

**PLA
CLIMA**



ESTUDI DELS IMPACTES DEL CANVI CLIMÀTIC A BARCELONA



CAPÍTOL III

INUNDABILITAT URBANA

BR

BARCELONA
REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ

Ajuntament de
Barcelona



CLIENT



Ajuntament
de Barcelona

REDACCIÓ



BARCELONA
REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ

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

www.bcnregional.com
br@bcnregional.com

COORDINACIÓ

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

COL·LABORACIÓ

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

i l'equip tècnic i administratiu de Barcelona Regional

DIRECCIÓ PER PART DE L'AJUNTAMENT DE BARCELONA

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

I L'EQUIP TÈCNIC:

Benjamí Gauchía Legal
Antoni González Gómez
Patricia Lacera Martínez

© 2017, BARCELONA REGIONAL



ÍNDEX

1. PRESENTACIÓ	5
1.1. INTRODUCCIÓ	7
1.2. EL CICLE HIDROLÒGIC URBÀ.....	9
2. ANÀLISI I DIAGNOSI	13
2.1. EL SISTEMA DE DRENATGE DE BARCELONA.....	15
2.2. EL RÈGIM DE PLUGES ACTUAL I TENDÈNCIES OBSERVADES	19
2.3. IDENTIFICACIÓ DE LES ZONES AMB MAJOR PERILL D'INUNDACIÓ. SITUACIÓ ACTUAL.....	27
2.3.1. Metodologia	27
2.3.2. Anàlisi de la capacitat de la xarxa de clavegueram. Situació actual	28
2.3.3. Pendent del terreny	30
2.3.4. Superfície de conca aportant.....	31
2.3.5. Ponderació de factors. Plànol de perillositat.....	32
2.4. PROJECCIONS DEL CANVI CLIMÀTIC EN RELACIÓ AL RÈGIM DE PLUGES.....	34
2.4.1. Caracterització i evolució dels escenaris de canvi climàtic	34
2.4.2. Projeccions realitzades per diferents organismes	36
2.5. ESTUDIS PREVIS SOBRE LA RELACIÓ ENTRE INUNDABILITAT I CANVI CLIMÀTIC	46
2.6. ANÀLISI DE L'EFECTE DEL CANVI CLIMÀTIC SOBRE EL PERILL D'INUNDACIÓ DE LA CIUTAT	49
2.6.1. Metodologia	49
2.6.2. Anàlisi de la capacitat de la xarxa de clavegueram. Escenaris de futur.....	49
2.6.3. Ponderació de factors. Plànol de perillositat.....	53
3. CONCLUSIONS.....	57
4. RECOMANACIONS.....	61
5. BIBLIOGRAFIA	67
6. ANNEXOS	71

1. PRESENTACIÓ

1.1. Introducció

1.2. El cicle hidrològic urbà



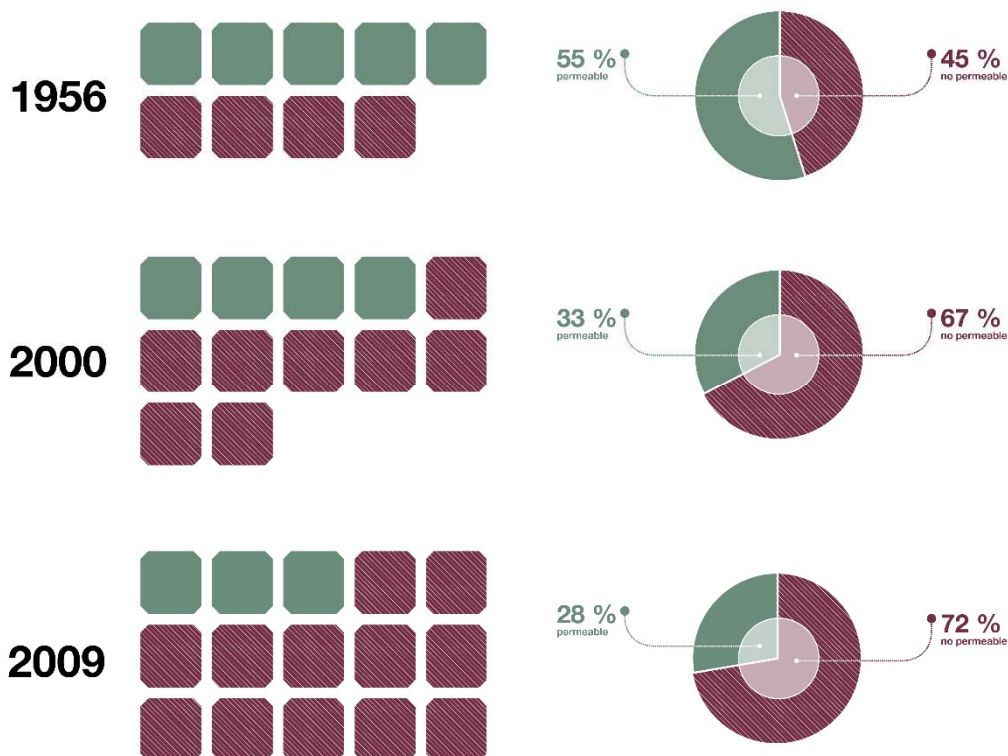
1.1. INTRODUCCIÓ

La configuració i ordenació de la ciutat de Barcelona, d'una manera o altra ha vingut condicionada per l'aigua. El seu encaix entre la serralada de Collserola, el mar i dos rius, la presència de cursos d'aigua i torrenteres naturals, o les canalitzacions per al seu abastament, han anat configurant al llarg del temps la seva morfologia.

El perfil del seu terreny, amb forts pendents en la seva part alta propera a Collserola, els seus turons amb suaus desnivells en les seves parts baixes, sumat a l'alt grau d'impermeabilització i artificialització dels cursos naturals d'aigua, són alguns dels aspectes que la fan especialment vulnerable davant episodis torrencials de pluja, provocant la inundació d'algunes zones de la ciutat.

Entre l'any 1956 i l'any 2009 Barcelona va augmentar la seva superfície impermeable en més de 2.800 ha, passant d'un 45% a un 72% sobre el total del municipi.

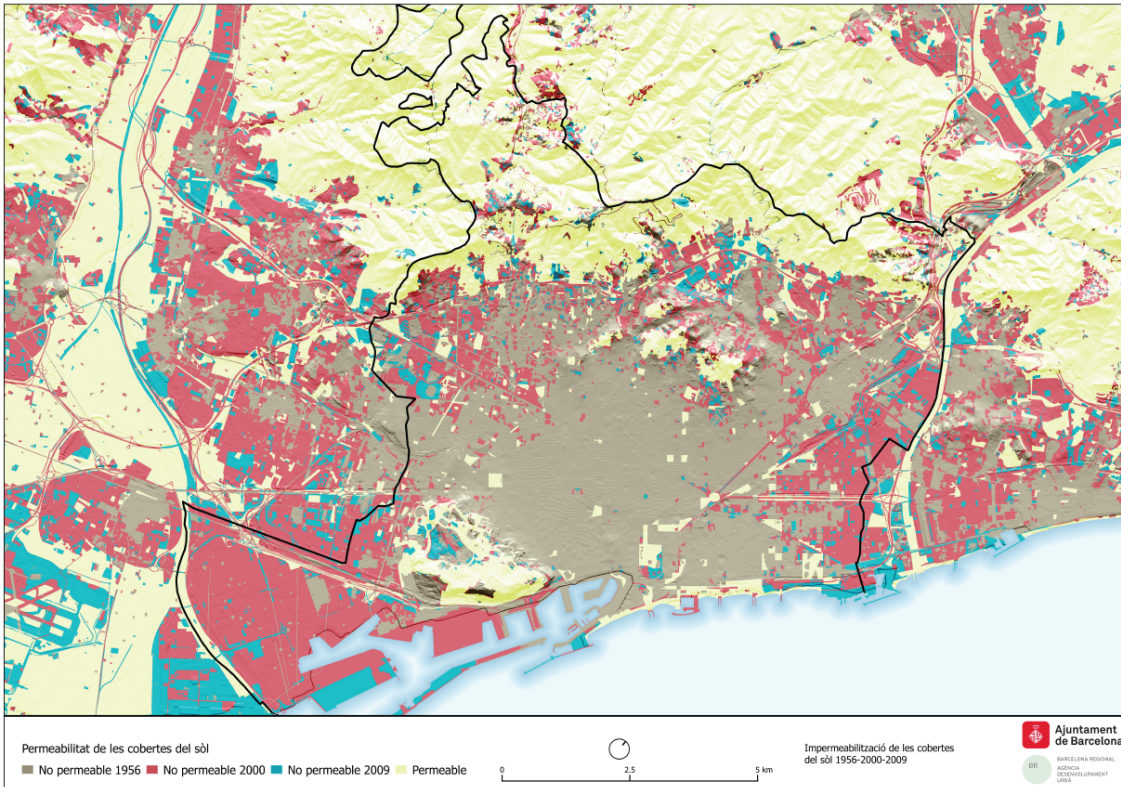
Imatge 1: Evolució del grau d'impermeabilitat a la ciutat de Barcelona i entorns (1956-2009)



Font: Barcelona Regional

Per altra banda, el creixement de la ciutat s'ha produït en general de mar cap a muntanya, el què ha anat carregant la xarxa de drenatge de les zones baixes, ja de per sí més fàcilment inundables pel seu escàs pendent. Aquest creixement de baix cap a dalt ha concentrat els trams més antics de la xarxa en els punts més crítics, ha provocat un augment de la càrrega hidràulica dels col·lectors de la part baixa de la ciutat, el què ha fet que en molts casos esdevinguessin autèntics colls d'ampolla del sistema.

Imatge 2: Evolució del grau d'impermeabilitat a la ciutat de Barcelona i entorns (1956-2009)



Font: Barcelona Regional

Aquest efecte es veu incrementat per les característiques del clima de la ciutat. A gran escala, el clima mediterrani es caracteritza per la concentració de la major part de les pluges anuals en pocs episodis d'alta intensitat de precipitació. En particular, la proximitat al mar, a la serra de Collserola, i les seves condicions de gran ciutat, esdevenen elements que afavoreixen a més el creixement de processos convectius de precipitació, dificultant encara més l'evacuació d'aigua.

Les tendències generals observades de canvi climàtic indiquen entre d'altres, un increment en la intensitat de les pluges, i per tant un increment dels cabals circulants, posant a prova el sistema de drenatge de la ciutat.

Per tant, i segons la nomenclatura definida per al conjunt de *l'Estudi dels Impactes del Canvi Climàtic a Barcelona*, en aquest capítol s'estima el perill d'inundació urbana com a conseqüència de la variació de la intensitat de les pluges i de la capacitat del sistema de drenatge de la ciutat.

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

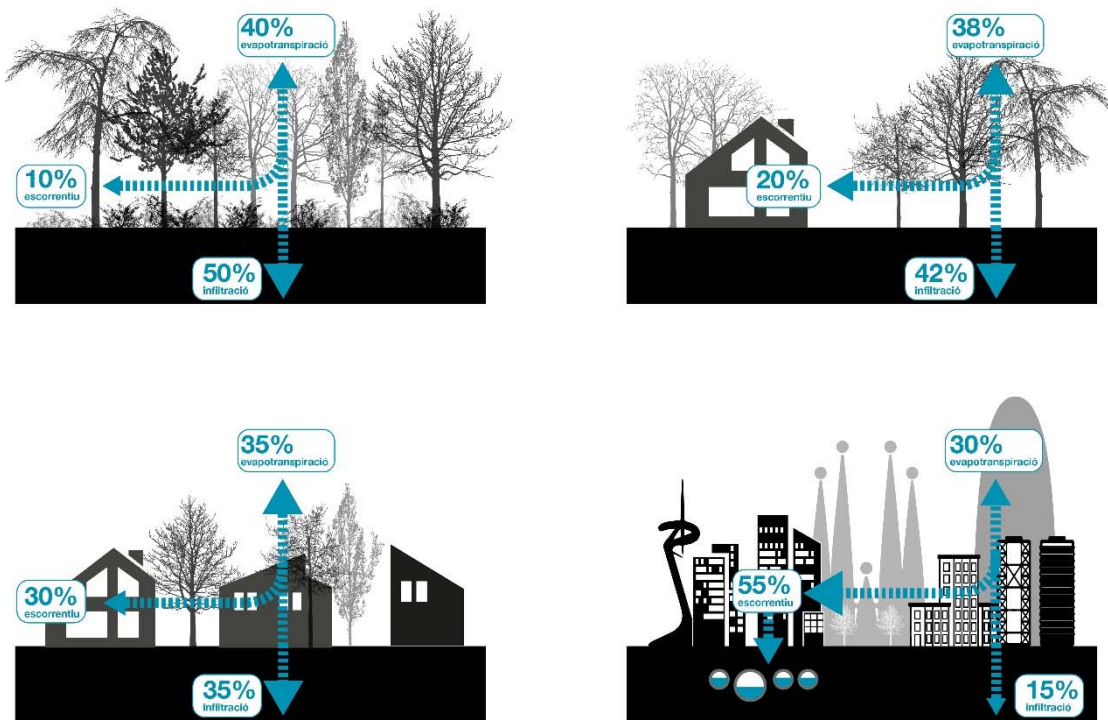
- **Perill** es pot definir com la freqüència i intensitat (o magnitud) amb la que un determinat fenomen natural o antròpic impacta en un espai determinat.
- Per **vulnerabilitat**, s'entén la predisposició intrínseca d'un sistema (subjecte, grup, element físic, ecosistema, etc.) a ser afectat per un perill.
- **Risc** és la resultant de considerar el perill i la vulnerabilitat, valorant com cada sistema es veu afectat per un perill determinat.

Així doncs, en els següents apartats s'analitza amb més detall quines eines té la ciutat per a donar resposta a episodis de pluja, quines són les seves lògiques i a quins escenaris de futur indiquen les previsions que s'haurà de fer front. En segona instància es detecten les zones de la ciutat a on el perill d'inundabilitat urbana pot incrementar-se, per a finalment en els darrers apartats, proposar mesures i accions que millorin la seva resposta.

