència d'un graó a l'entrada de la propietat. Com a segon pas, es van avaluar els danys per inundacions causats sobre les propietats a partir de les corbes de danys específiques basades en els calats d'inundació dins els edificis, desenvolupades per als catorze tipus de propietat. A més, es proposa un calat màxim quan hi ha pisos inferiors, de manera que quan s'arriba a aquest nivell, únicament es produeix transferència d'aigua a nivells inferiors. S'han considerat diferents tipologies de propietats: sense soterrani, amb un soterrani i amb un màxim de dos soterranis. D'altra banda, es van considerar configuracions amb pàrquing o sense, ja que quan hi ha aparcament, l'aigua hi accedeix des del pis superior, però també directament des del carrer, aspecte que es té en consideració també mitjançant les corbes dels coeficients d'estanquitat. El model s'implementa a través d'unes eines SIG per establir una profunditat d'aigua dins els edificis i calcular el dany corresponent.

Figura 27. Model conceptual per a l'estimació dels danys per inundació sobre les propietats urbanes. Font:³



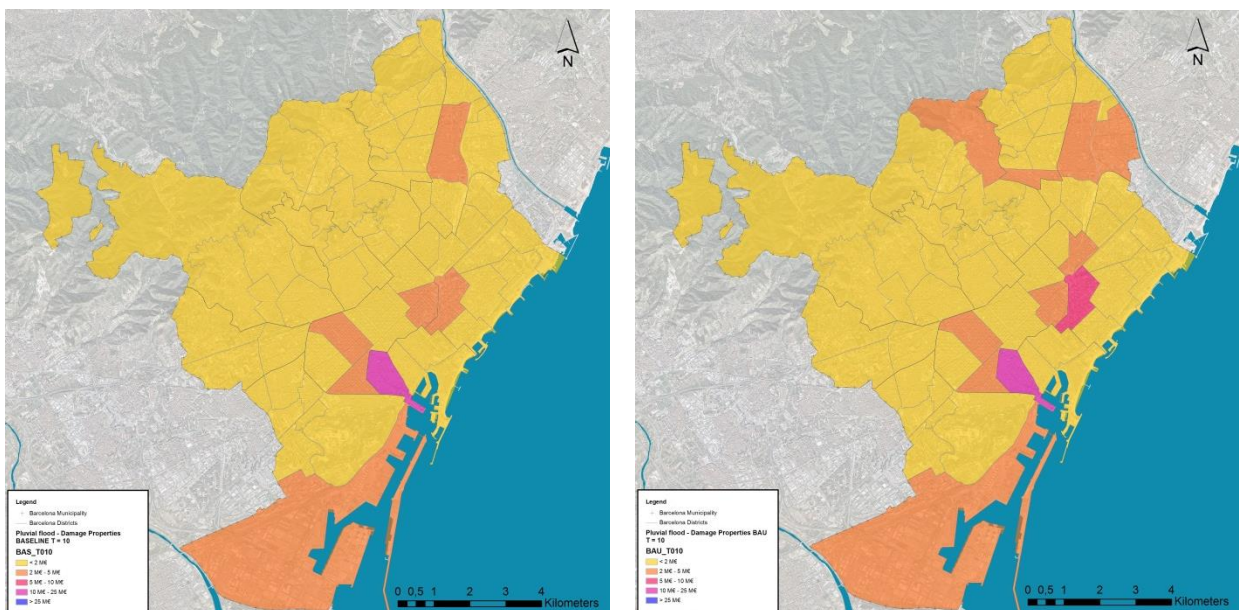
Pel que fa a l'avaluació de danys per a vehicles, s'ha implementat una metodologia innovadora que també es basa en el concepte de les corbes de dany. La metodologia intenta reduir la

³ Martínez-Gomariz, E., Forero-Ortiz, E., Guerrero-Hidalga, M., Castán, S., Gómez, M., 2020. Flood Depth–Damage Curves for Spanish Urban Areas. Sustainability 12, 2666. <https://doi.org/10.3390/su12072666>
Martínez-Gomariz, E., Guerrero-Hidalga, M., Russo, B., Yubero, D., Gómez, M., & Castán, S. (2019). Desarrollo y aplicación de curvas de daño y estanqueidad para la estimación del impacto económico de las inundaciones en zonas urbanas españolas. Ingeniería Del Agua, 23(4), 229–245. <https://doi.org/10.4995/ia.2019.12137>

incertesa deguda a la mobilitat dels vehicles, proposant una ocupació vehicular heterogènia per a diverses zones de la ciutat basada en la informació proporcionada per fotografies aèries d'alta resolució. El primer pas és adaptar les corbes de danys per inundacions per a cinc tipus de vehicles desenvolupades per USACE⁴ al cas de Barcelona. Aquestes corbes es van convertir en una única corba de dany ponderada segons el percentatge de vehicles de cada tipologia existents a Barcelona, i també considerant-ne la depreciació segons informació estadística per tipus de vehicle i edat mitjana.

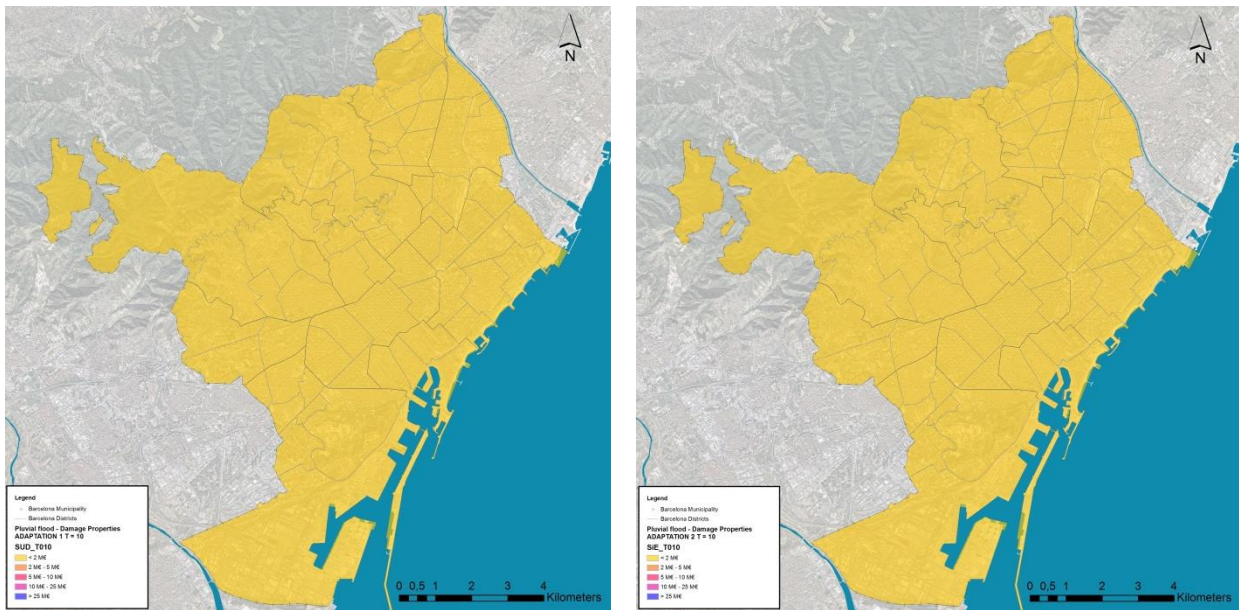
S'han obtingut mapes de danys directes tangibles causats per inundacions pluvials en zones urbanes tant per a propietats com per a vehicles, pels períodes de retorn T1, T10 i T100, i escenaris actual, futur i d'adaptació 1 i 2, amb el valor dels danys calculats agregats per a cada barri de la ciutat. En el cas del període de retorn T1, el valor dels danys és nul i per aquest motiu no es representen els plànols. Tampoc no es representen els mapes de danys per a vehicles, ja que les diferències no són gaire representatives quant als barris afectats, i el valor dels danys provocats per inundació als vehicles són de l'ordre de deu vegades inferiors als danys provocats a les propietats.

Mapa 40. Mapes de valor dels danys per inundació urbana a les propietats per a l'escenari actual (esq.) i l'escenari futur (dreta) amb període de retorn T10.

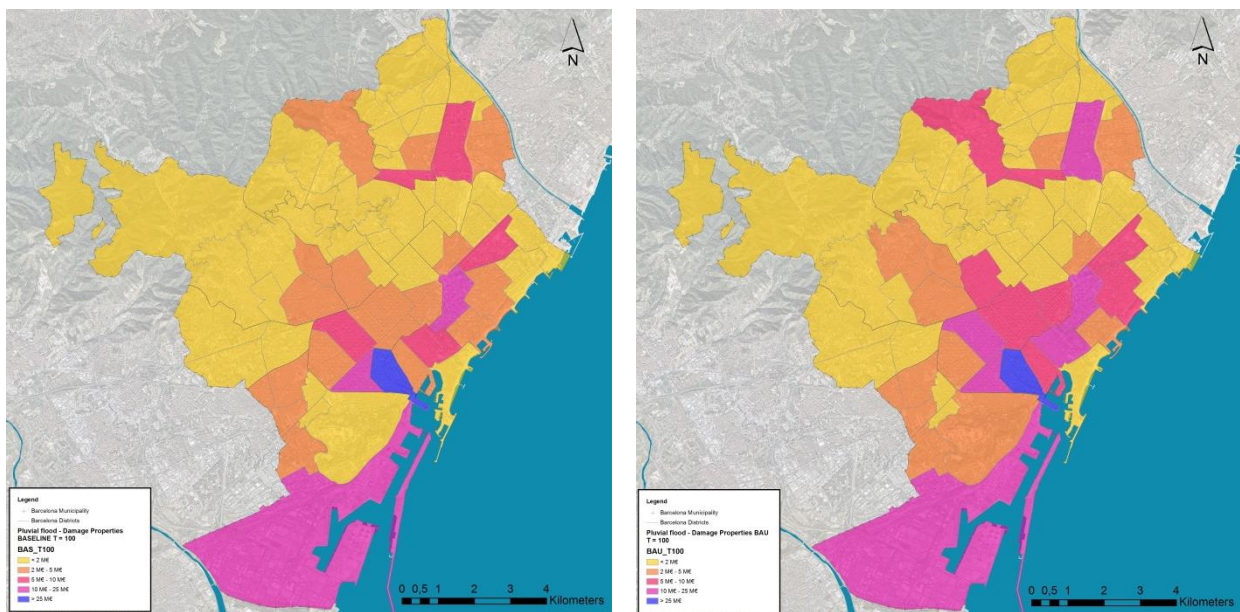


⁴ U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (2009). Economic Guidance Memorandum, 09-04, Generic Depth-Damage Relationships for Vehicles. Washington, D.C. Retrieved from <http://planning.usace.army.mil/toolbox/library/EGMs/egm09-04.pdf>