1.2. EL CICLE HIDROLÒGIC URBÀ

El cicle hidrològic de l'aigua, que constitueixen les successives evaporacions, condensacions, precipitacions, filtracions i escorrentius de l'aigua, presenta un alt grau d'alteració en un entorn urbà com el nostre. L'escala dels fenòmens de l'evaporació i la condensació supera amb escreix l'àmbit d'una ciutat, estenent-se a distàncies que poden sobrepassar el miler de kilòmetres. Per altra banda, la precipitació, evaporació, escorrentiu, transpiració i emmagatzematge tenen una component local molt important. La primera en tant en quant la precipitació pot ser un fenomen d'abast limitat, pot ploure en un barri i en l'altre no, i la resta perquè el seu lliar depèn de les característiques i ordenació del territori on es produeixen.

Imatge 3: Efecte de la impermeabilització sobre l'escorrentiu i la infiltració



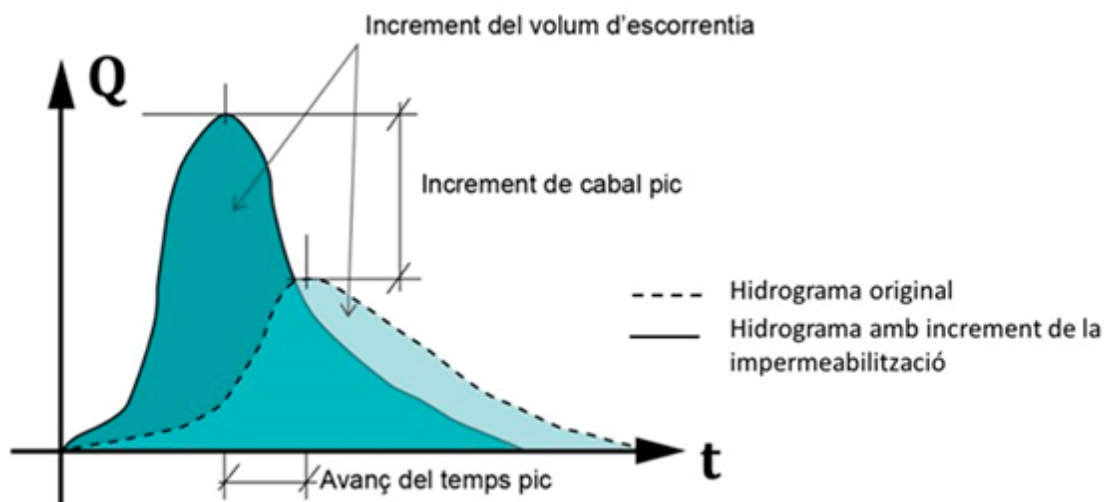
Font: Barcelona Regional a partir de dades d'Arnold and Gibbons (1996) Impervious Surface Coverage

En ambients rurals, al voltant del 50% caiguda en forma de precipitació s'infiltra i satura el terreny. Un 40% s'evapora, i el 10% restant s'escola per superfície en forma de torrents i rius fins arribar al mar o a una zona d'emmagatzematge. En un entorn urbà aquest repartiment varia en funció del grau d'impermeabilització. En zones densament poblades, com seria el cas de Barcelona, el percentatge d'infiltració es redueix al 15%, el 30% s'evapora i més de la meitat de l'aigua caiguda s'escola. La filtració de l'aigua cap al subsòl es limita a punts molt

concrets, com poden ser zones verdes, parterres¹ o escocells de l'arbrat. L'escorrentiu en aquest casos es produeix per dues vies: la circulació d'aigua en superfície i una altra a través de la xarxa de sanejament. Els rius i torrenteres es veuen substituïts en aquest cas per carrers i col·lectors, i la infiltració i alimentació del subsòl acaba sent testimonial.

A banda de la quantitat d'aigua de pluja que es transforma en escorrentiu, l'augment de la impermeabilització també té conseqüències sobre la forma i la temporalitat d'aquest escorrentiu. Per una banda, en baixar l'evaporació i la infiltració augmenta el volum d'aigua que escola. Per altra, es redueix el temps de concentració degut a què l'aigua circula més ràpidament per terrenys impermeables. Això produeix un augment del valor del cabal màxim (cabal pic) i l'avançament del temps en què es produeix. En definitiva, la impermeabilització augmenta el perill que provoca l'aigua circulant, ja que incrementa el seu cabal punta i redueix el temps de reacció de cara a adoptar alguna mesura per a mitigar els seus efectes.

Imatge 4: Efecte de la impermeabilització sobre l'hidrograma d'escorrentiu



Font: Barcelona Regional

La voluntat del planificador és evitar els riscos ocasionats per l'aigua de pluja controlant la que circuli per superfície i reduint les afeccions a persones, vehicles, bens immobles i al funcionament normal de la ciutat. L'equilibri entre inversions i limitacions del risc ha fet que la xarxa de clavegueram de Barcelona estigui dimensionada per a poder drenar pluges de fins a 10 anys de període de retorn, o el que és el mateix, per a pluges que anualment tinguin una probabilitat de superar-se del 10%.

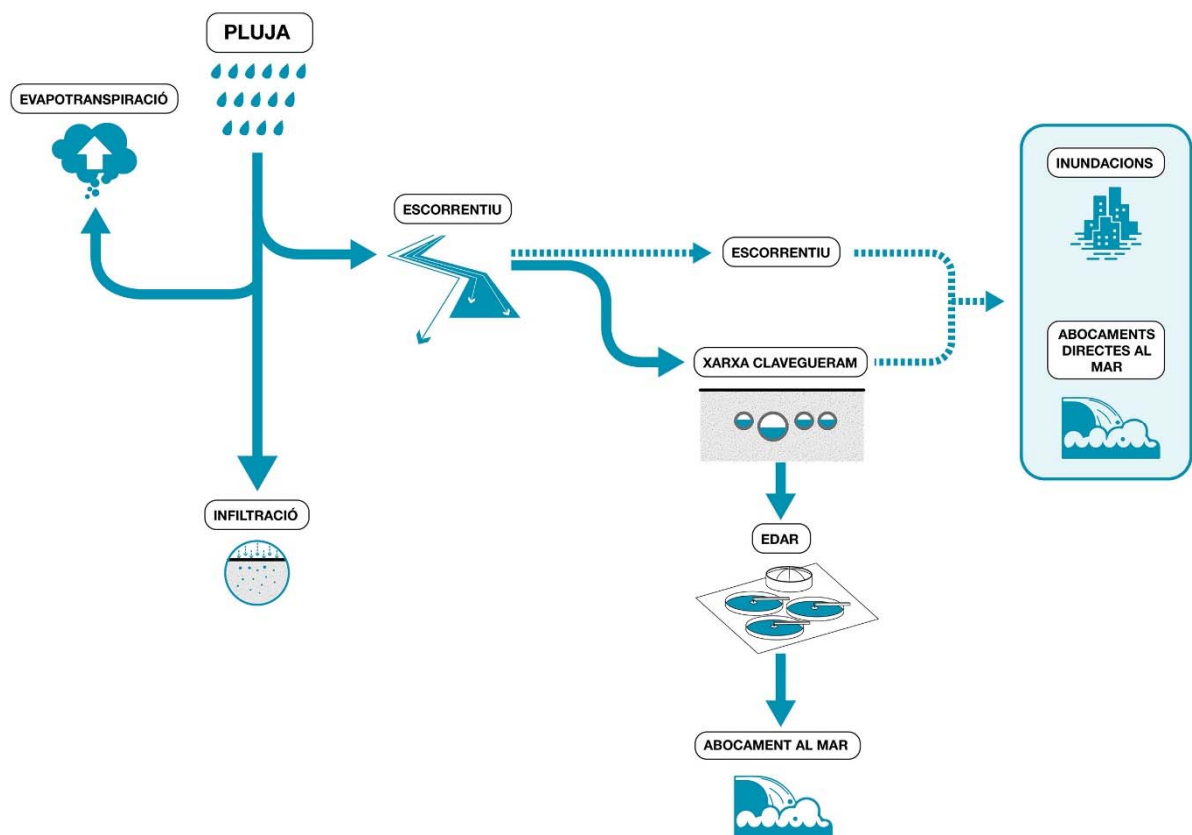
L'escorrentiu superficial acostuma a ser mínim, limitant-se al temps entre que l'aigua de pluja cau fins que entra a la xarxa de clavegueram. Tot i això, es pot produir també escorrentiu superficial quan la capacitat de captació d'aigua de reixes i embornals sigui insuficient, per la manca d'elements de captació, per insuficiència de capacitat de la xarxa de clavegueram, o bé perquè l'episodi de pluja supera els criteris de dimensionament de la xarxa (T=10 anys). Els primer factors es poden controlar i esmenar, quedant en mans de l'entitat responsable de la gestió del clavegueram poder-los solucionar. El segon però, queda fora del nostre control directe. Malauradament, i tal com es comenta en els propers apartats, estudis realitzats

¹ Sempre que no estiguin sobre infraestructures o vegin modificat el seu drenatge natural per un sistema de drenatge que condueixi les aigües inicialment filtrades cap a la xarxa de clavegueram.

indiquen que tot i que les precipitacions en el nostre entorn disminuiran en mitjana i nombre, sí que es detecta una tendència cap a l'augment de la seva intensitat, amb el que és de preveure que en un futur seran més freqüents episodis de pluja que superin la capacitat del nostre sistema de sanejament, incrementant així l'escorrentiu en superfície o els abocaments directes al medi sense cap tractament de depuració previ si no s'aplica cap mesura sobre la xarxa actual.

Conèixer el funcionament de la xarxa de sanejament, localitzant els punts crítics, i entendre com circularà l'aigua en superfície en cas d'episodis extrems, resulten aspectes claus per a saber en quina mesura el canvi climàtic afectarà a la nostra ciutat i de quina manera ens podem preparar per a minimitzar els seus efectes.

Imatge 5: Esquema del sistema hidrològic urbà



Font: Barcelona Regional

2. ANÀLISI I DIAGNOSI

- 2.1. El sistema de drenatge de Barcelona**
- 2.2. El règim de pluges actual i tendències observades**
- 2.3. Identificació de les zones amb major perill d'inundació. Situació actual**
- 2.4. Projeccions del canvi climàtic en relació al règim de pluges**
- 2.5. Estudis previs sobre la relació entre inundabilitat i canvi climàtic**
- 2.6. Anàlisi de l'efecte del canvi climàtic sobre el perill d'inundació de la ciutat**



2.1. EL SISTEMA DE DRENATGE DE BARCELONA

El sistema de drenatge de Barcelona va ser concebut des del seu origen com un sistema unitari, i com a tal, realitza una doble funció: per una banda conduir les aigües residuals generades a la ciutat cap a l'interceptor de residuals que porta les aigües fins a l'estació depuradora d'aigües residuals (EDAR) per a que puguin ser tractades i abocades al medi receptor amb una qualitat adequada, i per altra drenar les aigües de pluja, evitar inundacions i també impedir abocaments al medi amb graus elevats de contaminació. Aquesta doble funcionalitat fa que en el sistema hi hagi elements especialitzats en una o altra funció i d'altres que tinguin un doble paper. A la següent taula es presenten els principals elements de la xarxa, detallant la seva funció, les seves limitacions i els problemes que poden induir.

Taula 1: Elements bàsics del sistema de drenatge urbà

Element	Funció	Limitacions/Problemàtica
Reixes i embornals	Fer entrar l'aigua que discorre en superfície cap als col·lectors.	Limitacions de capacitat, falta d'elements o falta de neteja poden fer que no tota l'aigua de pluja entri a la xarxa, augmentant l'escorrentiu en superfície i el perill d'inundació. És un dels elements claus en el funcionament del sistema.
Col·lectors en alta (interceptors residuals)	Conduir les aigües residuals cap a l'EDAR per a que puguin ser tractades.	Excés de la seva capacitat màxima generant sobreiximents al medi receptor.
Col·lectors en baixa	Conduir les aigües residuals i pluvials cap a l'EDAR per a que puguin ser tractades.	Excés de la seva capacitat màxima generant sobreiximents en superfície o al medi receptor.
Dipòsits de retenció	Retenir l'aigua en capçalera de la conca per a laminar els cabals que arriben a la xarxa.	Quan es supera la seva capacitat perden la seva funcionalitat. Cal gestionar-los tenint en compte: nivell d'ompliment, previsions de pluja i capacitat de la xarxa aigües avall.
Dipòsits anti-DSU	Laminar cabals i retenir les puntes de contaminació que contenen les aigües pluvials com a conseqüència de l'efecte de neteja de carrers. La seva retenció possibilita enviar-les controladament a l'EDAR després de l'episodi de pluja i poder-les tractar. Es situen en la part baixa de la conca.	La superació de la seva capacitat genera normalment abocaments directes al medi receptor.
Sobreixidors	Evitar l'entrada en càrrega del sistema conduint les aigües a trams menys carregats o abocant-la al medi.	La seva entrada en funcionament indica una entrada en càrrega del sistema.
Centre de control	Gestionar i coordinar accions en el sistema per a que treballi al seu màxim potencial.	Les eines de gestió estan limitades per la capacitat física de la xarxa.

Des del punt de vista operatiu, la recollida i conducció de les aigües residuals cap a l'EDAR és la funció que menys problemes comporta. Els cabals circulants són coneguts, uniformes, relacionats amb les corbes de consum d'aigua i proporcionals a la població. Els problemes que poden generar s'associen a temes d'olors o agressions químiques a la xarxa, motivats generalment per la presència de punts baixos o trams amb poc pendent. Per la seva banda, el drenatge de les aigües de pluja és qui posa en càrrega el sistema. Els cabals generats són en general molt superiors als residuals i la seva distribució al llarg del temps és molt més irregular. Tot i que la xarxa s'ha dimensionat en base a aquest segon criteri, l'equilibri entre la sempre delicada balança cost-risc, fa que en casos de pluges amb cert grau d'excepcionalitat, la xarxa entri en càrrega, i fins i tot sobreexceixi en cas d'excedir la capacitat de l'interceptor de residuals. Aquest sobreeximent, juntament amb l'aigua que no ha pogut entrar abans a la xarxa i per tant discorre en superfície, pot arribar a provocar inundacions, afeccions al trànsit, molèsties a ciutadans, i abocaments directes al medi receptor, generant episodis puntuals de contaminació.

En les obres d'urbanització, la xarxa de sanejament és un dels capítols que pressupostàriament té més pes, representant entre el 10 i el 20% del seu cost total. La seva execució genera en general un gran impacte, ja que pot obligar al tall de carrers durant períodes llargs.

Per altra banda, la xarxa de clavegueram funciona per gravetat, el què li confereix una gran rigidesa i fa que el seu disseny, sobre tot el seu perfil, quedi molt limitat per les condicions de contorn i els trams de xarxa ja existents. La seva estructura és telescòpica, establint-se una jerarquia entre els diferents trams de col·lectors, on el funcionament dels trams aigües avall condiciona els d'aigües amunt i viceversa, on els cabals generats aigües amunt tenen conseqüències aigües avall.

Tots aquests factors, pressupostaris, d'impacte en la ciutat, i els darrers relacionats amb la seva rigidesa i funcionament, fan que sigui molt difícil adaptar la xarxa de sanejament a augments de cabal, ja sigui per un creixement urbà no previst o per modificacions en les hipòtesis bàsiques de disseny, com poden ser les provocades pel canvi climàtic. En aquest sentit, una bona planificació de la xarxa, amb un horitzó a curt, mig i llarg termini i una optimització de la seva gestió, amb la introducció de sistemes intel·ligents que permetin explotar-la amb tot el seu potencial, són elements claus a tenir en compte i a treballar, per tal de detectar punts crítics i prioritats i anticipar-se als escenaris de futur.

Des del punt de vista de la planificació l'Ajuntament de Barcelona disposa des de l'any 1988 del Pla Especial de Clavegueram (PECB), els principal objectiu del qual era plantejar solucions per a pal·liar les nombroses inundacions que patia la ciutat. D'ell se'n van derivar les obres dels grans col·lectors a Vila Olímpica i la Ronda de Dalt i la construcció de 4 dipòsits de retenció.

L'any 1997 es redacta el Pla Especial de Clavegueram de Barcelona (PECLAB). Aquest Pla incorpora la planificació de 9 dipòsits anti-inundació als ja planificats al PEC'88, i una sèrie de grans col·lectors en punts crítics que presenten insuficiència de capacitat hidràulica.

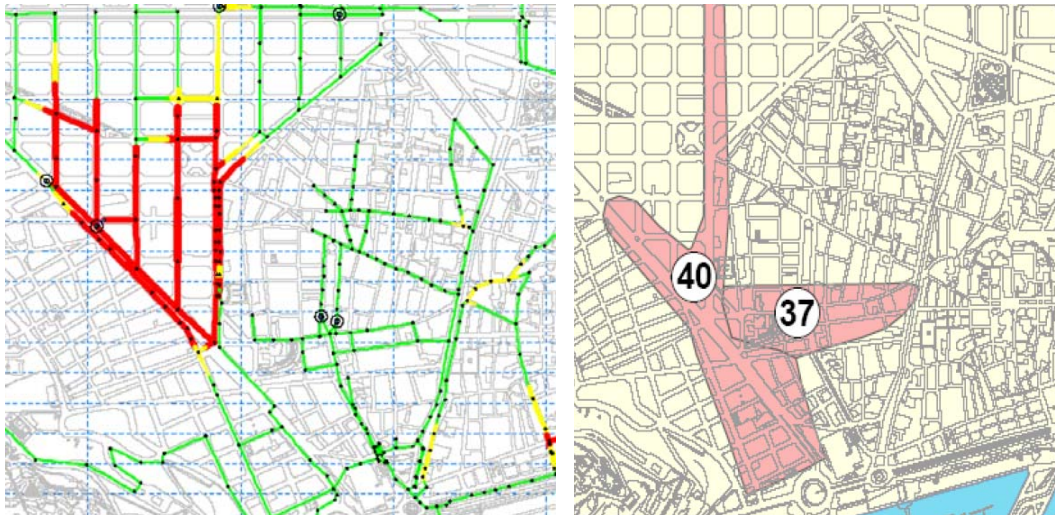
L'any 2006 es publica el Pla Integral de Clavegueram (PICBA). Aquest document inclou les actuacions executades entre el 1997 i el 2006, analitza amb detall el funcionament de la xarxa de clavegueram, manté la planificació de 10 dipòsits anti-inundació, i incorpora la planificació de 14 dipòsits anti-DSU (per a protegir els medis receptors (mar i rius) d'abocaments de la

xarxa) i 2 basses de laminació a cel obert per a pluges extraordinàries ($T \gg 10$ anys); a més de 8 grans col·lectors.

Actualment Barcelona Cicle de l'Aigua, S.A. (BCASA) està redactant el Pla Director Integral de Sanejament de Barcelona (en endavant PDISBA), que actualitzarà el document de 2006. El seu contingut no s'ha pogut incorporar en el present estudi per trobar-se encara en fase d'elaboració.

Per a l'elaboració de tots aquests documents de planificació s'estudia mitjançant models de simulació el funcionament de la xarxa per a una pluja de 10 anys de període de retorn. En aquests casos, i com s'ha comentat, l'important no és la pluja que pugui caure al llarg de l'any, sinó les puntes de precipitació que es puguin produir. Els resultats de la simulació, incorporant dades de registres d'incidències en superfície, serveixen per a la identificació de punts crítics, a partir dels quals es proposen i simulen noves actuacions en el sistema per tal de solucionar-los.

Imatge 6: Simulació a través del model MOUSE de la xarxa actual per una pluja de $T=10$ anys². A la dreta zones on s'han recollit incidències en superfície.



Font: BCASA

La diagnosi sobre la situació del sistema i la seva projecció futura de tots aquests plans s'ha fet fonamentalment a través de models de simulació de la xarxa. El flux en superfície s'ha tingut en compte només de manera indirecta, incorporant en la diagnosi les incidències que, a través dels informes d'actuacions del servei d'emergències de la Unitat d'Aigües i Sanejament de l'Ajuntament, la Guàrdia Urbana i Bombers, s'han pogut recollir.

A banda de les actuacions en la xarxa, els esforços els darrers anys s'han centrat sobre tot en una millora en la gestió de la infraestructura. Actualment el clavegueram de Barcelona està monitoritzat de manera permanent, podent actuar des del Centre de Control de manera remota sobre el sistema. D'aquesta manera es poden gestionar millor els episodis de pluja intensa i maximitzar el potencial i la capacitat de tot el sistema.

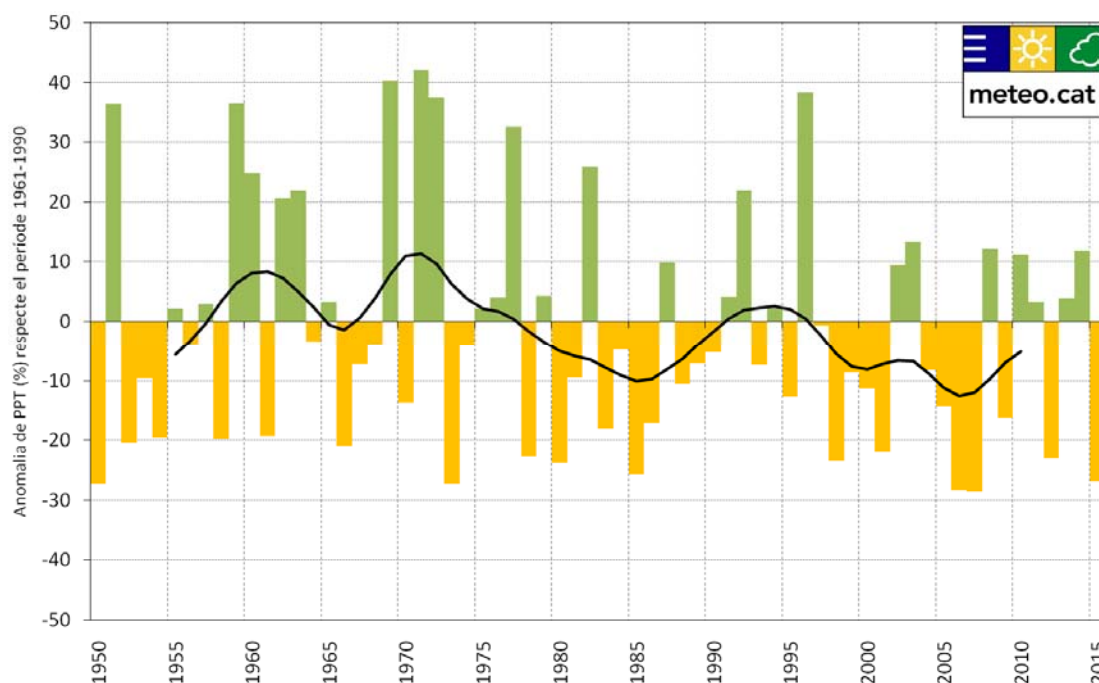
² En vermell trams on es produeixen sortides d'aigua de la xarxa de clavegueram a través dels pous de registre. En groc els trams que entren en càrrega, i en verd els trams que tenen un funcionament en làmina lliure.

El gran limitant però segueix sent la capacitat de la xarxa, que amb un disseny per a 10 anys de període de retorn, difícilment podrà donar una bona resposta davant episodis més intensos. El cost i el gran impacte sobre la ciutat de la seva ampliació fan inviable la seva renovació completa, amb el que caldrà pensar en mesures addicionals i de recolzament que complementin el seu funcionament drenant o minimitzin l'escorrentiu.

2.2. EL RÈGIM DE PLUGES ACTUAL I TENDÈNCIES OBSERVADES

D'acord amb les dades publicades al Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics pel Servei de Meteorologia de Catalunya, durant el període 1950-2015, i en base a 71 sèries analitzades, es pot afirmar que durant la primera dècada del segle XXI hi ha hagut un predomini d'anys secs a Catalunya, amb una davallada de pluges durant l'estiu i l'hivern, un augment en primavera, i una certa estabilitat a la tardor.

Imatge 7: Anomalia³ de la precipitació mitjana anual a Catalunya (1950-2015)



Font: Servei Meteorològic de Catalunya

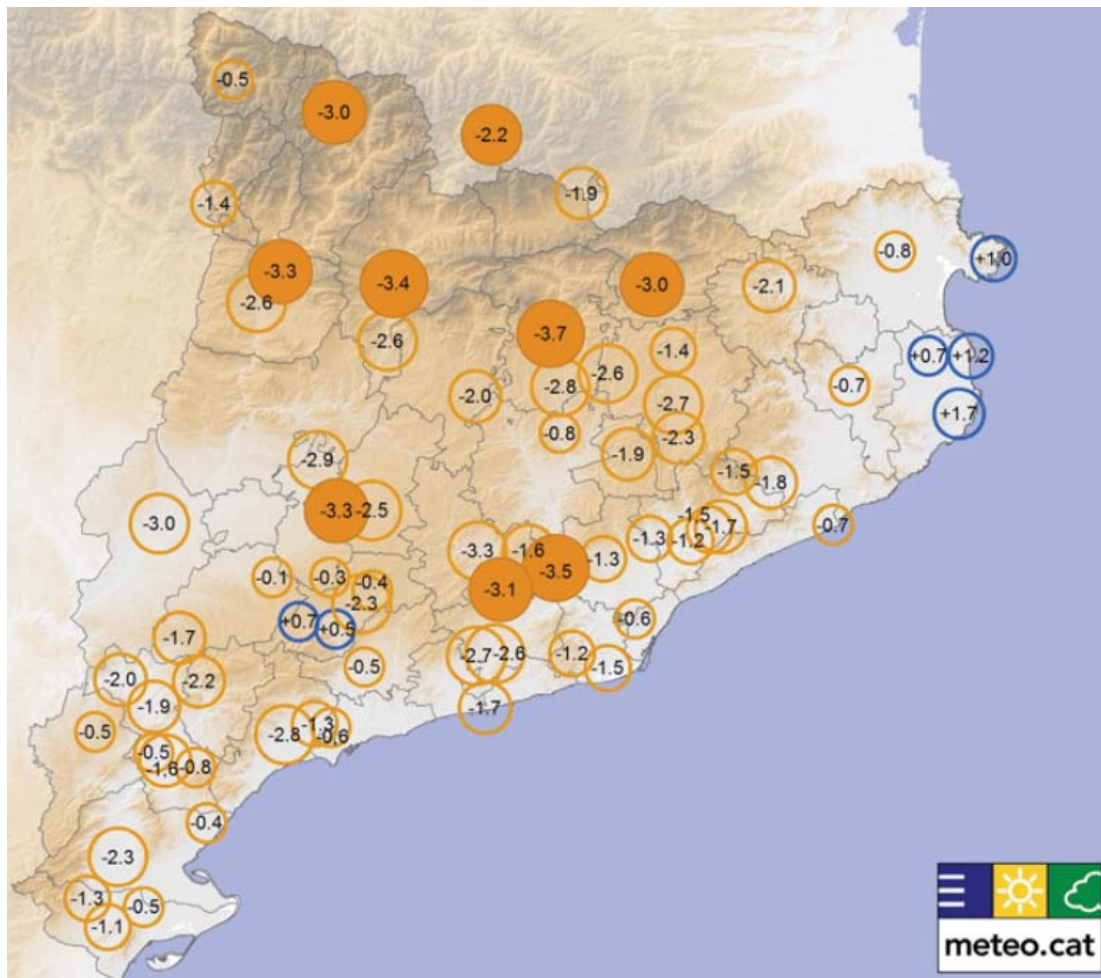
La tendència mitjana de la precipitació anual al conjunt de Catalunya per al període 1950-2015 presenta un valor lleugerament negatiu de $-1,5\%/dècada$ durant aquest període, tal com es pot observar en el gràfic,

La tendència en la precipitació no s'ha mantingut constant al llarg d'aquest període. Entre el 1950 i 1980 s'observa un increment de $1,7\%/dècada$, entre 1981 i 2015 un decreixement del $1,3\%$. Aquests paràmetre presenta una gran variabilitat espacial, amb valors que varien entre el $-3,7\%$ de la comarca del Berguedà o els increments enregistrats de $1,7\%$ en la zona del Baix Empordà. En la següent imatge s'observa que gairebé totes les sèries donen valors negatius (color taronja), i només a nou d'elles (cercle taronja) s'obté una tendència estadísticament significativa⁴.