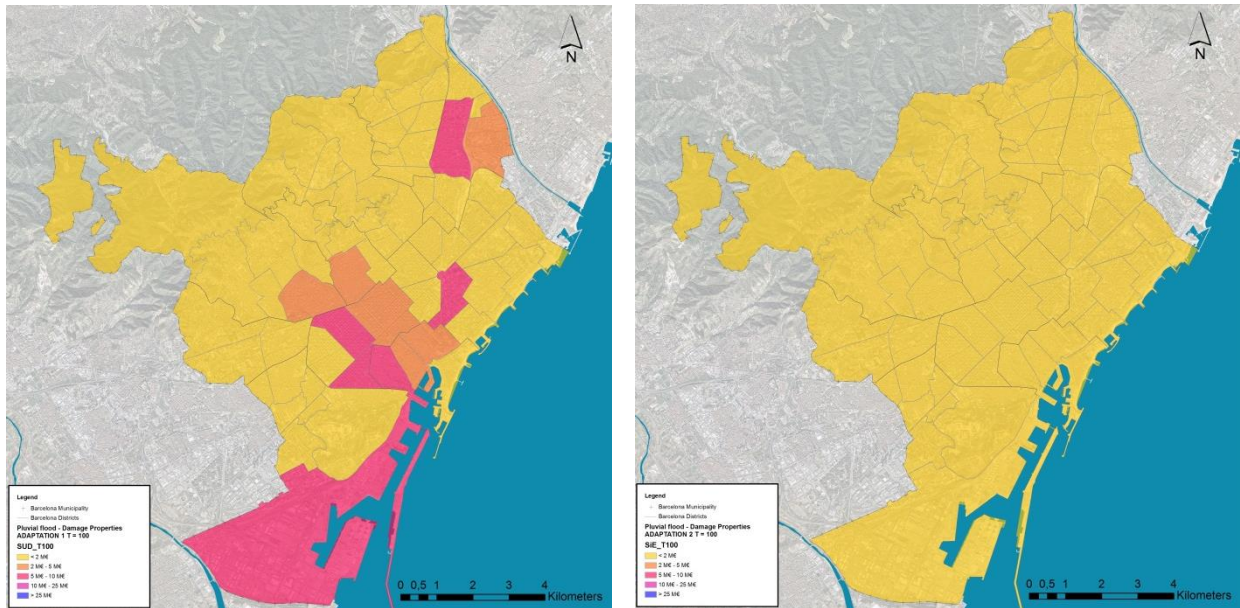
Mapa 41. Mapes de valor dels danys per inundació urbana a les propietats per a l'escenari d'adaptació 1 (esq.) i l'escenari d'adaptació 2 (dreta) amb període de retorn T10.



Mapa 42. Mapes de valor dels danys per inundació urbana a les propietats per a l'escenari actual (esq.) i l'escenari futur (dreta) amb període de retorn T100.



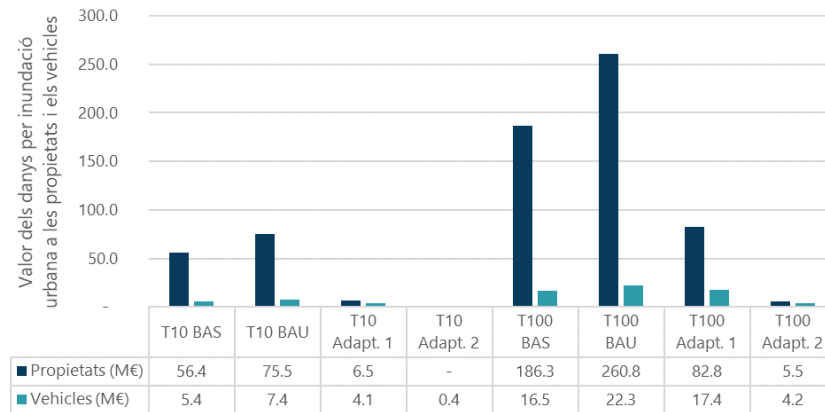
Mapa 43. Mapes de valor dels danys per inundació urbana a les propietats per a l'escenari d'adaptació 1 (esq.) i l'escenari d'adaptació 2 (dreta) amb període de retorn T100.



Aquests mapes mostren com els barris més afectats per danys a les propietats són el Raval, el Parc i la Llacuna del Poblenou, Sant Andreu, Sant Antoni, l'Esquerra de l'Eixample, la Marina del Prat Vermell i la Zona Franca, i que les futures pluges agreujades pel canvi climàtic empitjoren significativament la situació a diversos barris, principalment al centre de la ciutat.

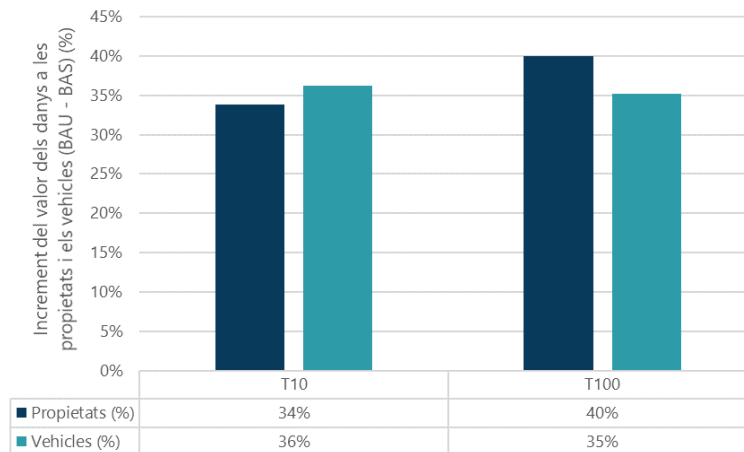
Als gràfics i taules associades següents es resumeixen els resultats obtinguts, i es pot observar l'evolució de l'estimació dels danys per inundació urbana a les propietats i als vehicles de la ciutat de Barcelona per a l'escenari actual, futur, d'adaptació 1 i 2, i els períodes de retorn de 10 i 100 anys.

Figura 28. Valor dels danys (en M€) a propietats i vehicles per efecte de les inundacions a la ciutat de Barcelona per als escenaris actual, futur, d'adaptació 1 i 2 i pels períodes de retorn més significatius.



Com que les intensitats de les pluges futures són superiors a les actuals, el valor dels danys en propietats i vehicles de l'escenari futur és, en general, un 35% superior a l'estimat per a l'escenari actual. Aquesta diferència suposa el cost (amb relació als danys directes tangibles) potencial de no actuar davant el canvi climàtic.

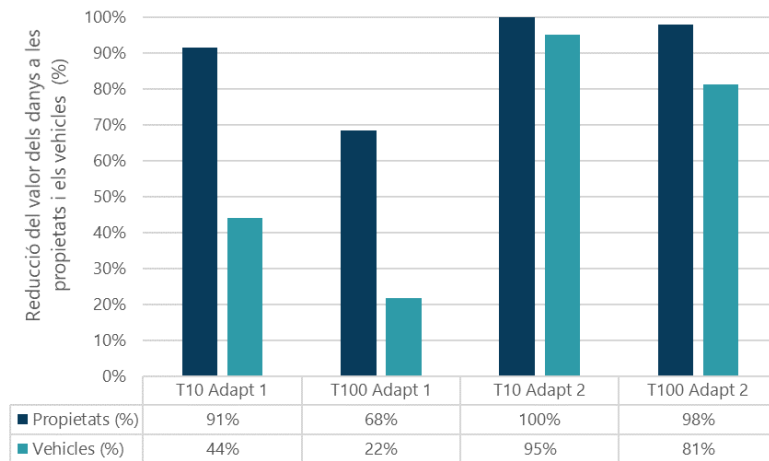
Figura 29. Increment del valor dels danys (en %) a propietats i vehicles per efecte de les inundacions a la ciutat de Barcelona previst pel canvi climàtic i pels períodes de retorn més significatius.



Per avaluar l'eficiència de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2, s'ha considerat la reducció de danys tangibles a les propietats i vehicles que es produeix en comparar els resultats d'aquests dos escenaris d'adaptació amb els obtinguts de l'escenari futur amb canvi climàtic (BAU). L'escenari d'adaptació 1 (implementació de només sistemes urbans de drenatge sostenible (SUDS) a tot Barcelona) proporciona entre un 90% i un 70% de reducció del valor dels danys a propietats i entre un 40% i un 20% de reducció dels danys a vehicles, mentre

que la implementació conjunta de SUDS i mesures estructurals (escenari d'adaptació 2) eliminaria pràcticament la totalitat dels danys.

Figura 30. *Decreixement del valor dels danys (en %) a propietats i vehicles per efecte de les inundacions a la ciutat de Barcelona com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2 pels períodes de retorn més significatius.*



3.6 Afectació a la qualitat de l'aigua de bany per abocaments al medi receptor

El model de drenatge de la ciutat de Barcelona es caracteritza per ser un sistema unitari, això vol dir que tant les aigües negres com les aigües de pluja són conduïdes pels mateixos col·lectors cap a les plantes de tractament. Aquest model unitari suposa un risc en el moment a partir del qual les plantes de tractament no tenen prou capacitat per absorbir l'excés d'aigua provocat per pluges torrencials i llavors la xarxa de drenatge dirigeix les aigües cap als abocadors marins. Aquests abocaments provoquen un descens en la qualitat de l'aigua de bany cosa que habitualment comporta el tancament de les platges de la ciutat, amb els impactes corresponents sobre les activitats vinculades al litoral barceloní.

Per conèixer més bé com es produeixen aquests abocaments i les seves repercussions, s'ha creat un model de qualitat de l'aigua del mar amb l'objectiu d'estudiar l'impacte de les descàrregues del sistema unitari (DSU) de la ciutat a les zones de bany. El model marí s'utilitza per simular la distribució espacial i temporal del bacteri *E. coli* a l'aigua del mar durant i després dels esdeveniments de DSU. L'*E. coli* és un dels bacteris indicats en la normativa europea i estatal sobre la qualitat de les aigües de bany.

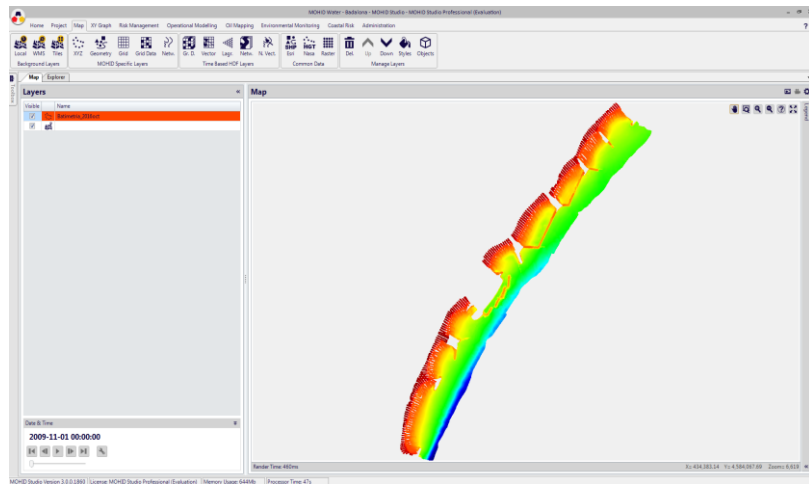
Figura 31. Exemple de simulació de qualitat marítima després d'un episodi de DSU (Vermell= alta concentració d'*E. coli*; Blau= baixa concentració d'*E. coli*).



El model original es va desenvolupar dins del projecte COWAMA (Coastal Water Management), que va proporcionar un model computacional en funcionament des del 2007 per a simulacions en temps real de la qualitat de les aigües de bany de les platges de Barcelona. El model marí

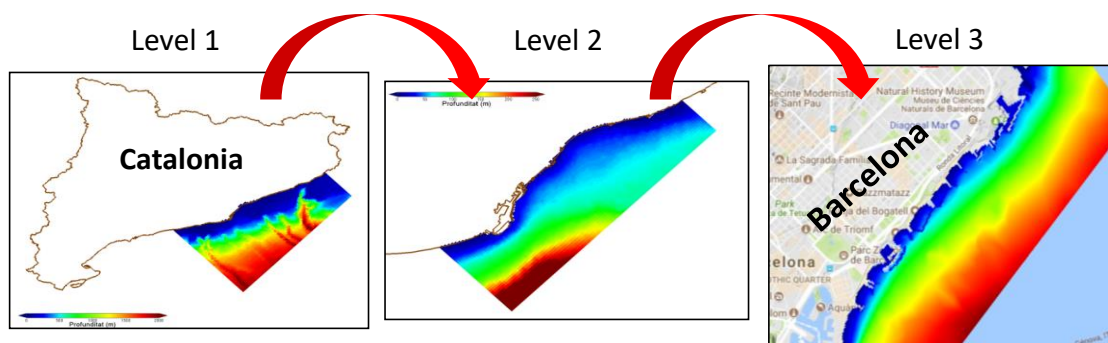
inclou una nova malla 3D elaborada a partir de noves dades de batimetria obtingudes el 2016, un nou calibratge i una nova validació amb dades de concentracions d'*E. coli* mesurades en el període 2014-2017.

Figura 32. Nova batimetria per al model marítim de Barcelona.



La simulació de la qualitat de l'aigua a prop de la línia de costa requereix escales de discretització espacial de l'ordre de desenes de metres, mentre que els processos hidrodinàmics costaners poden produir-se a escales de centenars de quilòmetres. Per tant, tres dominis niats s'utilitzen per simular processos hidrodinàmics des de la gran escala regional fins a l'escala local a prop de la costa de Barcelona.

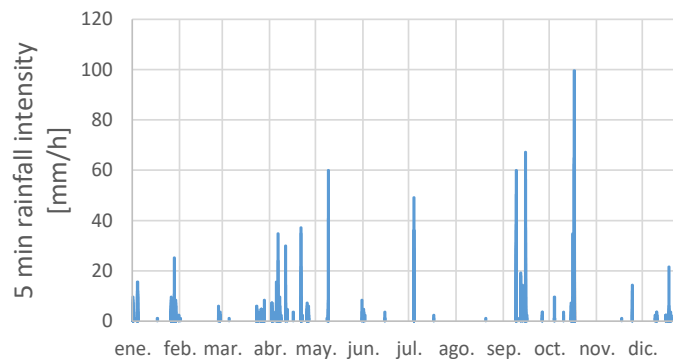
Figura 33. Els tres nivells de malles niades implementades en el model marítim de Barcelona.



Anàlogament a l'anàlisi duta a terme per obtenir les pluges de disseny al model d'inundació urbana produint sèries de dades de canvi climàtic, s'analitzen les DSU per als escenaris

hidrològics ordinaris, però en aquest cas es conclou que els escenaris de precipitacions futurs no suposen un empitjorament respecte a la situació actual, ja que el canvi climàtic no augmentarà la pluviometria mitjana ni el nombre d'episodis de manera significativa. Així, a partir de l'anàlisi de les DSU, tant per a l'escenari actual com per a l'escenari de canvi climàtic, se selecciona la sèrie de pluges de l'any 2009 en què es van produir 60 episodis de DSU amb una pluviometria total de 520 mm.

Figura 34. Sèrie pluviomètrica de l'any mitjà seleccionat (2009).



Fent simulacions mitjançant l'aplicació de manera acoblada del model d'inundació urbana i el model marítim durant la temporada de bany (del 25 de maig al 15 de setembre) s'obtenen les concentracions d'*E. coli* a l'aigua de mar. Els impactes es quantifiquen en termes de temps d'incompliment dels valors de contaminació bacteriològica (concentracions d'*E. coli* > 500 cfu/100 ml) d'acord amb les recomanacions del Reial decret 1341/2007 i de la Directiva d'aigües de bany per a la temporada de bany considerada com a referència (2009) a cada platja de Barcelona. Els gràfics següents mostren els resultats per als escenaris actual i futur (coincidents) i per als 2 escenaris d'adaptació.

Figura 35. Temps d'incompliment (en dies) dels valors de contaminació bacteriològica marcats per la Directiva d'aigües de bany per temporada de bany a conseqüència dels abocaments al medi marí per als escenaris actual/futur i d'adaptació 1 i 2 per a les platges de Barcelona i valor mitjà.

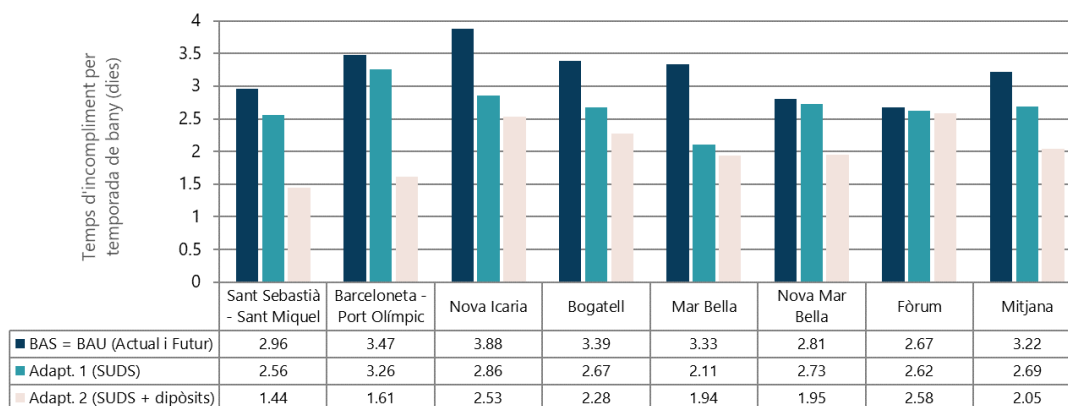
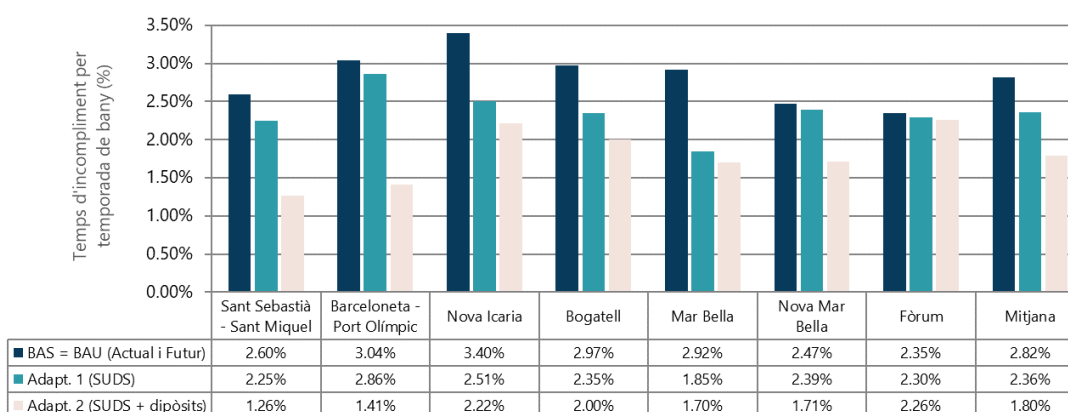


Figura 36. Temps d'incompliment (en %) dels valors de contaminació bacteriològica marcats per la Directiva d'aigües de bany per temporada de bany a conseqüència dels abocaments al medi marí per als escenaris actual/futur i d'adaptació 1 i 2 per a les platges de Barcelona i valor mitjà.

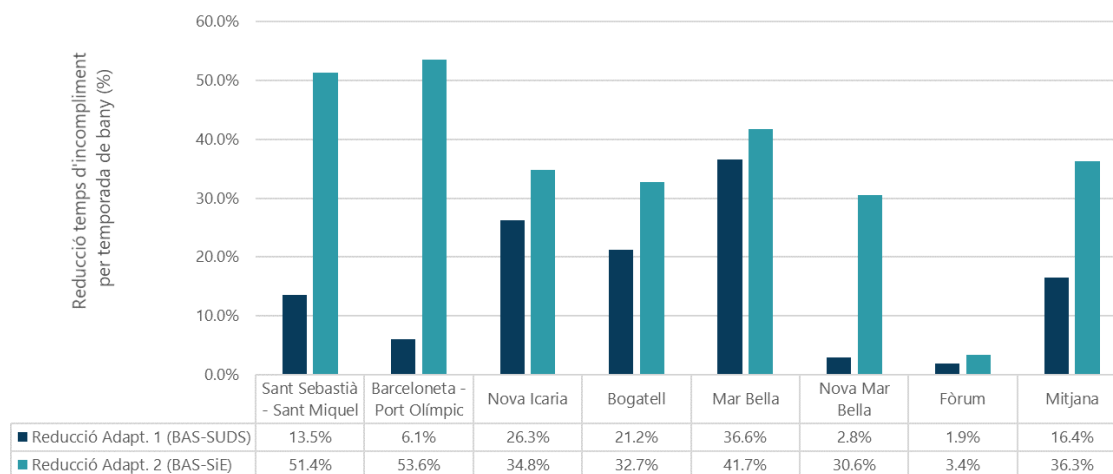


Dels resultats de la simulació de l'escenari actual (coincident amb el futur sense adaptació) s'obté que de mitjana per a totes les platges de Barcelona, es va incomplir la Directiva d'aigües de bany un total de 3,22 dies, cosa que equival a un 2,82% de la durada de la temporada de bany. La variació entre les diferents platges se situa en el rang entre el 2,35% al Fòrum i el 3,40% a la Nova Icaria.