³ Diferència en percentatge respecte la mitjana climàtica del període 1071-2000

⁴ Segons el test de Mann-Kendall ($p < 0,05$)

Imatge 8: Tendència de la precipitació anual (període 1950-2015) expressada en %/dècada



Font: Servei Meteorològic de Catalunya

En el cas de Barcelona (Observatori Fabra) la tendència de precipitació ha estat del +0,1%, tot i que aquest valor no és estadísticament significatiu probablement degut a la gran variabilitat interanual de la precipitació. Així, no s’observa cap tendència clara en relació als darrers cent anys.

Taula 2: Tendència de la precipitació anual i estacional a l’Observatori Fabra (1914-2015)

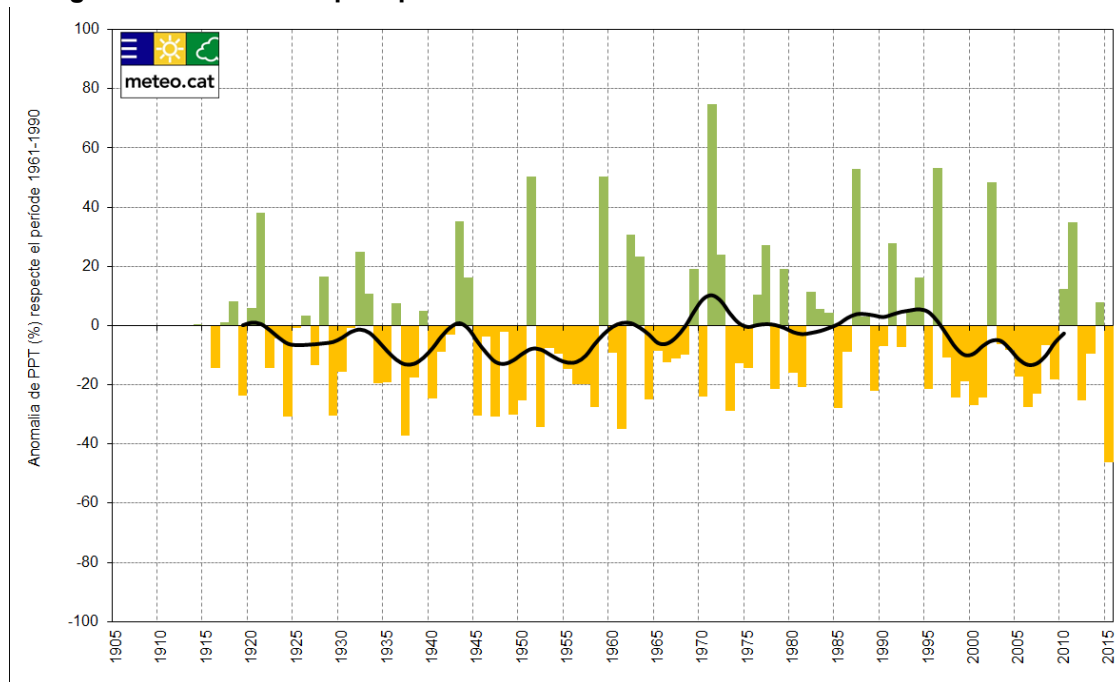
	Anual	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor
Precipitació	+0,1%	+1,4%	-0,1%	-1,5%	+0,5%
(%/dècada)	(-1,5%/+1,6%)	(-2,7%/+5,6%)	(-3,3%/+3,0%)	(-4,9%/+2,0%)	(-2,4%/+3,5%)

Font: Servei Meteorològic de Catalunya

A l'àrea de Barcelona, com en altres zones de la conca mediterrània, el règim de pluges és molt irregular, amb períodes amb poques precipitacions i episodis destacats de pluges torrencials. La pluviometria total anual és propera als 600 litres. S'aprecien dos màxims de precipitació: la tardor (el més acusat) i la primavera (màxim secundari). El mes més plujós és octubre, amb uns 96 litres, seguit de setembre amb 76, que cauen sovint en forma de tempestes. Els mesos més secs són el juliol (27 mm) i el febrer (38 mm). Hi ha una mitjana de 90 dies de pluja (comptant només els dies amb precipitació més gran de 0,1 litres) essent el

mínim 1,9 dies de pluja al mes de juliol i el màxim 5,7 al maig. Pel que fa a episodis de pluja intensa, s'enregistren una mitjana⁵ de 3 episodis anuals on la $I_{20\text{màx}}$ ⁶ supera els 60 mm/h.

Imatge 9: Anomalia de la precipitació anual de l'Observatori Fabra



Font: Servei Meteorològic de Catalunya

Durant l'any 2015 es van enregistrar una mitjana⁷ de 321 mm. Tenint en compte aquest registre de pluja, així com les dades també enregistrades per el Servei Meteorològic de Catalunya a la resta de territori, s'arriba a la conclusió que 2015 va ser l'any més sec de tota la història des de que hi ha instrumentació. Tot i així, hi ha hagut 5 episodis al llarg de l'any on la $I_{20\text{màx}}$ ha superat els 60 mm/h.

A continuació es mostren dos quadres resum d'aquesta caracterització. En el primer s'indiquen el nombre de dies l'any en els què de mitjana, entre 1999 i 2014, s'ha arribat a una certa acumulació de precipitació diària i quants dies es va arribar a aquests llindars l'any 2015. Així, entre 1999 i 2014 es detalla que van ploure de mitjana 100 dies durant un any mentre que al 2015 ho van fer només 83. En el segon quadre s'indiquen el nombre de dies l'any que de mitjana, entre 1999 i 2014, la $I_{20\text{màx}}$ ha arribat a cert llindar, i quants dies va succeir l'any 2015.

⁵ D'acord amb la sèrie de dades pluviomètriques BCASA des de 1999 fins l'any 2015.

⁶ Intensitat mitjana màxima durant 20 minuts

⁷ Segons sèries de dades pluviomètriques BCASA

Taula 3: Comparativa de dies d'acumulació de pluja per diferents llindars

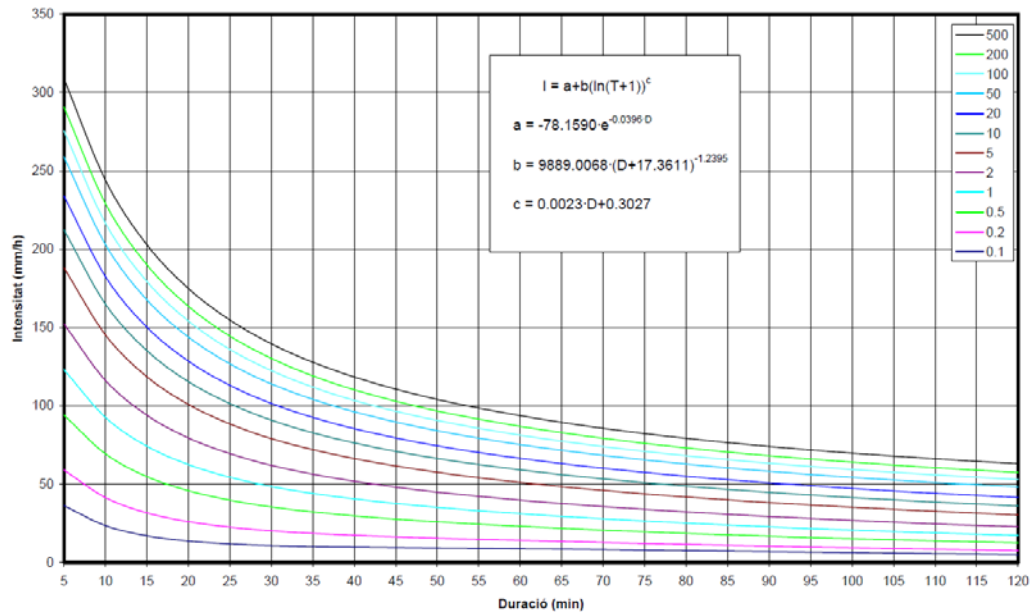
Pluja acumulada	Dies mitjana 1999-2014	2015
entre 0 i 1 mm	55	41
de 1 a 9 mm	32	34
de 10 a 19 mm	8	5
de 20 a 49 mm	5,4	3
de 50 a 99 mm	0,6	0
superior a 100 mm	0	0
Total	100	83

I ₂₀ màx	Dies mitjana 1999-2014	2015
entre 0 i 19 mm/h	86	68
de 20 a 39 mm/h	8	8
de 40 a 59 mm/h	3	2
superior a 60 mm/h	3	5

Font: BCASA

Un bon reflex del tipus de pluja d'una determinada zona és el que donen les corbes Intensitat-Durada-Freqüència (IDF), elaborades a partir dels registres de tempestes i dels períodes més intensos de precipitació. Aquestes intensitats s'ordenen per a cada un dels períodes de temps considerats (5, 10, 15 minuts, etc.) en funció del seu valor, realitzant un tractament estadístic de les dades i assignant períodes de retorn. Els resultats es presenten en forma de corba, podent-se ajustar a alguna expressió de tipus analític. Cada corba IDF té assignat un període de retorn determinat. D'elles es dedueixen les intensitats de precipitació en funció de l'interval de temps considerat, i a partir de diferents mètodes es poden obtenir per una zona, la pluja de disseny (hietograma), que reflexa de manera teòrica com evolucionen les intensitats de pluja durant un episodi tipus de precipitació.

Imatge 10: Corbes IDF Barcelona-Fabra (Sèrie 1927-1983) per a diferents períodes de retorn



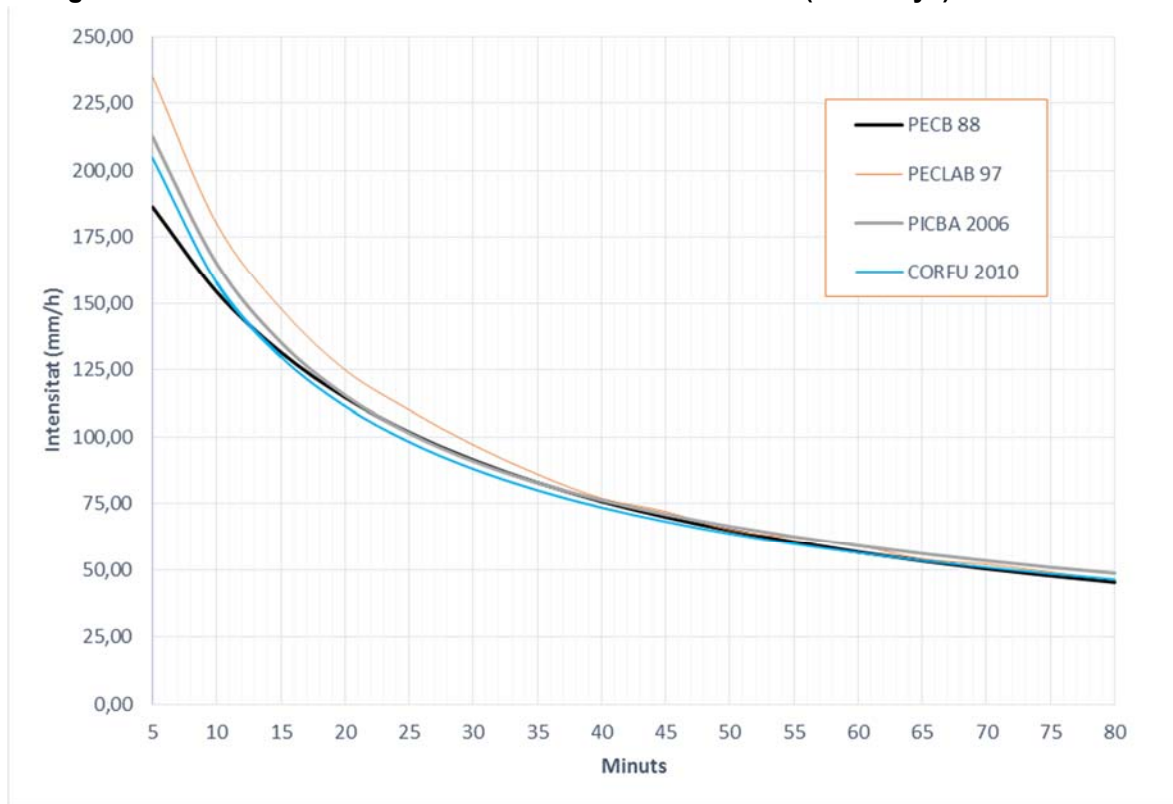
Font: BCASA

Les corbes IDF s'han anat actualitzant en base a les sèries de dades de pluja disponibles i calibracions realitzades, i de la mateixa manera, els hietogrames sintètics també han anat evolucionant, realitzant també ajustos en relació a la durada de la precipitació o la situació de la punta⁸. En la següent figura es representa l'evolució de la corba IDF de la ciutat de Barcelona assignada a un període de retorn de 10 anys.

⁸ Moment en que es produeix el màxim cabal

Actualment s'està realitzant una nova actualització de les corbes IDF dins del PDISBA incorporant un estudi de pluges amb dades empíriques.