De mitjana, a l'escenari d'adaptació 1, els SUDS poden reduir el temps fins al 2,36%, mentre que per a l'escenari d'adaptació 2 (actuacions SUDS i estructurals) el temps d'incompliment es redueix fins a l'1,8 %, una mica superior a l'1,5 % objectiu de la circular de l'Agència Catalana de

l'Aigua (ACA). No obstant això, aquest valor de l'1,5% era orientatiu, de manera que les actuacions proposades es consideren que compleixen els objectius marcats.

Figura 37. *Decreixement del temps d'incompliment (en %) dels valors de contaminació bacteriològica marcats per la Directiva d'aigües de bany per temporada de bany a conseqüència dels abocaments al medi marí com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2 per a les platges de Barcelona i valor mitjà.*



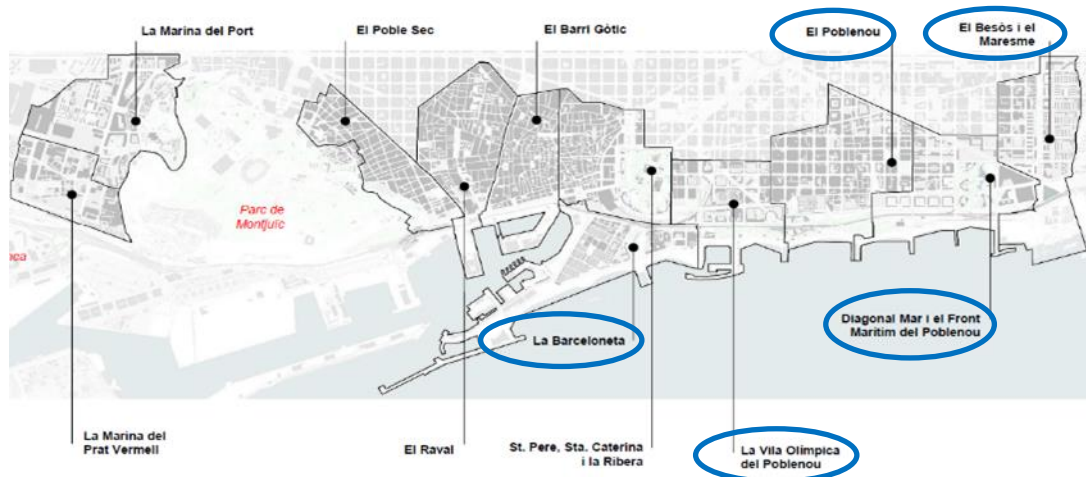
Del gràfic 28, es pot extraure que l'efecte de les mesures d'adaptació és molt variable en funció de la platja que es tracti, de manera que és pràcticament inapreciable a la platja del Fòrum i, en canvi, es produeixen reduccions superiors al 50% en el cas de la combinació SUDS + Dipòsits anti-DSU a les platges de Sant Sebastià-Sant Miquel i Barceloneta-Port del Fòrum.

D'altra banda, els abocaments als ecosistemes marins no només tenen impactes negatius sobre la salut i el medi ambient, sinó que també afecten les activitats econòmiques de la zona. És de suposar que hi ha pèrdues econòmiques associades al tancament de les platges a conseqüència de l'alt nivell de contaminants. Això és especialment rellevant per a una ciutat com Barcelona, en què el turisme i l'oci tenen un pes important en l'economia, amb platges urbanes de les quals es beneficia la població local i els turistes.

De la mateixa manera que es feia respecte a les inundacions pluvials, els impactes econòmics de les descàrregues de sistemes unitaris (DSU) a les platges de la ciutat es classifiquen com a danys indirectes, ja que les pèrdues de negoci són induïdes pels abocaments, però les empreses no s'hi veuen afectades directament. S'ha desenvolupat una metodologia per estimar els costos suportats pels negocis costaners que considera el nombre de dies de tancament de platja per alta contaminació bacteriològica a les aigües causada per abocaments de DSU (dada provinent del model marí sobre les DSU a la zona costanera de bany de la ciutat) i l'impacte afegit directe a l'economia associada (a partir de les dades de l'informe d'anàlisi econòmic sobre l'activitat econòmica litoral de Barcelona per al 2017).

Per evitar una sobrevaloració, s'ha reduït la zona d'estudi a aquells districtes costaners on hi ha punts d'abocament, com es pot veure al mapa xx. Els districtes afectats representen el 40,5% del total de l'economia litoral de Barcelona.

Mapa 44. Mapa de la zona costanera de Barcelona, en què es destaquen els districtes afectats per DSU.



A l'efecte de la modelització, s'ha suposat que durant un episodi de DSU en temporada de bany es puja una bandera vermella i els usuaris de la platja no hi poden nedar i, per tant, se'ls desaconsella quedar-se a la platja. Amb aquest supòsit, els sectors econòmics inclosos són només aquells directament relacionats amb activitats turístiques i d'oci que es poden veure afectats per un tancament de platja, per exemple, petits comerços, restaurants i activitats lúdiques i aquàtiques. Per acabar, el model també considera el factor d'estacionalitat que considera que el període estival suposa el 50% de la renda turística anual.

Després d'aquestes hipòtesis, i considerant una temporada de bany de 114 dies, el dany indirecte s'estima en 510.328 € per dia de tancament de platja. Amb aquestes dades i les dades de duració de contaminació elevada a les platges de Barcelona per a l'any mitjà (3,22 dies), s'estimen unes pèrdues d'1.643.265 € per a la temporada de bany.

Aplicant la mateixa metodologia als escenaris d'adaptació, s'obtenen els resultats dels gràfics següents, dels quals cal destacar que les mesures per implementar en els escenaris d'adaptació, especialment les estructurals (dipòsits anti-DSU), tenen un efecte de reducció de les pèrdues dels negocis costaners d'aproximadament un 35 %.

Figura 38. Estimacions de danys indirectes per pèrdues de negoci i dies de contaminació alta per temporada de bany produïts per efecte dels abocaments al medi marí per als escenaris actual/futur i d'adaptació 1 i 2.

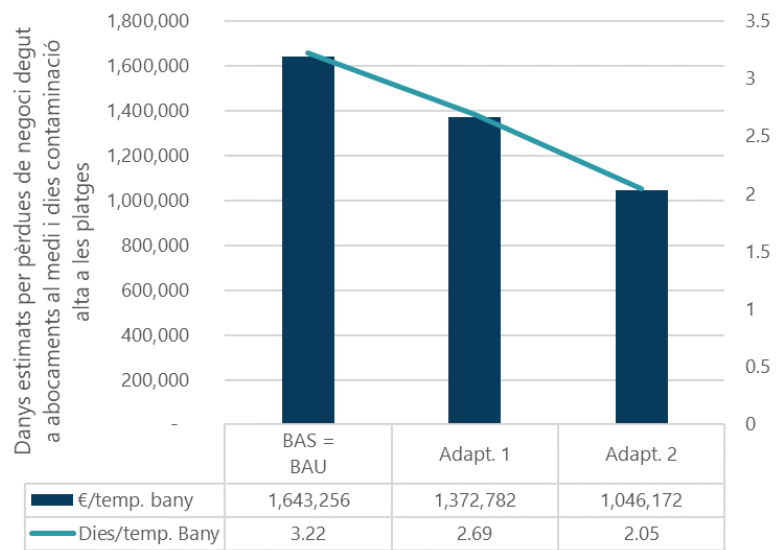
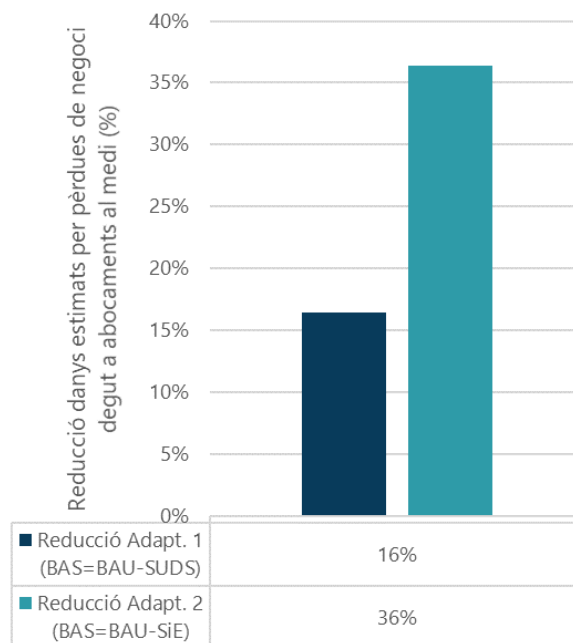


Figura 39. Decrement del valor dels danys estimats (en %) per pèrdues de negoci produïts per efecte dels abocaments al medi marí com a resultat de les mesures implantades als escenaris d'adaptació 1 i 2.



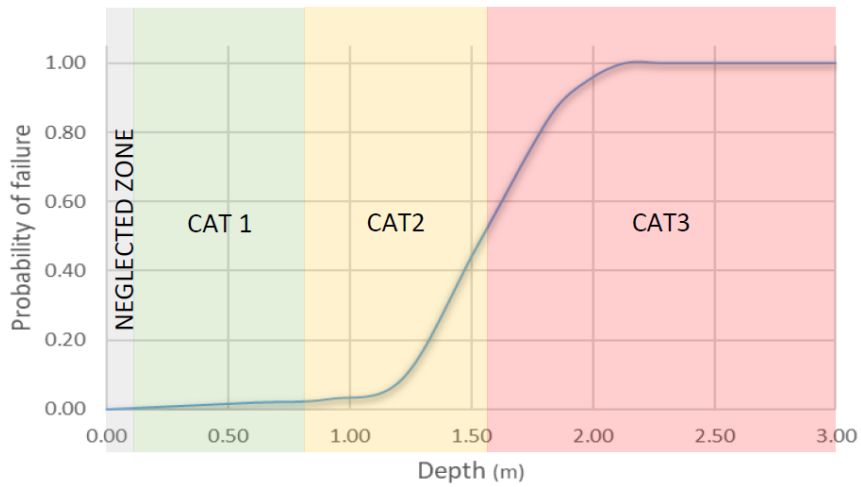
3.7 Afectació al sector elèctric

Per a l'anàlisi dels impactes de les inundacions urbanes sobre el sector elèctric s'han examinat els centres de mitjana tensió (MV) i alta tensió (HV) localitzats dintre del termini municipal de la ciutat, àrea que es correspon amb l'àmbit d'anàlisi del model de drenatge urbà desenvolupat en el projecte. Normalment, aquesta mena d'infraestructures han estat protegides i aïllades contra les inundacions en el moment en què es van establir, tenint en compte un període de retorn. Tanmateix, es podria plantejar un problema en el futur si no es tinguessin en compte els augments de magnitud provocats pel canvi climàtic. En conseqüència, les mesures de protecció podrien no ser suficients en alguns casos i hi hauria la possibilitat de provocar talls elèctrics que afectessin barris sencers o, fins i tot, districtes.

Una de les incerteses més importants d'aquest model va ser la manca de coneixement sobre la ubicació específica de les infraestructures elèctriques crítiques (de vegades situades en superfície i altres vegades subterrànies o amb elements d'autoprotecció que no sempre es coneixien). Per a l'anàlisi dels impactes, es va utilitzar una corba de vulnerabilitat (coneguda com a corba de fragilitat en el sector energètic) de la infraestructura elèctrica proposada per l'Agència Federal de Gestió d'Emergències dels EUA (FEMA). La corba relaciona la probabilitat de fallada d'una infraestructura elèctrica amb la profunditat d'inundació (Figura 29). Els resultats obtinguts a partir de l'anàlisi del percentatge d'àrea afectada (AAR) a cada subestació i de la corba de fragilitat es van calcular per obtenir una probabilitat de fallada i, posteriorment, es van classificar en tres categories de risc diferents:

- Categoria 1 ($10 \text{ cm} < \text{WDA} \leq 80 \text{ cm}$). Es compten totes les subestacions afectades dins dels 10 i 80 cm. 80 cm correspon a una probabilitat de fallada inferior al 3%. Aquests no es compten a la categoria següent.
- Categoria 2 ($80 \text{ cm} < \text{WDA} \leq 160 \text{ cm}$). Es compten totes les subestacions afectades dins dels 80 i 160 cm. 160 cm correspon a una probabilitat de fallada del 50%. Aquests no es compten a la categoria següent.
- Categoria 3 ($\text{WDA} > 160 \text{ cm}$). Es compten totes les subestacions afectades amb 160 cm de profunditat d'aigua o més.

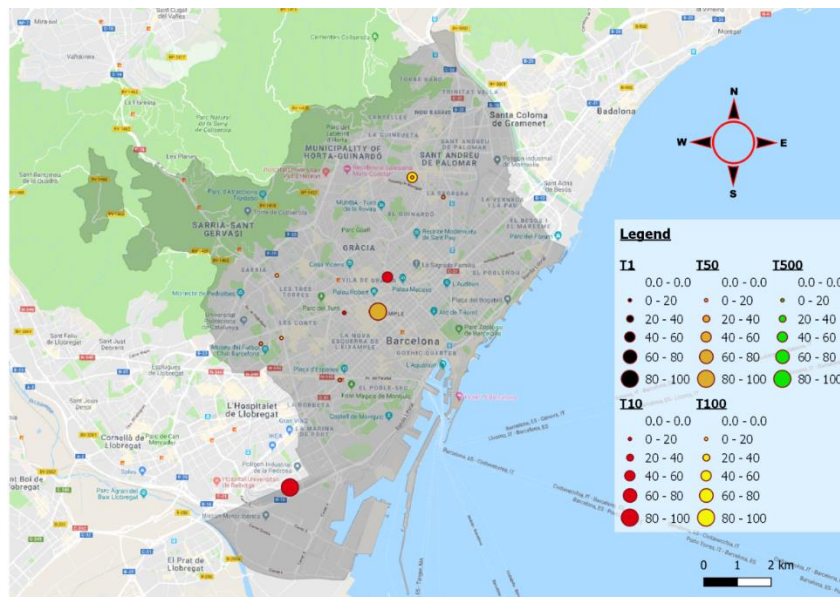
Figura 40. Explicació del llindar de categorització proporcionat, basat en la corba de fragilitat adaptada de FEMA, 2009.



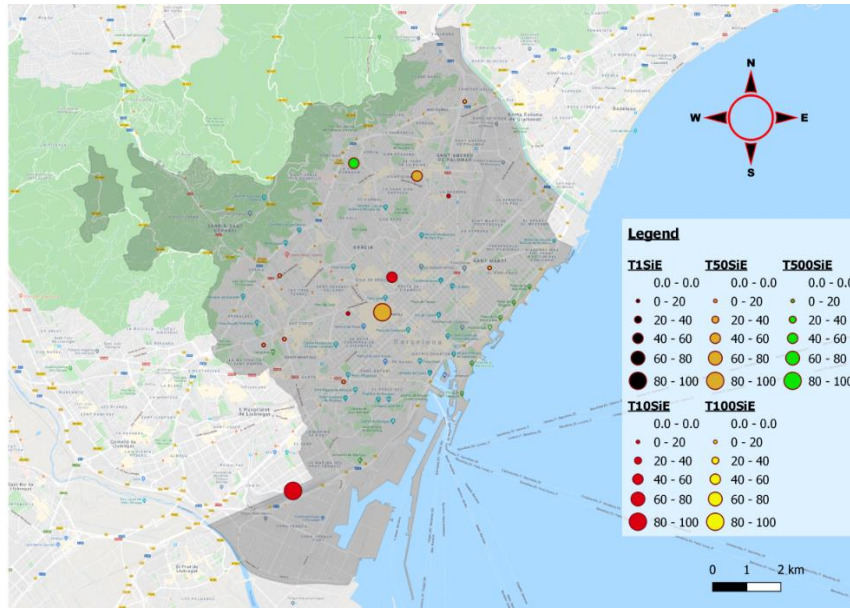
Tot i això, a les subestacions elèctriques de Barcelona només s'ha assolit la primera categoria.

A continuació es mostren els mapes d'infraestructures elèctriques afectades en cas d'inundacions per a l'escenari actual (BAS) i futur (BAU). Cal remarcar que les subestacions afectades en un període de retorn determinat també es veuen afectades en un període de retorn superior, però se superposen al període de retorn mostrat perquè totes dues presenten la mateixa mida i, en conseqüència, el mateix percentatge d'àrea afectada (AAR):

Mapa 45. Infraestructures elèctriques afectades en cas d'inundació urbana i el percentatge d'àrea afectat per a l'escenari actual.

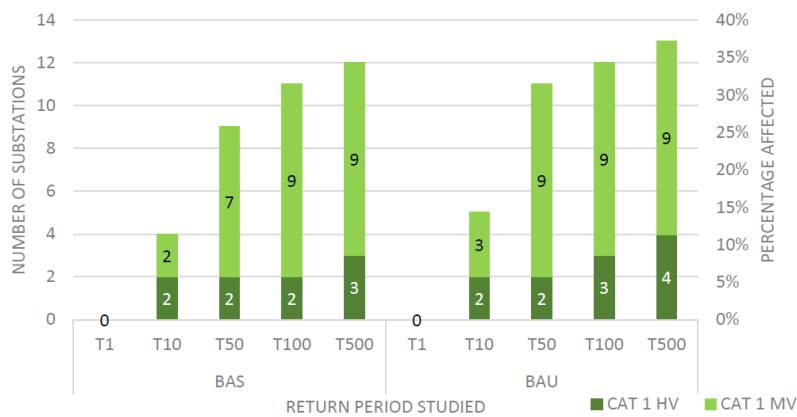


Mapa 46. Infraestructures elèctriques afectades en cas d'inundació urbana i el percentatge d'àrea afectat per a l'escenari futur.



A la Figura 41 es pot observar l'exposició de subestacions de diferents tensions a les inundacions. No hi ha afectacions per als períodes de retorn de T1 i és en el període de retorn T10 quan dues ubicacions de cada classe (MV i HV) comencen a afectar-se en l'escenari BAS i una subestació MT més en l'escenari BAU. A partir de la T50, el nombre de subestacions de MV exposades al perill d'inundació augmenta fins a nou en els dos escenaris i fins a tres subestacions d'alta tensió potencialment afectades a T500 en BAS i fins a quatre en BAU. Per tant, cal remarcar l'increment clar que es va produir des de l'escenari de referència fins a l'escenari normal de les subestacions exposades al perill d'inundació.

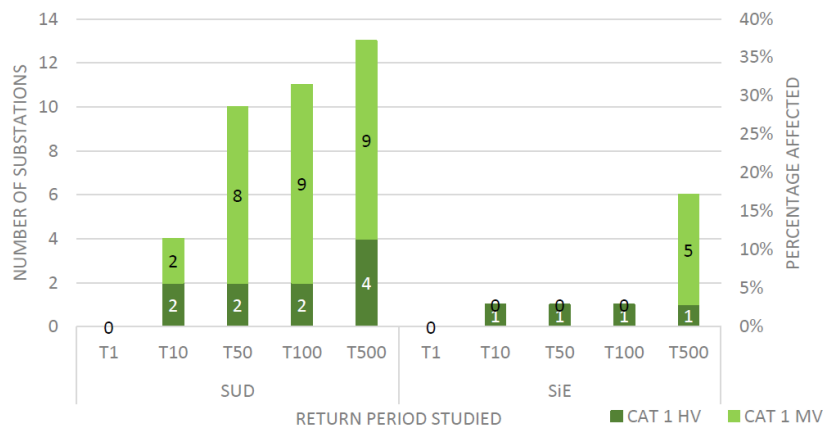
Figura 41. Nombre de subestacions afectades en els escenaris actual (BAS) i futur (BAU) i els seus percentatges sobre el total de subestacions ubicades a Barcelona.



L'avaluació de la reducció del risc d'inundació del sistema elèctric a Barcelona s'ha fet d'acord amb els dos escenaris d'adaptació (SUD i SiE) i seguint la mateixa metodologia i criteris adoptats per als escenaris Baseline i BAU. A la figura xx es resumeixen els resultats numèrics dels llocs potencialment afectats per inundacions després d'aplicar les mesures de prevenció que contenen els models SUD i SiE. Per a l'escenari d'adaptació SUD, quatre subestacions semblen estar potencialment afectades per inundacions a T10 (2 MV i 2 HV), 10 subestacions a T50 (8 MV i 2 HV), 11 subestacions a T100 (9 MV i 2 HV) i 13 en el període de retorn T500 (9 MV i 4 HV). Això significa que, en el pitjor dels casos, el 37% de les subestacions de Barcelona estarien exposades a inundacions.