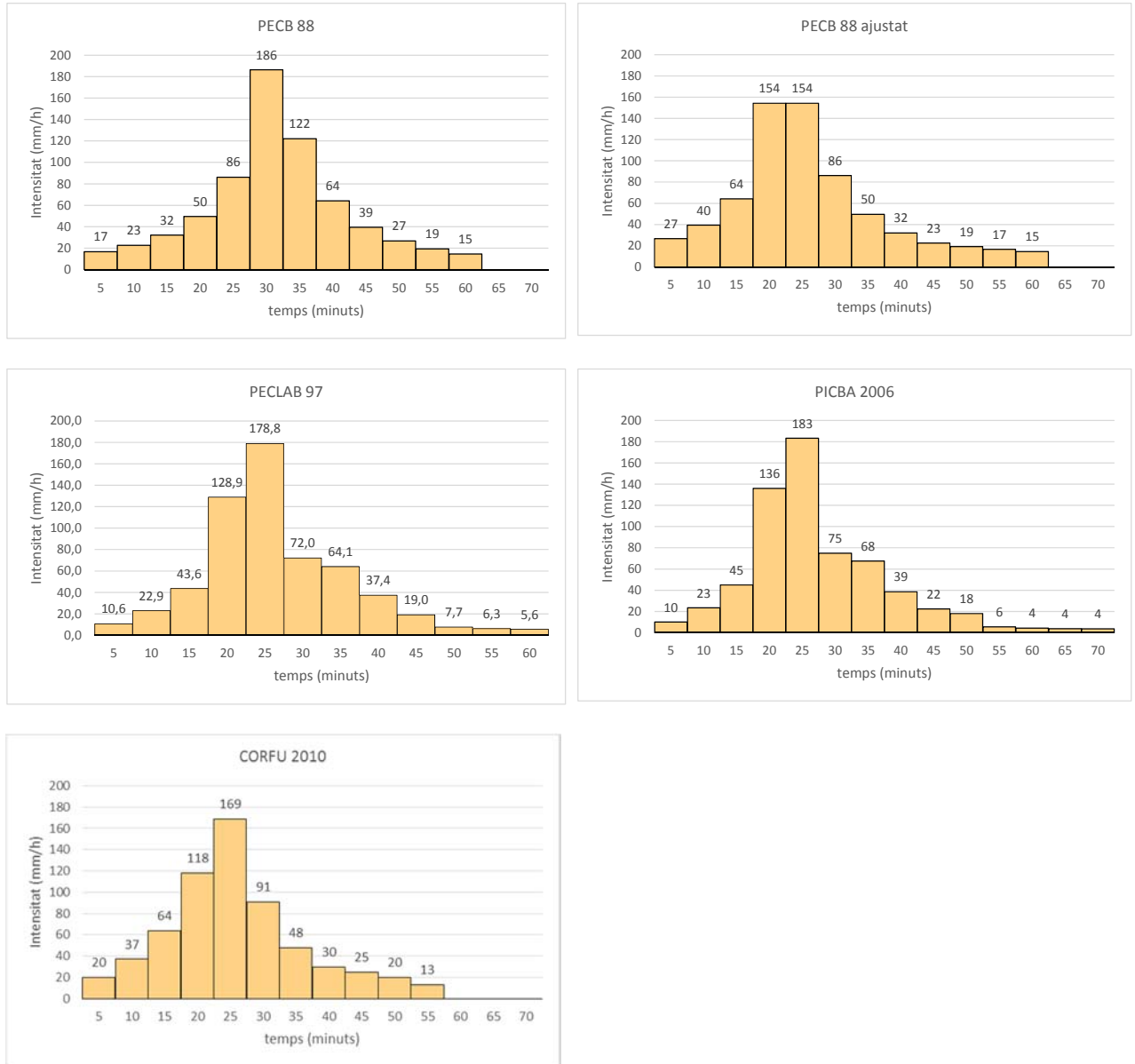
Imatge 11: Evolució de les corbes IDF a la ciutat de Barcelona (T=10 anys)



Font: Barcelona Regional a partir de dades de BCASA i UPC

A partir de l'evolució de les corbes IDF es dedueixen els hietogrames que s'adjunten a continuació:

Imatge 12: Evolució dels hietogrames de la ciutat de Barcelona per a T=10 anys



Font: Barcelona Regional a partir de dades de BCASA

Esdevenen factors característics de cada hietograma:

- Precipitació total caiguda en l'episodi (mm)
- Precipitació caiguda fins que es produeix la punta màxima (mm)
- Intensitat màxima de precipitació (mm/h)
- Distribució temporal de la pluja i moment en què es produeix la punta.
- Durada (minuts)

Dels hietogrames anteriors se n'extreu:

Taula 4: Resultats dels hietogrames

	Precipitació total (mm)	Precipitació fins a la punta (mm)	Intensitat màxima (mm/h)	Temps de la punta (min.)	Durada pluja (min.)
PECB 88	57	33	186	25	60
PECB 88 aj.	57	24	154	20-25	60
PECLAB 97	50	32	179	25	60
PICBA 2006	53	33	183	25	70
Cons. 2010	53	34	169	25	55

Font: Barcelona Regional

De l'evolució dels hietogrames utilitzats per al dimensionament i comprovacions de la xarxa de sanejament se n'extreu que es consideren pluges d'aproximadament 1 hora de duració i que la precipitació acumulada fins que arriba la punta d'intensitat també ha anat creixent. La precipitació total i la intensitat màxima no tenen un comportament clar, mentre que el temps quan es produeix l'arribada de la intensitat màxima s'ha mantingut constant.

2.3. IDENTIFICACIÓ DE LES ZONES AMB MAJOR PERILL D'INUNDACIÓ. SITUACIÓ ACTUAL

2.3.1. Metodologia

La identificació de les zones de la ciutat amb major perill d'inundació es pot abordar de diferents maneres. El projecte CORFU desenvolupat entre els anys 2010 i 2014, tal com es comenta amb més detall en l'apartat 7, va utilitzar un nou model de simulació que permetia considerar no només la xarxa, sinó també l'escorrentiu que es genera en superfície, contemplant per tant les interaccions que es produeixen entre els dos sistemes. Actualment l'Ajuntament de Barcelona, a través de BCASA, està desenvolupant aquesta metodologia a tota la ciutat, en el marc de l'elaboració del PDISBA. Els condicionants de termini no han permès incorporar els resultats la redacció d'aquest document, amb el que s'ha optat per fer una aproximació simplificada, basada en tres factors:

- Capacitat de la xarxa de clavegueram
- Pendent del terreny
- Superfície de conca aportant.

A partir de l'estudi de funcionament de la xarxa actual de clavegueram es poden identificar certs àmbits on la xarxa de drenatge no té capacitat suficient per a evacuar el cabal d'aigua resultant per a la pluja associada a un període de retorn de 10 anys, produint sortides d'aigua des de pous i embornals cap a la superfície del carrer (Actualització de la Diagnosi del PICBA per la pluja T=10 anys, facilitada per BCASA)

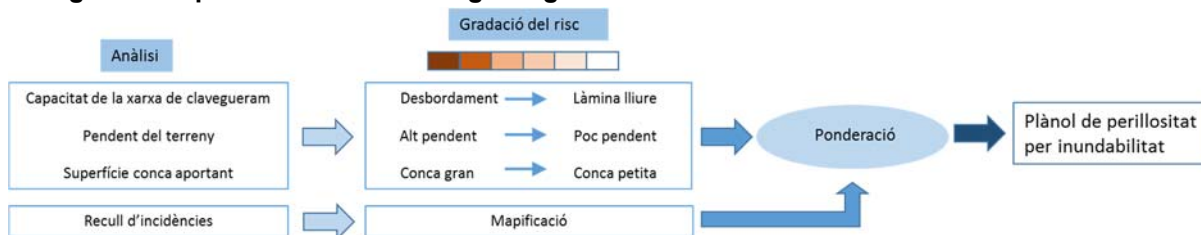
Pel que fa al pendent, s'assumeix que en zones amb poc pendent la velocitat de circulació de l'aigua es inferior a les que tenen un pendent més elevat, produint per als mateixos cabals uns nivells d'aigua més alts.

Finalment, a través de la magnitud de la superfície aportant es pot establir una gradació de perillositat de les diferents zones de la ciutat, suposant que, en un hipotètic cas on els embornals no drenessin l'aigua d'escorrentiu, els punts que concentren major aportació d'aigua resulten en primera instància els més perillosos.

Les zones més perilloses seran aquelles on es produeixen surgències des de la xarxa de sanejament, i on per tant no es produeix cap drenatge de l'aigua que circula en superfície, tenen un pendent més baix, resultant per tant uns calats més elevats, i a més concentren potencialment una gran quantitat d'aigua. Per contra, zones on la xarxa de sanejament tingui prou capacitat, i per tant pugui absorbir a través dels embornals l'escorrentiu de superfície, presenti un elevat pendent, i centri poca aigua, seran les menys perilloses.

Per a la consideració simultània d'aquestes tres variables s'han realitzat diferents ponderacions, donant en tots els casos un pes superior a la de la capacitat de la xarxa de clavegueram, entenent que és la que té unes conseqüències directes pel que fa a la inundabilitat dels carrers. Les altres dues variables en canvi, tot i empitjorar la situació de partida, no són per sí soles origen del problema, amb el que s'han ponderat amb un pes inferior. Els resultats obtinguts en les diferents ponderacions s'han contrastat amb dades actualitzades de les incidències que s'han recollit a través dels informes d'actuacions del servei d'emergències de la Unitat d'Aigües i Sanejament de l'Ajuntament, la Guàrdia Urbana i Bombers. Finalment s'ha escollit la ponderació que millor s'ajustava a la realitat, utilitzant-la de base de partida per a la valoració dels escenaris futurs.

Imatge 13: Esquema de la metodologia seguida



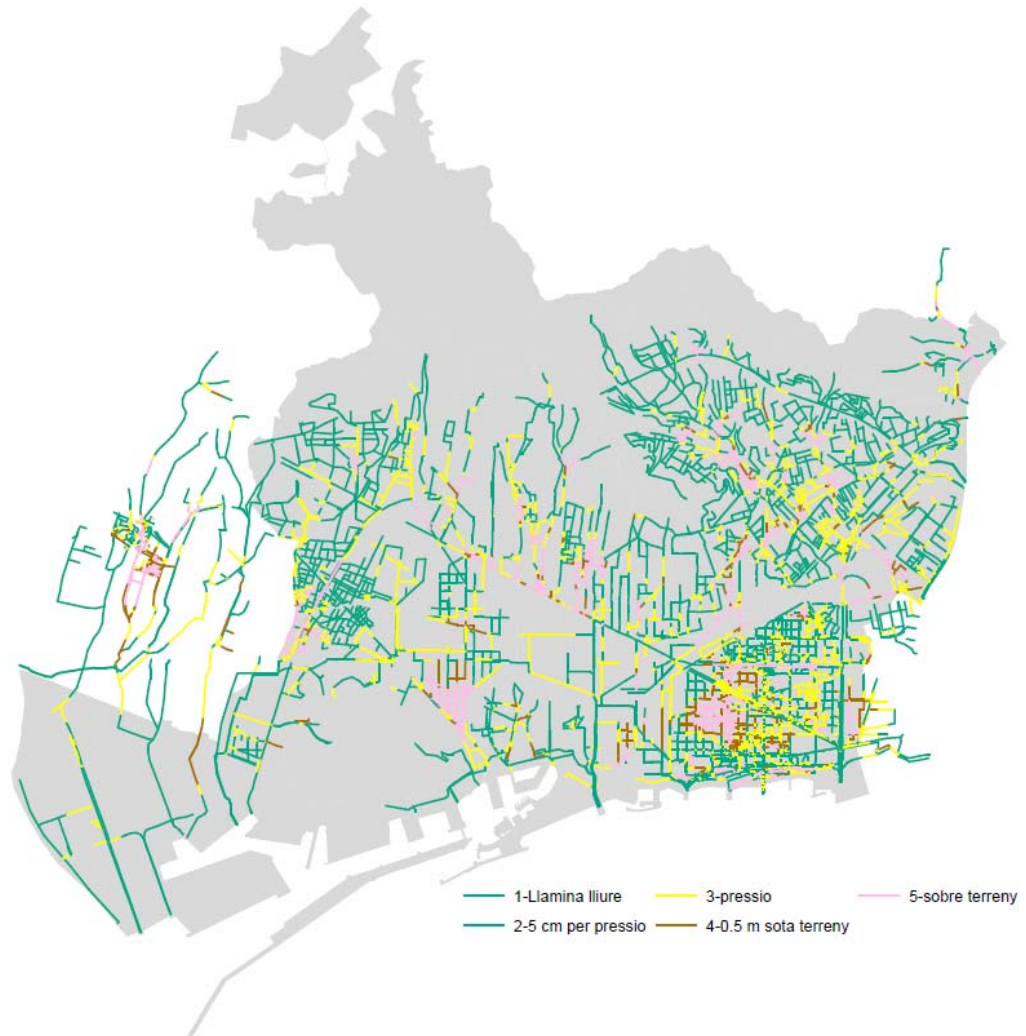
Font: Barcelona Regional

2.3.2. Anàlisi de la capacitat de la xarxa de clavegueram. Situació actual

Per a l'anàlisi de la capacitat de la xarxa de clavegueram s'ha comptat amb la col·laboració de BCASA. La simulació s'ha fet a través del model MOUSE, introduint informació actualitzada de la xarxa, considerant els col·lectors principals i una pluja de disseny associada a 10 anys de període de retorn utilitzada al projecte CORFU (PLUB2010). Els resultats permeten dividir els col·lectors en funció del seu estat de funcionament:

- En làmina lliure
- En làmina lliure però amb un resguard de només 5 cm
- A pressió
- Amb la línia piezomètrica 0,5 m per sota de la rasant del terreny
- Els que desborden⁹

⁹ D'acord amb BCASA s'han eliminat en aquest cas un petit tram de col·lector al costat dels dipòsits de CLH del port i s'han considerat en color verd tot el tram de la Gran Via entre els carrers de Llacuna i Maresme, ja que tot i funcionar a pressió, són col·lectors sense connexions que ja estan preparats per a funcionar en aquest règim.

Imatge 14: Funcionament actual de la xarxa de clavegueram

Font: BCASA

Aquesta informació s'ha traslladat a nivell de carrer, considerant una zona d'influència de 40 m a banda i banda del seu eix, estimant que aquest és l'àmbit en un carrer estàndard de la ciutat de Barcelona que es pot veure afectat per un desbordament, ja sigui per inundabilitat del propi carrer, de cruïlles amb d'altres o de baixos de finques i aparcaments.

S'identifiquen en aquest cas com a zones amb major perill degut al mal funcionament de la xarxa la part del nucli antic del Poblenou, el tram de l'Avinguda Diagonal entre Balmes i Via Laietana, la Riera Blanca i els entorns, la zona d'Av. Paral·lel- Ronda Sant Pau i la zona del Raval.