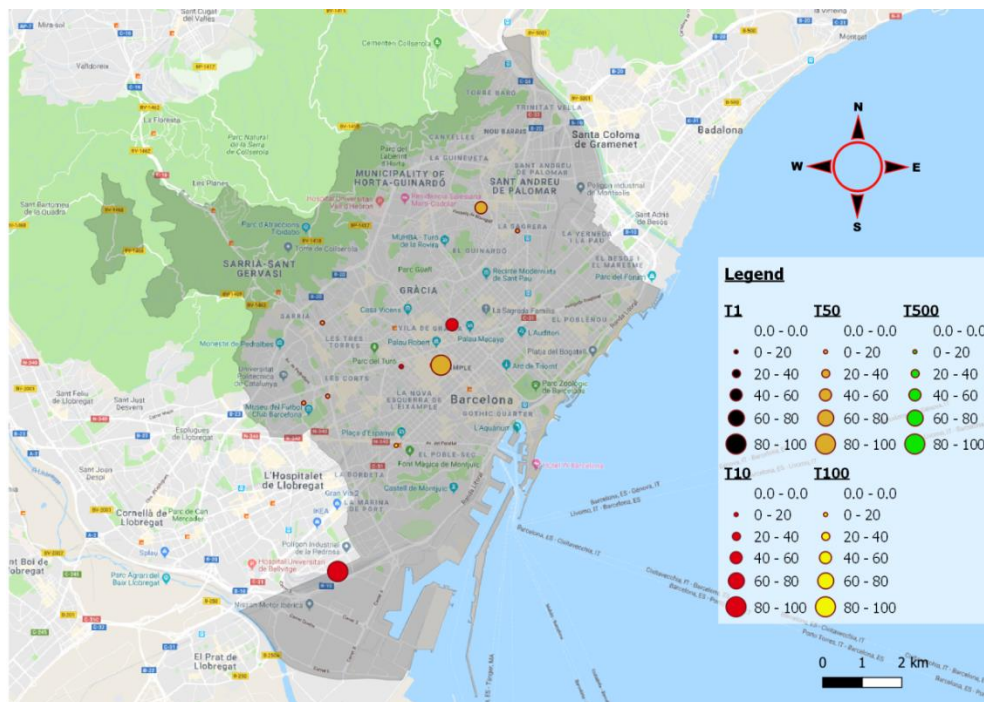
Tanmateix, quan s'aplica la combinació de mesures SUDS i mesures estructurals (SiE), només s'exposa una subestació HV, mentre que tan sols s'exposen cinc subestacions MT quan es produeix un esdeveniment d'inundació T500. Així, el pitjor dels casos seria durant una inundació de la T500 en què estarien exposades el 18% de les subestacions de Barcelona (Figura 42).

Figura 42. Nombre de subestacions afectades en els escenaris d'adaptació 1 (SUD) i adaptació 2 (SiE) i els seus percentatges sobre el total de subestacions ubicades a Barcelona.

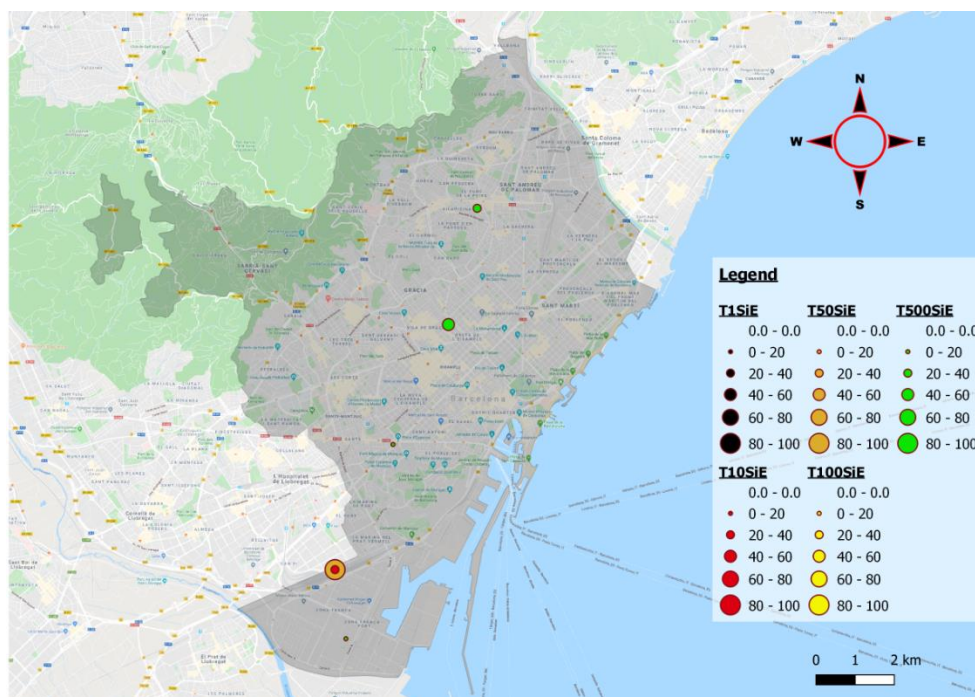


A continuació es mostren els mapes d'afectació de les diferents infraestructures elèctriques en cas d'inundació per a l'escenari futur tenint en compte l'escenari d'adaptació 1 (SUDS) i l'escenari d'adaptació 2 (SiE):

Mapa 47. Representació de les diferents subestacions afectades després d'aplicar les mesures d'adaptació 1 (SUD) a l'escenari BAU, per als diferents períodes de retorn analitzats i tenint en compte la taxa d'àrea afectada (0-100%).

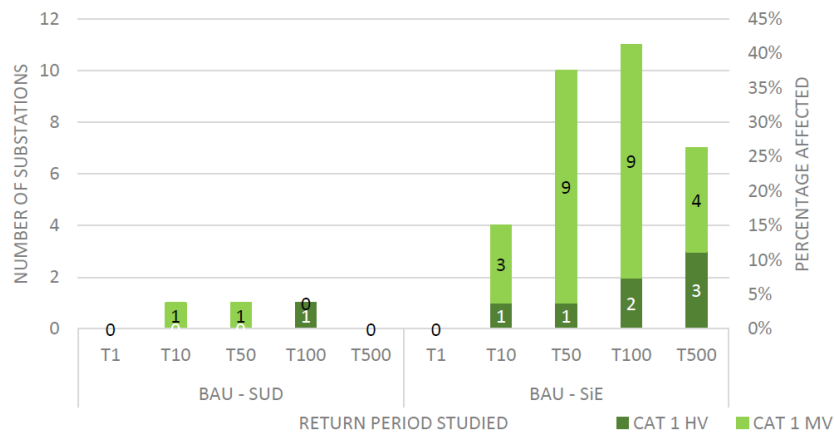


Mapa 48. Representació de les diferents subestacions afectades després d'aplicar les mesures d'adaptació 2 (SiE) a l'escenari BAU, per als diferents períodes de retorn analitzats i tenint en compte la taxa d'àrea afectada (0-100%).



La figura 43 presenta la comparació entre l'escenari BAU i els escenaris d'adaptació SUD i SiE un cop s'apliquen les mesures d'adaptació:

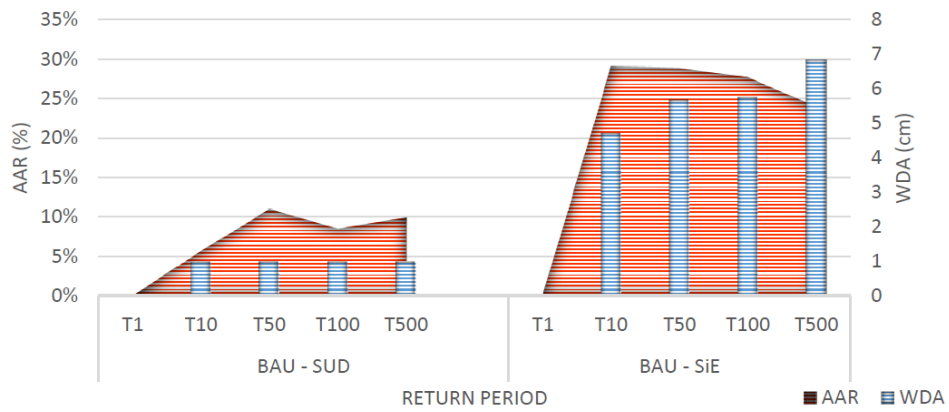
Figura 43. Comparació de l'escenari BAU-SUD amb BAU-SiE, en què es mostra el nombre de subestacions que estan fora de perill en l'escenari BAU aplicant els diferents conjunts de mesures de prevenció i el percentatge de reducció assolida.



Per representar l'eficàcia de les mesures considerades, els resultats s'expressen en termes de reducció del nombre de llocs afectats després d'aplicar mesures d'adaptació i en termes de percentatge de reducció sobre el nombre total de subestacions. Per tant, quan s'apliquen SUDS, es mostra com s'elimina una subestació del risc d'inundació. Per tant, es pot afirmar que les mesures SUDS no són molt efectives pel que fa al sector elèctric. A la figura 33 també es mostra com la reducció d'AAR aconseguida per a tots els períodes de retorn és d'aproximadament un 10%.

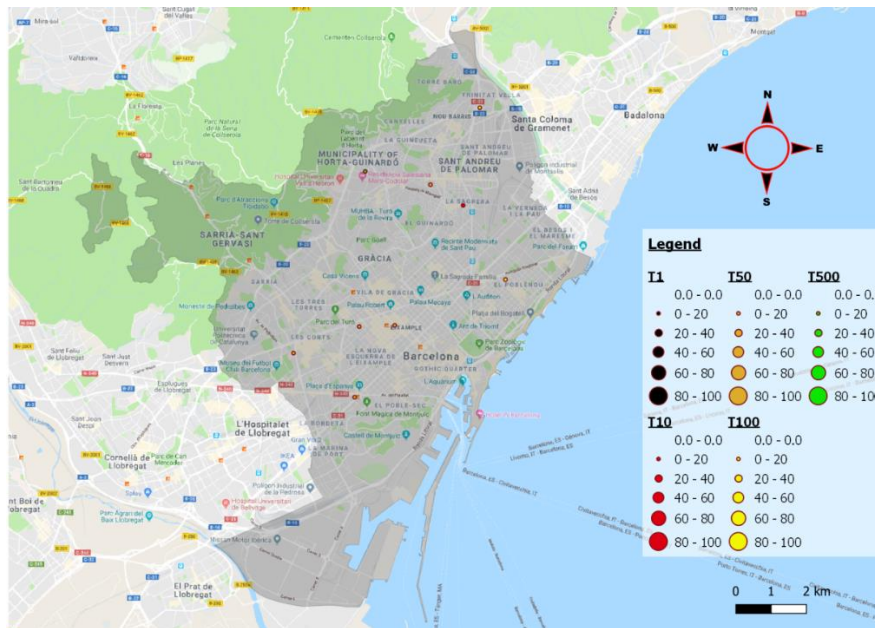
L'eficàcia augmenta considerablement quan també s'apliquen mesures estructurals (SiE). La figura 44 mostra com es redueix el nombre de subestacions afectades en 4 per a T10, 10 per a T50, 11 per a T100 i 7 per a T500, de manera que, en el millor dels casos, disminueix fins a un 47% tenint en compte els dos tipus de subestacions (MV i HV). Quan es tenen en compte les mitjanes, és possible veure una reducció mitjana de l'AAR afectada de prop d'un 30% i de 5 a 7 cm de profunditat d'aigua menys (WDA) (Figura 39).