2.3.3. Pendent del terreny

A partir de la topografia del terreny s'ha associat un pendent a cada punt de la ciutat. Els límits de pendent mig que s'ha establert¹⁰ per a cada grau de perillositat són els següents:

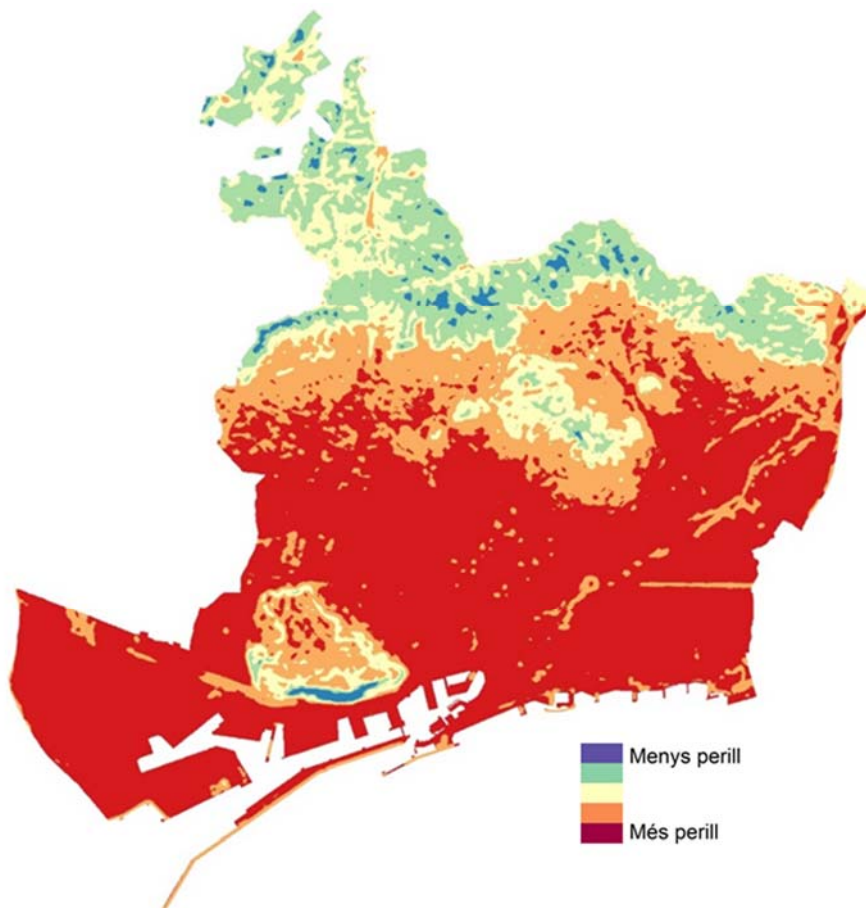
Taula 5: Grau de perillositat en funció del pendent (°)

Perill	Mínim	Màxim
5	0,00	1,93
4	1,93	2,65
3	2,65	4,58
2	4,58	9,76
1	9,76	23,72

Font: Barcelona Regional

Els punts més crítics, es localitzen en aquest cas en la part baixa de la ciutat.

Imatge 15: Grau de perillositat en funció del pendent



Font: Barcelona Regional

¹⁰ L'algoritme d'aquesta classificació crea intervals geomètrics minimitzant la suma dels quadrats del nombre d'elements de cada classe. Així, s'aconsegueix que cada classe tingui un nombre semblant de valors i que el canvi entre intervals sigui consistent.

2.3.4. Superfície de conca aportant

A partir de les dades del terreny s'han extret els corrents d'aigua i les conques aportants de cada un. S'identifica cada punt d'unió d'aquests corrents, assignant-li el valor corresponent a la superfície total aportant. S'estableixen 5 categories de punts establint els següents límits de superfície:

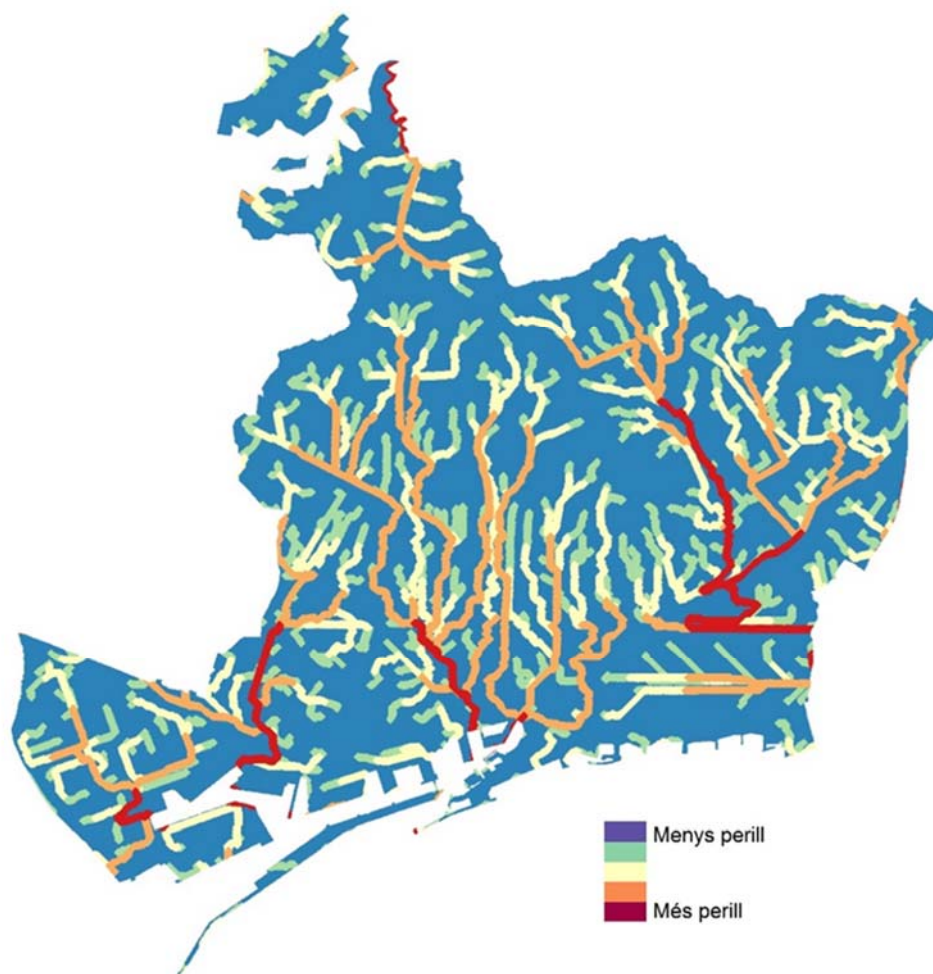
Taula 6: Grau de perillositat en funció de la superfície de la conca (m²)

Perill	Mínim	Màxim
1	1.298	11.689
2	11.689	64.142
3	64.142	328.927
4	328.927	1.665.581
5	1.665.581	8.413.099

Font Barcelona Regional

Igual que en el cas del pendent els límits escollits han estat el que fan la classificació més consistent.

Imatge 16: Grau de perillositat en funció de la superfície de la conca aportant



Font: Barcelona Regional

2.3.5. Ponderació de factors. Plànol de perillositat

A partir de la ponderació dels resultats obtinguts de cada un dels tres factors de perillositat es pot establir un plànol de perillositat final. S'han estudiat dos possibles ponderacions:

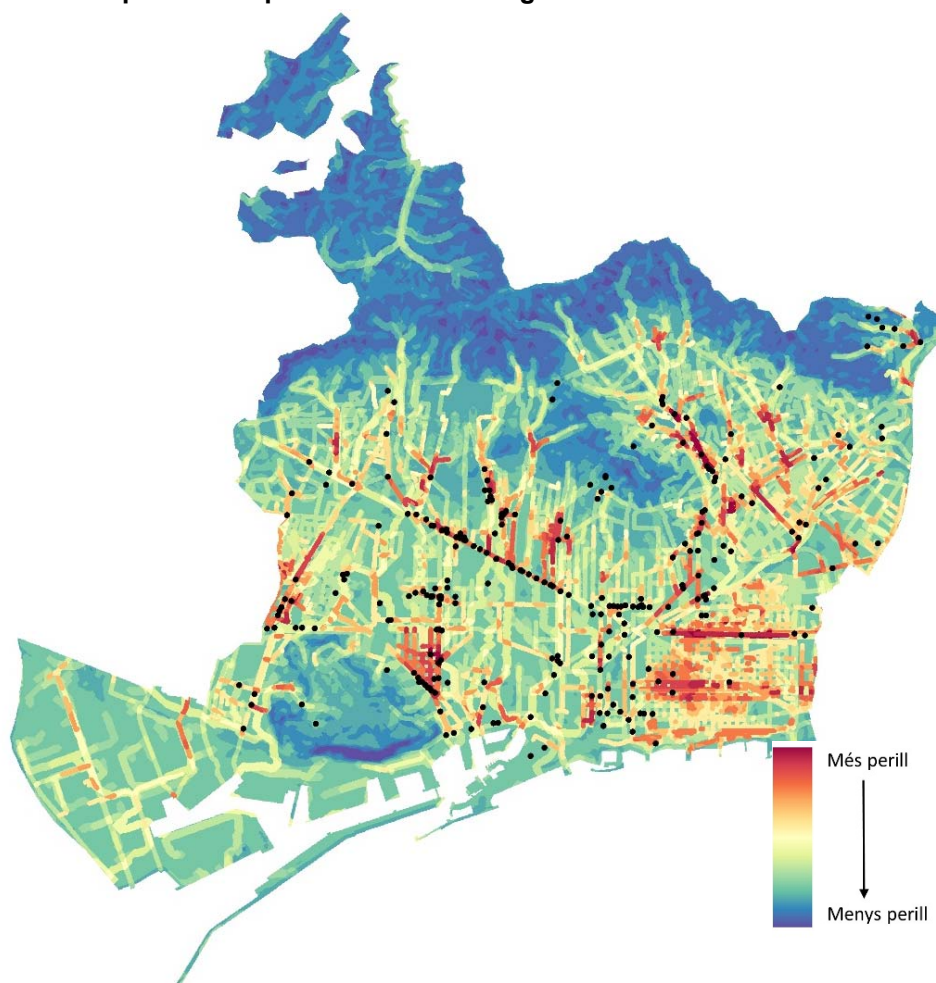
Taula 7: Ponderacions analitzades dels tres factors de perillositat

	Ponderació 1	Ponderació 2
Funcionament de la xarxa	50%	60%
Pendent del terreny	25%	20%
Superfície aportant	25%	20%

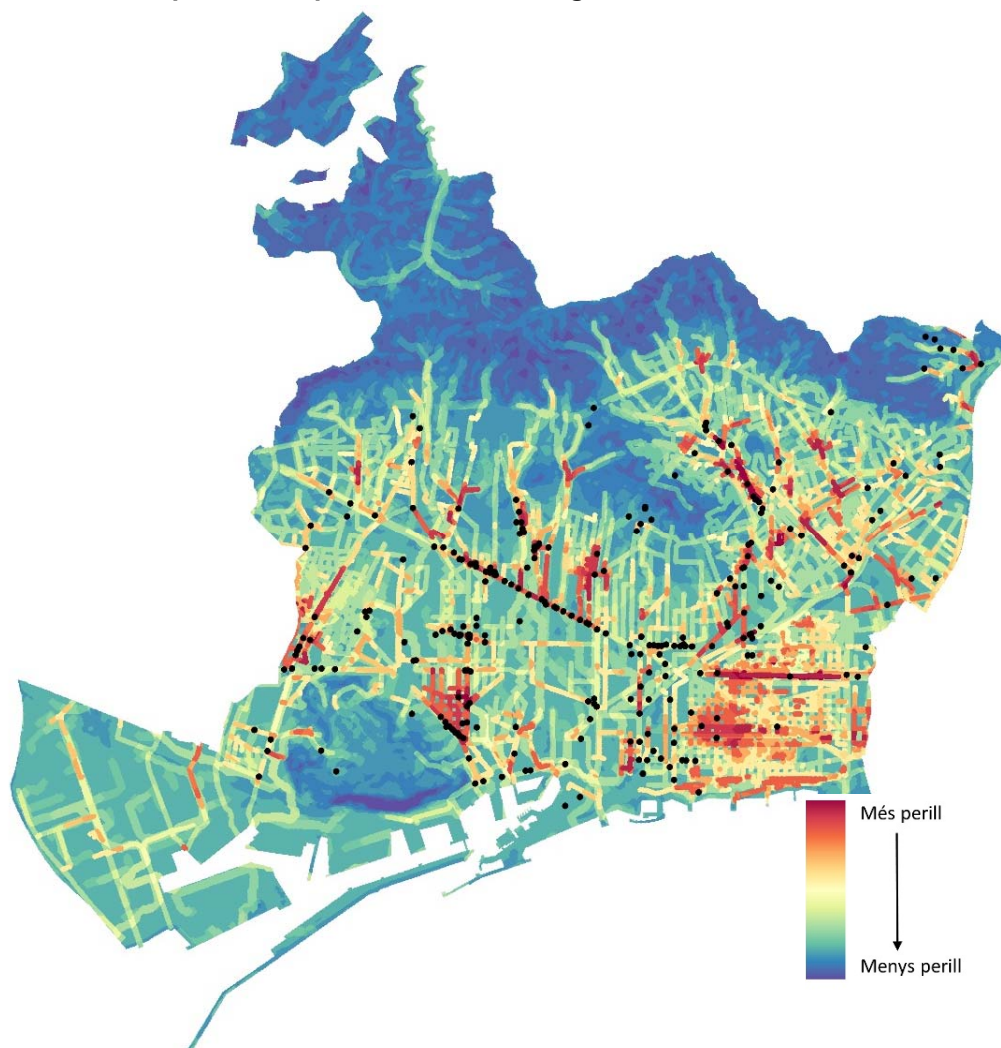
Font: Barcelona Regional

Superposant cada un d'ells amb el registre d'incidències s'obtenen els plànols que s'adjunten a continuació:

Imatge 17: Grau de perillositat per inundabilitat i registre d'incidències. Ponderació 1



Font: Barcelona Regional

Imatge 18: Grau de perillositat per inundabilitat i registre d'incidències. Ponderació 2

Font: Barcelona Regional

Per tal de valorar quina de les dues ponderacions s'adapta millor a les incidències enregistrades s'ha assignat a cada una el valor ponderat dels perills associats a la seva ubicació segons els tres criteris comentats. Així, per un punt on el perill degut a incidències a la xarxa és de 4, el relatiu al pendent és de 5 i el respectiu de conca és d'1 se li ha assignat el valor de 3,5 per a la ponderació 1 ($4 \times 0,50 + 5 \times 0,25 + 1 \times 0,25 = 3,5$), i en el cas de la ponderació 2 el valor de 3,6 ($4 \times 0,6 + 5 \times 0,2 + 1 \times 0,2 = 3,6$).