Figura 44. Mitjana de reducció de la taxa de superfície afectada i profunditat de l'aigua Mitjana assolida aplicant els diferents conjunts de mesures de prevenció (SUD i SiE) per a cada període de retorn analitzat.

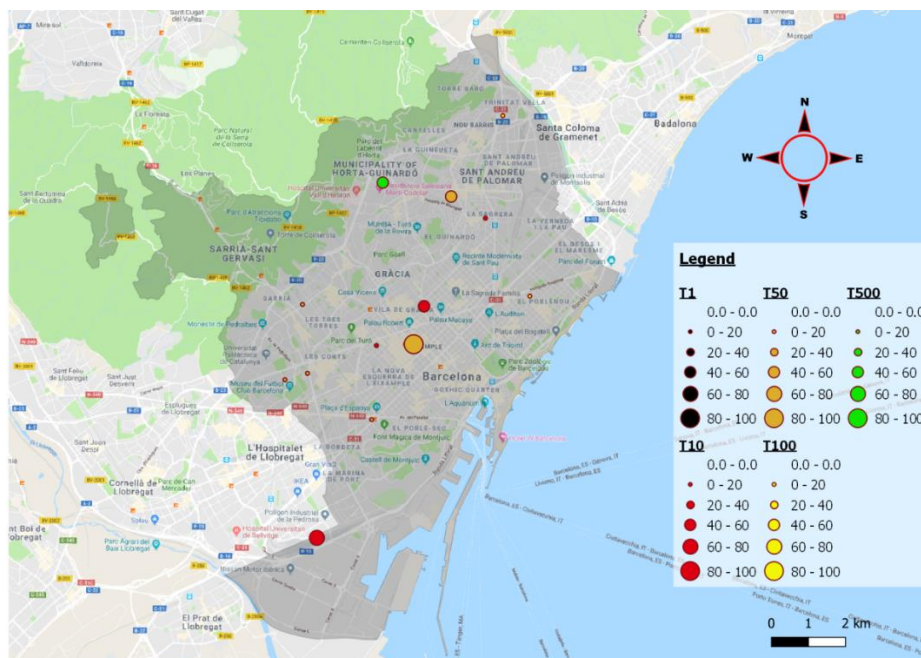


A continuació es mostren els mapes de reducció d'àrea afectada en cas d'inundació per a les diferents infraestructures elèctriques aplicant les diverses mesures d'adaptació a l'escenari futur:

Mapa 49. Representació de les subestacions on es va reduir la taxa d'àrea afectada després d'aplicar les mesures d'adaptació 1 (SUD) a l'escenari BAU per al diferent període de retorn analitzat i tenint en compte la taxa d'àrea afectada (0-100%).



Mapa 50. Representació de les subestacions on es va reduir la taxa d'àrea afectada després d'aplicar les mesures d'adaptació 2 (SiE) a l'escenari BAU per al diferent període de retorn analitzat i tenint en compte la taxa d'àrea afectada (0-100%).



4 Anàlisi dels impactes derivats de la pujada del nivell del mar: afectació a les platges, infraestructures i serveis costaners

L'objectiu d'aquest model és avaluar els impactes de l'augment del nivell del mar a causa del canvi climàtic en diferents zones i estructures costaneres:

- Espigons dels punts de descàrrega del sistema unitari de drenatge
- Platges (superfície real de 30,32 ha)
- Drassanes
- Espigons dels ports
- Molls del port
- Delta del riu Besòs
- Delta del riu Llobregat
- Canonades de descàrrega del sistema unitari de drenatge

El model es basa en una simple 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. S'ha de remarcar que l'anàlisi considera només l'efecte de pujada del nivell del mar sense tenir en compte l'onatge i les marees.

L'anàlisi comparativa entre zones inundades reals i futures per a la costa i les seves infraestructures associades pren com a hipòtesi principal i punt de partida que en l'escenari actual no s'hi veuen afectades, 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:

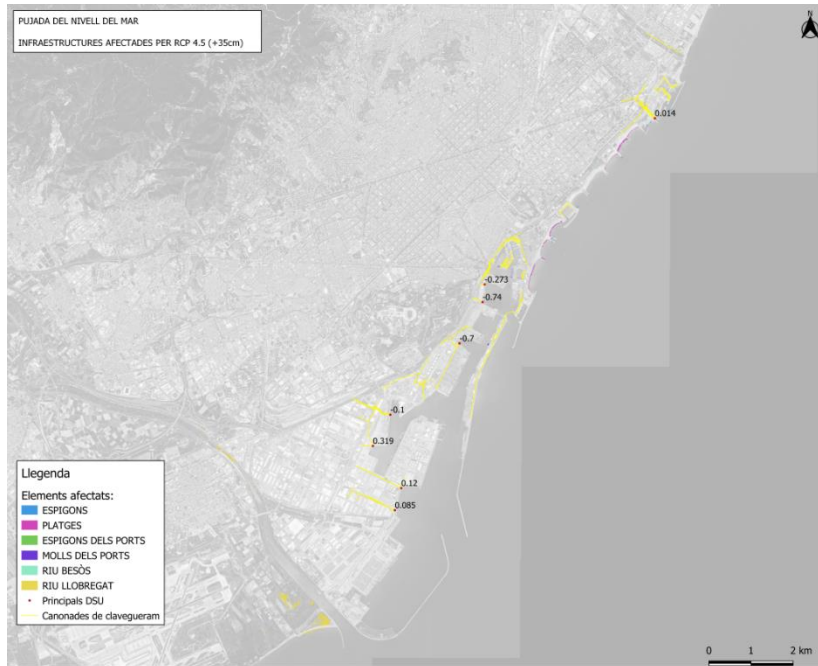
- Pujada del nivell del mar mitjà de 35 cm segons l'RCP 4.5
- Pujada del nivell del mar mitjà de 50 cm segons l'RCP 8.5

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

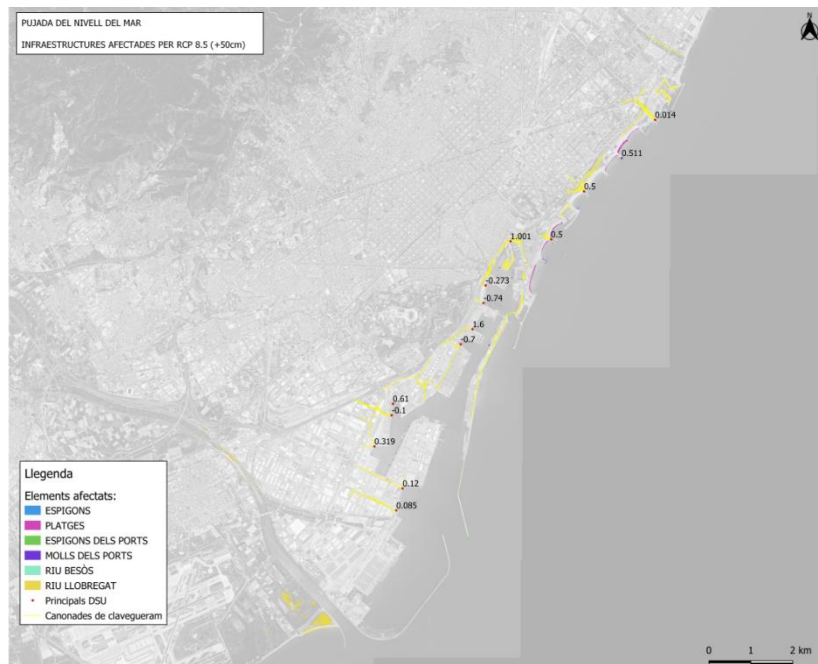
- Principals punts de descàrrega del sistema unitari (DSU) i canonades que podrien ser parcialment inundades per l'augment del nivell del mar (i produir-se, a més, el problema indirecte de la introducció de salinitat en el sistema de sanejament).
- Platges permanentment inundades (pràcticament perdudes),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

Els mapes representen els elements vulnerables potencialment exposats a inundar-se per culpa de la pujada del nivell del mar per als dos escenaris futurs:

Mapa 51. Principals afectacions per a l'escenari RCP 4.5 2070-2100



Mapa 52. Principals afectacions per a l'escenari RCP 8.5 2070-2100



Conclusions

Prenent com a referència l'estat actual en què les platges ocupen una superfície de 30,32 ha, aquesta superfície es veurà reduïda aproximadament 3,35 ha (aproximadament un 11% del

total) en el cas de 35 cm d'augment mitjà del nivell del mar i 5 ha (aproximadament un 17% del total) en el cas de 50 cm d'augment mitjà del nivell del mar.

A la taula següent es poden observar les superfícies (en ha) inundades de les diferents platges de Barcelona, excepte per a la platja del Bogatell, que no es veuria afectada en cap dels dos escenaris de futur previstos:

Platges	RCP 4.5 (+35 cm)	RCP 8.5 (+50 cm)
La Barceloneta	0,29	0,46
Llevant	0,28	0,38
Mar Bella	0,23	0,42
Nova Icària	0,00	0,02
Nova Mar Bella	0,93	1,40
Somorrostro	0,70	0,90
St. Sebastià-St. Miquel	0,92	1,42
Total general	3,35	5,00

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:

Dades del model GIS de pujada del nivell del mar	Àrea costanera inundada (ha) per a una pujada del nivell del mar de 35 cm (RCP 4.5)	Àrea costanera inundada (ha) per a una pujada del nivell del mar de 50 cm (RCP 8.5)
Espigons dels punts de descàrrega del sistema de drenatge	0,72	1,26
Drassanes	0,95	0,96
Espigons	1,34	3,46
Molls de zones portuàries	0,41	0,56
Delta del Besòs	0,07	0,16
Delta del Llobregat	13,16	20,11

5 Anàlisi dels impactes sobre la disponibilitat d'aigua.

El subministrament d'aigua a Barcelona està garantit pels recursos hídrics de les conques del Llobregat i del Ter i depèn bàsicament dels volums d'aigua emmagatzemats al seu sistema d'embassaments (Fig. 40).

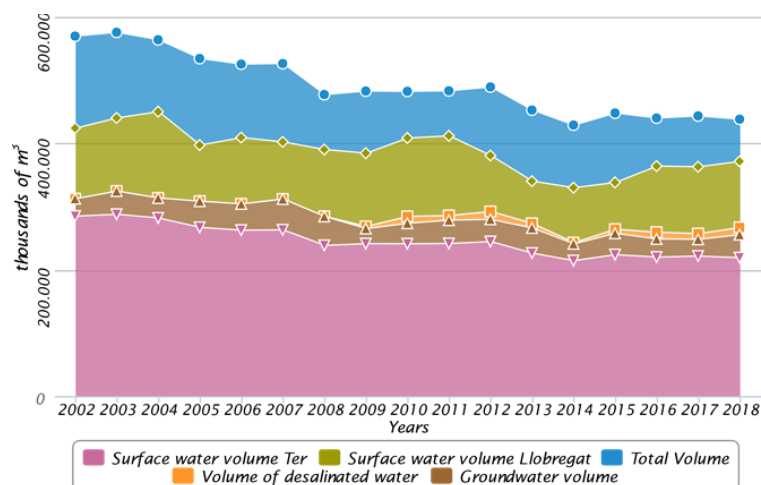
Figura 45. Sistema d'embassaments a les conques del Ter i el Llobregat. Font: ⁵.



Quan aquests volums són inferiors a alguns nivells específics establerts pel pla de sequera desenvolupat per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), la ciutat pot entrar en diversos estats de sequera, cadascun dels quals comporta diverses restriccions (activitats d'oci, reg, usos industrials, reducció de pressió a les canonades, etcètera). A la figura 41 es pot observar com els recursos hídrics disponibles han anat disminuint durant els darrers 20 anys.

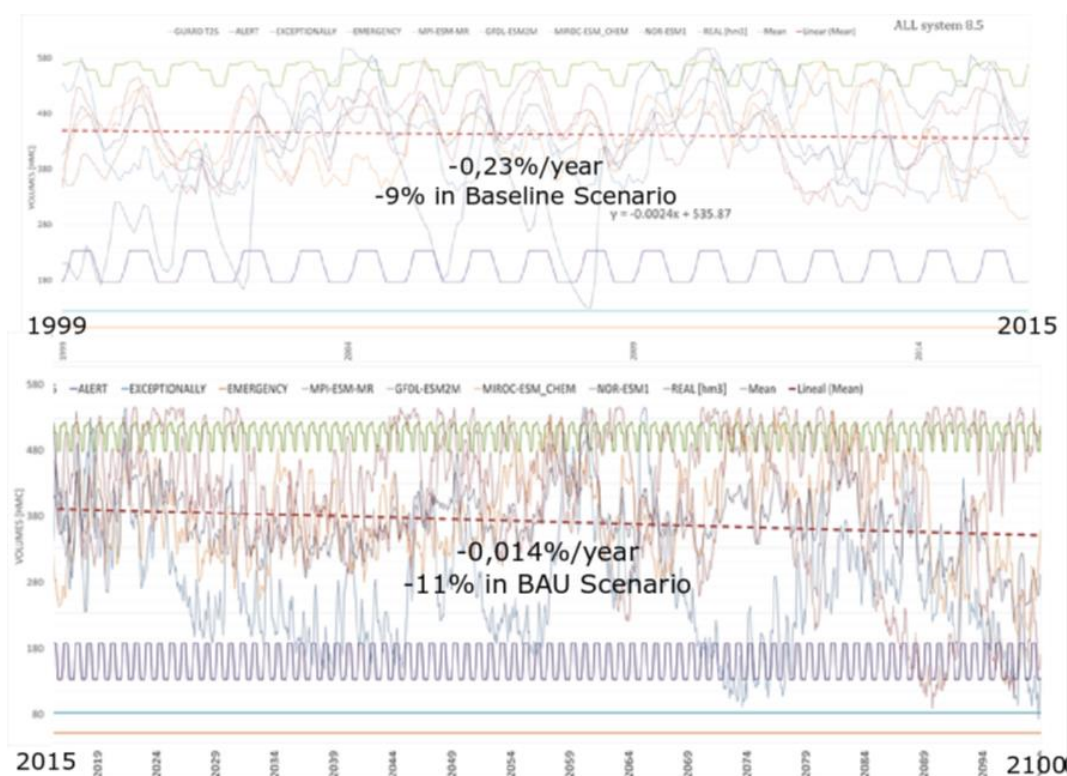
⁵ Forero-Ortiz, E., Martínez-Gomariz, E., & Monjo, R. (2020). Climate Change Implications for Water Availability: A Case Study of Barcelona City. *Sustainability*, 12(5), 1779. <https://doi.org/10.3390/su12051779>

Figura 46. Disminució dels recursos hídrics de la ciutat durant els últims 20 anys.



L'objectiu d'aquest model de recursos hídrics i de sequera és representar les aportacions d'aigua que entren als embassaments en una escala de temps mensual en funció de la precipitació caiguda sobre les subconques de cada embassament.

Figura 47. Resultats de la simulació del model hidrològic utilitzat.



Les simulacions de les aportacions de volum a cada embassament s'han dut a terme aplicant un sistema de modelització hidrològica integrat desenvolupat a l'Institut Hidrològic Meteorològic

Figura 48. Resultats de la simulació del model hidrològic utilitzat.

de Suècia (model HBV). El model aplica tres mòduls d'embassament diferents: un simula el comportament del sòl, el segon l'embassament superior i, finalment, l'embassament inferior que representa el cabal de la base de les aigües subterrànies i que s'ha considerat adequat per reproduir les aportacions dels embassaments sobre les conques del Llobregat i del Ter.

El resultat de les simulacions efectuades indica que la disponibilitat d'aigua disminuirà plausiblement en aquest segle XXI per al sistema conjunt d'embassaments. Les intercorrelacions entre els nou models executats van proporcionar una línia de tendència del comportament previst del volum d'aigua al sistema d'embassaments. Per al 2019–2100, els models pronostiquen una reducció mitjana de la disponibilitat d'aigua de l'11% de cara al 2100 i un 9% de cara al 2050. Aquests resultats estan alineats amb altres estudis anteriors (Figura 43). Aquests canvis en la disponibilitat d'aigua sostenible tindrien conseqüències a escala de ciutat, tant per a les condicions socioeconòmiques com per als ecosistemes.

Figura 49. *Estudis sobre la reducció de recursos hídrics esperada per a Barcelona als anys 2050 i 2100.*

Study	Mean Expected Reduction by 2050	Mean Expected Reduction by 2100
Climate change impacts study in Barcelona—water cycle [10]	12%	No Data
RESCCUE Project	9%	11%
Water and climate change. Diagnosis of the impacts predicted in Catalonia [17,37]	7%–15% according to diverse scenarios	No Data

6 Conclusions

- El resultat de les simulacions del model de drenatge urbà és la identificació dels punts crítics amb problemes d'inundacions històriques més importants de la ciutat (Mapa 5, pàg. 9).
- Tenint en compte que el sistema de clavegueram de Barcelona ja pateix desbordaments en el 24% de la xarxa per a una pluja amb un període de retorn de freqüència mitjana (T10), s'estima que amb l'efecte negatiu del canvi climàtic aquest valor s'incrementarà un 4%, fins a arribar al 28% de desbordaments de la xarxa, assolint valors del 44% per a pluges amb període de retorn menys habituals (T100).
- Pel que fa al risc per a les persones, i les afectacions provocades en cas d'inundació a l'estabilitat de vianants i vehicles, les zones d'alt risc augmentaran de l'ordre del 30%, la qual cosa implica passar de 240 a 312 ha de la superfície transitable de la ciutat per als vianants i de 110 a 148 ha per als vehicles, per al període de retorn de 10 anys. Si considerem el període de retorn de 100 anys, aquestes superfícies amb perill alt serien de 585 ha actualment i s'incrementarien fins a 762 ha (12,4% de la superfície total transitable de la ciutat) per als vianants. Per als vehicles passariem de les 318 ha actuals a 433 ha per a l'escenari futur (7,1% de la superfície total transitable de la ciutat).
- L'afectació a la xarxa viària, pel que fa a reducció de la velocitat i talls de carrers provocats per inundacions, també empitjora amb el canvi climàtic. Comparant els resultats dels escenaris actual i futur, del total de 1.492 km de xarxa viària, entre el 13% i el 21% dels carrers —per als períodes de retorn T10 i T100, respectivament— experimentaran reduccions de velocitat, mentre que el nombre de carrers tallats en l'escenari futur de canvi climàtic s'incrementa de l'ordre del 20% en tots els períodes de retorn, cosa que es tradueix en aproximadament 30 km de carrers tallats per al període de retorn de 10 anys i uns 60 km de carrers tallats per al període de retorn de 100 anys.
- En analitzar l'afectació dels contenidors de residus urbans mitjançant l'avaluació del perill de lliscament i bolcada provocat per inundacions amb període de retorn de 50 anys i tenint en compte el seu grau d'ompliment, trobem que un 17% del total de contenidors de la ciutat estudiats perden l'estabilitat en l'escenari actual i que aquesta quantitat podria augmentar fins al 22% amb les condicions de pluges futures, la qual cosa implica un increment del 28% en el nombre de contenidors buits potencialment inestables a conseqüència del canvi climàtic.
- El model de contaminació d'aigües marines per descàrregues al medi receptor del sistema unitari de drenatge, que simula les afectacions en la qualitat de l'aigua per contaminació del bacteri *E. coli*, mostra que durant la temporada de bany les platges podrien patir fins a 3,22 dies de tancament amb bandera vermella per baixa qualitat de l'aigua.

- Els barris més afectats per danys a les propietats són el Raval, el Parc i la Llacuna del Poblenou, Sant Andreu, Sant Antoni, l'Esquerra de l'Eixample, la Marina del Prat Vermell i la Zona Franca. Actualment, la ciutat pateix danys a les propietats per valor de 56 milions d'euros per un episodi de pluja amb període de retorn de 10 anys i de 186 milions d'euros per un episodi de pluja amb període de retorn de 100 anys. Amb les pluges futures, agreujades pel canvi climàtic, aquests danys empitjoren significativament entre un 35% i 40% per als períodes de retorn de 10 i 100 anys, respectivament, de manera que els danys provocats s'estimen en 75 milions d'euros i 260 milions d'euros per als períodes de retorn de 10 i 100 anys, respectivament
- La principal conclusió derivada de la modelització del sistema elèctric de la ciutat és la necessitat d'aprofundir més en aquest àmbit, donat que els resultats del projecte es basen en un seguit d'hipòtesis i premisses elaborades amb dades estimatives i no reflecteixen la realitat del sistema.
- Les principals afectacions al litoral per la pujada del nivell de mar es produeixen a les platges de la ciutat, les quals perdran aproximadament 3,36 ha (aproximadament un 11% del total) en el cas de 35 cm de pujada mitjana del nivell del mar per a l'escenari RCP 4.5 a finals de segle i 5,03 ha (aproximadament un 17% del total) en el cas de 50 cm de pujada mitjana del nivell del mar per a l'escenari RCP 8.5 a finals de segle.
- Els resultats de l'anàlisi de la capacitat d'abastament del sistema d'embassaments de les conques del Ter i el Llobregat indiquen una disminució de l'11% dels recursos hídrics a finals de segle, considerant el pitjor dels escenaris de canvi climàtic.