Sumant les assignacions a totes les incidències registrades, s'obté un valor total de 1.204 per a la ponderació 1, i de 1.178 per a la ponderació 2. El valor mig assignat a cada una ha estat respectivament de 3,4 i 3,6.

Com es pot observar les diferències entre una i altra ponderació no resulten significatives, tot i que la ponderació 1, s'adapta una mica millor a la realitat, amb el que s'ha pres aquesta primera per a valorar els escenaris de futur.

2.4. PROJECCIONS DEL CANVI CLIMÀTIC EN RELACIÓ AL RÈGIM DE PLUGES

2.4.1. Caracterització i evolució dels escenaris de canvi climàtic

Des del 1990, el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC) publica Informes d'Avaluació (AR) que són el gran referent per saber l'estat del coneixement científic, tècnic i socioeconòmic del canvi climàtic. Per ara, l'IPCC ha publicat 5 Informes d'Avaluació.

Una de les bases importants que necessita l'IPCC per elaborar dels seus treballs i informes són els escenaris climàtics. Degut a la gran escala temporal i a la incertesa que hi ha en aquesta evolució futura de les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle, és necessari assumir diverses hipòtesis, que donen lloc als anomenats "escenaris d'emissions".

En el 1992 l'IPCC va publicar els primers escenaris d'emissions que servien de base pels models de la circulació mundial, amb l'objectiu de desenvolupar per primera vegada uns escenaris sobre el canvi climàtic, els anomenats "escenaris IS92". Van suposar un gran pas endavant i van ser les primeres estimacions de tots els gasos d'efecte hivernacle.

Al llarg dels anys l'IPCC va millorar el seu coneixement sobre les emissions futures de gasos d'efecte hivernacle i paral·lelament va anar millorant els escenaris d'emissions que servien com a base per a la redacció dels seus Informes d'Avaluació. Així doncs per a l'informe AR3 (2001) es van utilitzar un nou conjunt d'escenaris d'emissió basats en l'informe especial SRES (Special Report on Emission Scenarios). Per l'informe AR4 també es van utilitzar aquests mateixos escenaris.

En total els SRES eren una quarantena d'escenaris que s'engloben en 4 grans línies evolutives (A1, B1, A2 i B2) diferenciades per l'evolució demogràfica, econòmica i tecnològica.

- A1 suposa un creixement econòmic mundial molt ràpid, amb un màxim de la població mundial cap a mitjans de segle, i una ràpida introducció de tecnologies noves i eficients.
- B1 és un món convergent, amb la mateixa població mundial que A1, però amb una evolució més ràpida de les estructures econòmiques cap a una economia de serveis i d'informació.
- B2 correspon a un planeta amb una població intermèdia i un creixement econòmic intermedi, més orientat a les solucions locals per assolir la sostenibilitat econòmica, social i ambiental.
- A2 descriu un món molt heterogeni amb un creixement de població fort, desenvolupament econòmic lent, i un canvi tecnològic lent.

En l'últim Informe d'Avaluació publicat recentment (AR5, 2014) els escenaris climàtics han tornat a canviar per millorar. Aquests estan basats en les anomenades Trajectòries de Concentració Representatives (RCP, per les seves sigles en anglès), que es centren en el seu forçament radiatiu total per l'any 2100. Els quatre escenaris RCP són: RCP2.6, RCP4.5, RCP6 i RCP8.5, que varia des dels 2,6 als 8,5 W/m².

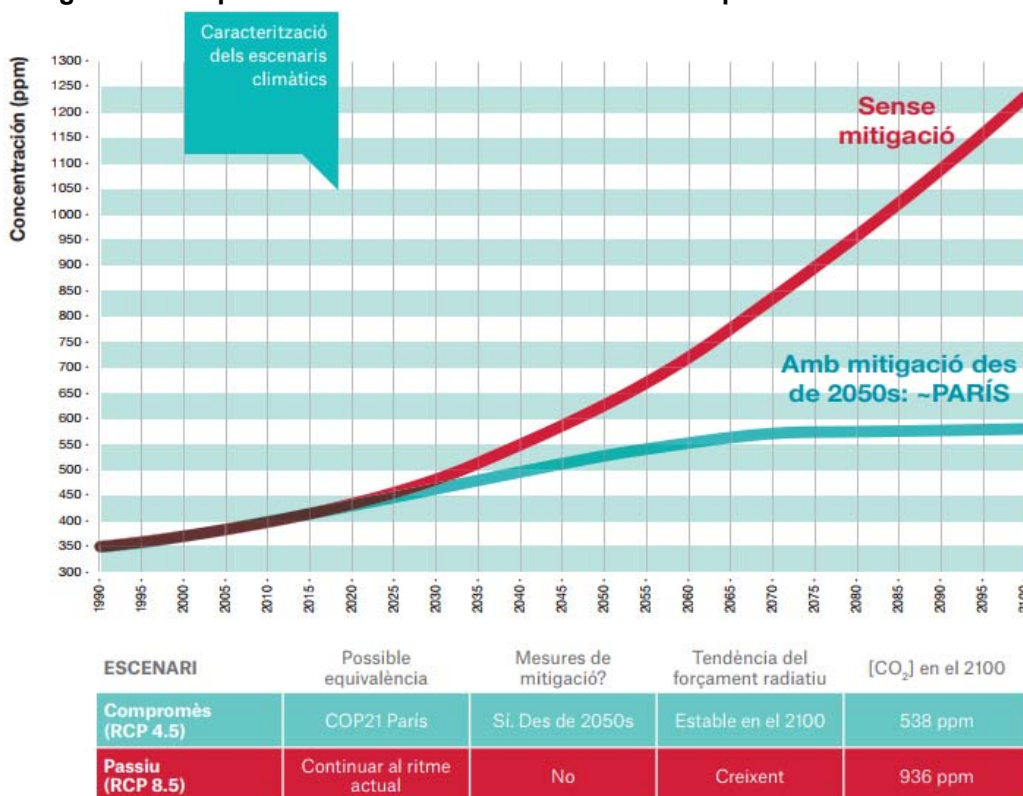
L'escenari RCP8.5 segueix el rang més alt d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, amb concentracions que creixen ràpidament; els escenaris RCP6 i RCP4.5 mostren una estabilització de la concentració de GEH a partir de mitjans del segle XXI; i l'escenari RCP2.6

té un màxim de concentració de GEH sobre 2050 amb una disminució fins a 400 ppm per a finals de segle.

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

- L'**escenari compromès** (o també RCP4.5) representa assolir els objectius de reducció d'emissions de l'Acord de París de 2015. En aquest escenari, la concentració de GEH (Gasos amb Efecte d'Hivernacle) arribaria a ser superior a l'actual a final de segle, però l'increment s'atenuaria a partir del 2030 a fi de limitar l'augment màxim de la temperatura global del planeta a 1,5-2°C.
- L'**escenari passiu** (o també RCP8.5), en canvi, representa la situació en què no s'assolirien els objectius marcats a París, de manera que les concentracions de GEH a finals de segle serien molt superiors a les actuals. L'augment de temperatura global superaria àmpliament els 2°C.

Imatge 19: Principals escenaris climàtics analitzats en aquest treball



Font: Ajuntament de Barcelona

Val a dir que al alguns capítols utilitzen **altres escenaris antics**, els anomenats SRES que estan basats en l'evolució del model socioeconòmic i tecnològic.

Malgrat la diferència dels escenaris nous (RCP) amb els antics (SRES), alguns dels escenaris es consideren similars. S'acostuma a fer les següents assimilacions d'escenaris:

- el SRES – B1 s'assimila al RCP2.6 (Protocol de Kyoto)
- el SRES – A1B s'assimila al RCP4.5 (escenari compromès)
- el SRES – A2 s'assimila al RCP8.5 (escenari passiu)

Per completar l'explicació dels diferents escenaris, consultar el que s'ha especificat en el *Capítol – Introducció al canvi climàtic*, apartat 2.2.

Els nous escenaris climàtics basats en els RCP's són força recents, ja que aquesta informació va estar disponible al 2015. Això ha fet que hi hagi pocs estudis de detall en temes d'inundació referenciats a aquests escenaris i més en el nostre àmbit. En aquest capítol es presenten alguns basats en els escenaris d'emissions de l'AR4 (SRES A1, B1, A2 i B2) i d'altres basats en els escenaris d'emissions actuals de l'AR5 (RCP2.6, RCP4.5, RCP 6.0 i RCP8.5).

2.4.2. Projeccions realitzades per diferents organismes

A diferència del que s'està observant per a les regions amb latituds mitjanes o altes, diversos estudis posen de manifest que en la regió mediterrània, la tendència observada durant les darreres dècades és a un decreixement en les precipitacions totals. L'informe CLIVAR de 2010 del Regional Climate Change conclou que els darrers 30 anys la precipitació anual a la Península Ibèrica ha disminuït significativament en relació a l'enregistrada durant els anys 60 i 70.

Les tendències generals observades indiquen:

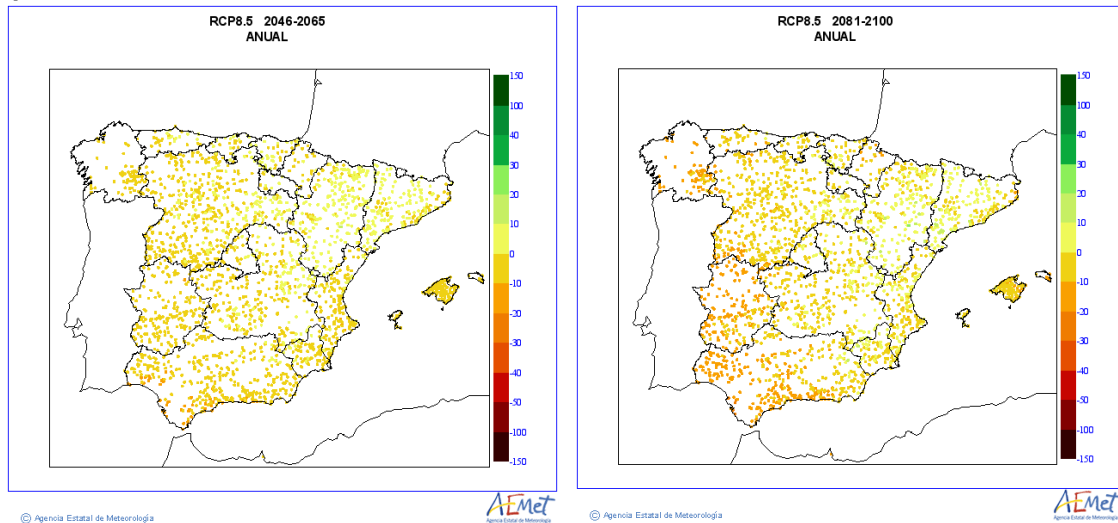
- Una reducció en la precipitació mitja anual d'entre el 12% i el 24%¹¹
- Un increment dels episodis de pluges extremes i disminució dels de pluges lleugeres o moderades.
- Un augment d'episodis de pluja, que seran més curts i més intensos.
- Canvis més importants en precipitacions extremes a mida que augmenta el seu període de retorn associat.

Tot i això, quan baixem de l'escala general a la local, les tendències observades no són tan clares, i no totes les fonts coincideixen en les projeccions. La consideració d'aquests canvis és essencial alhora d'avaluar la influència del canvi climàtic en zones urbanes i densament poblades, amb sistemes de drenatge complexos i que presenten en general una major vulnerabilitat en relació a les pluges torrencials. En els propers apartats s'adjunten les projeccions realitzades per diversos organismes que, tot i no ser específiques per a la ciutat de Barcelona, estableixen certes tendències que poden ajudar a definir els seus escenaris de futur.

Agència Estatal de Meteorologia

L'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET) ha fet públics recentment gràfics regionalitzats per províncies i mapes sobre les previsions de canvi climàtic de diferents paràmetres. En relació a les precipitacions, les variacions per als nous escenaris definits l'any 2013 mostren pocs canvis en la província de Barcelona en relació a la situació actual. Els mapes de tota la península també mostren un comportament bastant uniforme, amb una certa tendència a la baixa en les estacions barcelonines, que s'accentua en les previsions a més llarg termini.

¹¹ Segons l'Observatori de Salut i Canvi Climàtic.

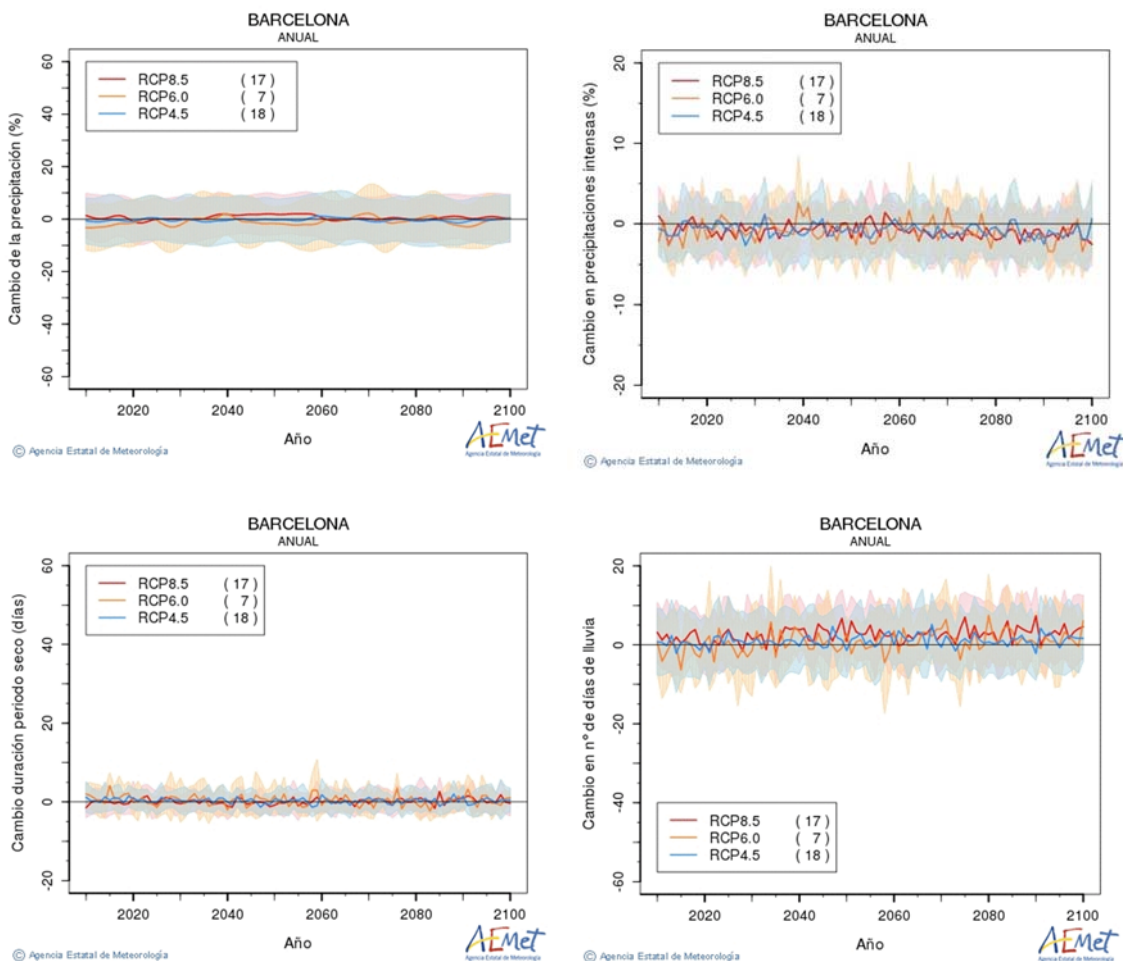
Imatge 20: Variacions en la precipitació mitjana anual en l'escenari RCP 8.5 per als períodes 2046-2065 i 2061-2100

Font: AEMET

Pel que fa a l'evolució dels règims de precipitació, l'AEMET realitza projeccions a escala provincial. Per a la província de Barcelona no es preveuen canvis importants en les precipitacions ni en la durada de períodes secs, amb una certa tendència a la baixa de les precipitacions més intenses i un increment en els dies de pluja. No s'observen variacions importants en relació als 3 escenaris de canvi climàtic estudiats.

Aquestes estimacions difereixen en les tendències generals recollides d'altres fonts, que com es detalla més endavant preveuen en general una disminució en el volum de precipitació i dies de pluja, i un augment en la seva intensitat.

Imatge 21: Canvis en les precipitacions degut als diferents escenaris de canvi climàtic



Font: AEMET

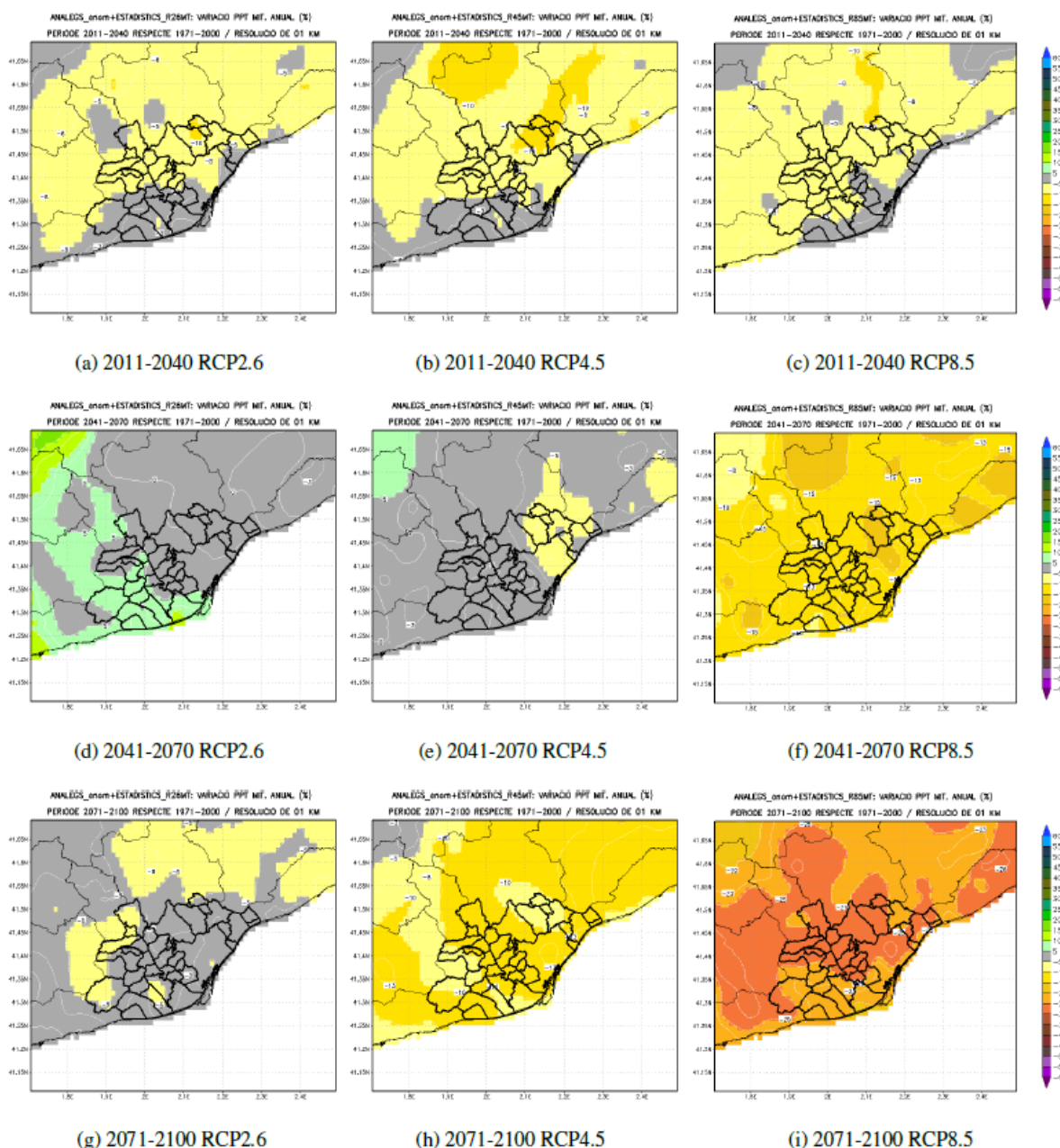
Servei Meteorològic de Catalunya

Segons les projeccions d'escenaris climàtics realitzades pel Servei Meteorològic de Catalunya en l'àmbit de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, les projeccions per a la precipitació en relació al canvi climàtic no són tan robustes com en d'altres variables, com és el cas de la temperatura.

Tot i així, a partir de l'any 2070 s'observa una freqüència de períodes secs i una tendència cap a la disminució de la precipitació mitja anual, especialment per als escenaris RCP4.5 i RCP8.5. Aquesta reducció no és estadísticament significativa per al primer escenari, però sí que ho és, amb un nivell de confiança del 99%, per al segon. En concret, per a l'RCP8.5 es projecta una disminució lineal de 13,6 mm per dècada durant el període 2011-2100.

A nivell anual es projecta un descens de precipitació a gran part de l'AMB, en general a mesura que avança el segle i creix la severitat de l'RCP considerat, la disminució projectada en la precipitació mitjana anual esdevé més important. En aquest sentit existeixen poques diferències pels diferents escenaris per al període 2011-2040, mentre que per a final de segle, la disminució arriba a ser força important, sobretot per l'escenari RCP8.5, quan per a tots els municipis de l'AMB es projecta una disminució superior al 19% de la precipitació mitjana anual. La reducció màxima en aquest cas es produeix a Barcelona, que arribaria de mitjana al 26% però que pot arribar a una variació màxima de fins al 30%.

Imatge 22: Variacions en la precipitació mitjana anual respecte al període 1971-2000



Font: Escenaris Climàtics regionalitzats a l'Àrea Metropolitana de Barcelona. Servei Meteorològic de Catalunya

En la següent taula es representen les variacions projectades de precipitació mitjana anuals per als diferents escenaris i períodes considerats, per a la mitjana de l'AMB i per al cas concret de la ciutat de Barcelona.

Taula 8: Variacions projectades de precipitació mitjana anual

	RCP	2011-2040	2041-2070	2071-2100
AMB	RCP2.6	-7%	sense canvis	-7%
	RCP4.5	sense canvis	sense canvis	sense canvis
	RCP8.5	-8%	-8%	-19%
Barcelona	RCP2.6	-7%	sense canvis	sense canvis
	RCP4.5	-7%	-6%	-9%
	RCP8.5	-6%	-14%	-26%

Font: Escenaris Climàtics regionalitzats a l'Àrea Metropolitana de Barcelona. Servei Meteorològic de Catalunya

Estacionalment, en el cas de Barcelona, i tal com s'observa a la següent taula, La reducció de precipitació més important es produeix durant l'estiu, on la reducció de precipitació prevista a finals de segle es projecta que es redueixi en un 61%. Per a totes les projeccions estudiades es produeixen reduccions de precipitació per a primavera i per l'estiu. La tardor, que és una de les estacions que més precipitació acumula, també presenta reduccions, concentrades principalment a finals de segle.

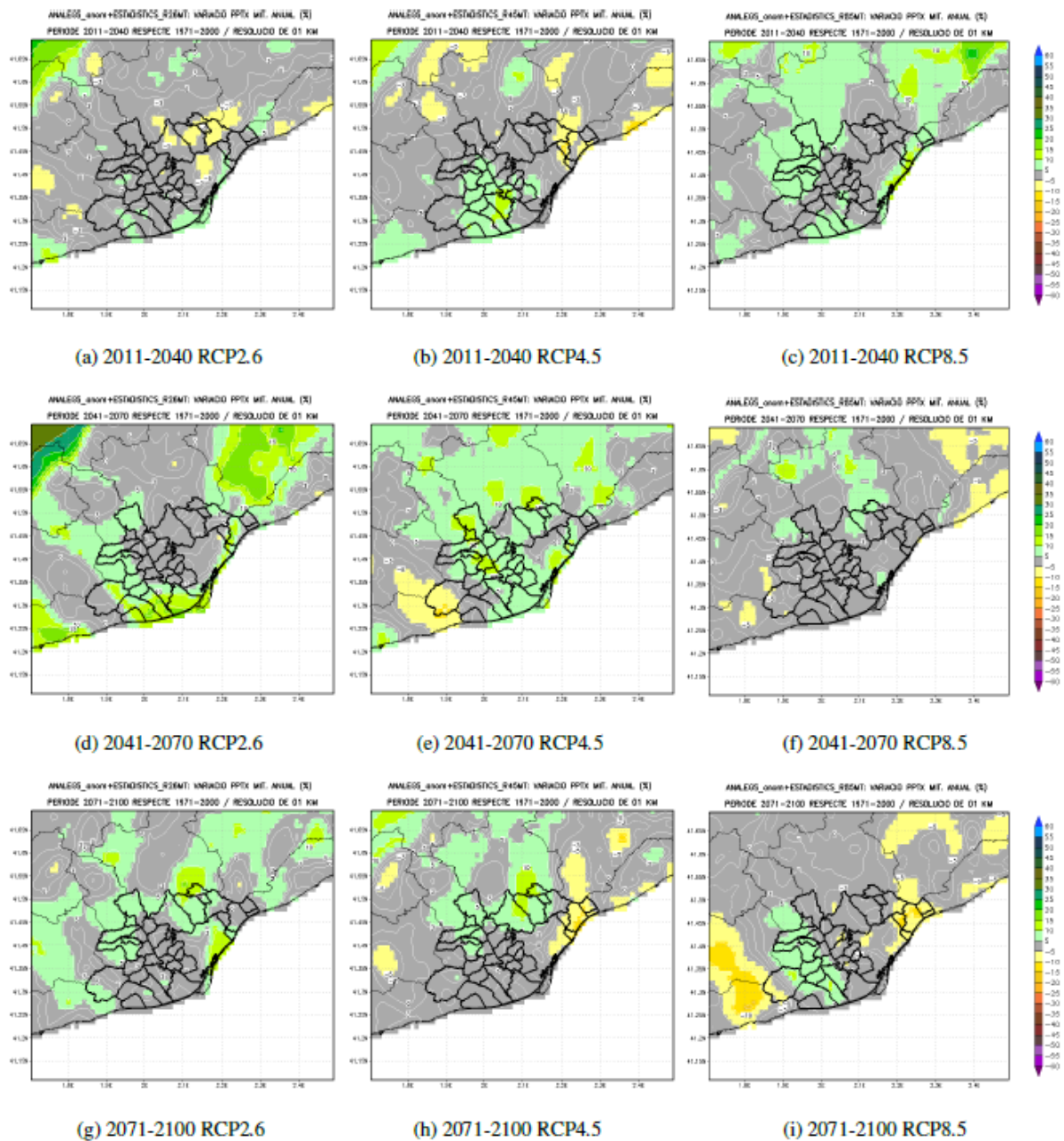
Taula 9: Variacions projectades de precipitació mitjana estacional a Barcelona

	RCP	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Hivern	RCP2.6	sense canvis	2%	5%
	RCP4.5	sense canvis	7%	-3%
	RCP8.5	6%	-19%	-13%
Primavera	RCP2.6	-6%	-4%	-10%
	RCP4.5	-6%	-12%	-15%
	RCP8.5	sense canvis	-13%	-32%
Estiu	RCP2.6	-20%	-13%	-10%
	RCP4.5	-16%	-36%	-41%
	RCP8.5	-23%	-37%	-61%
Tardor	RCP2.6	3%	4%	-13%
	RCP4.5	-13%	6%	-8%
	RCP8.5	-6%	-1%	-9%

Font: Escenaris Climàtics regionalitzats a l'Àrea Metropolitana de Barcelona. Servei Meteorològic de Catalunya

Pel que fa als extrems de precipitació, es projecta que la precipitació màxima anual augmenti en l'AMB, tot i que no de manera generalitzada, quedant alguns dels municipis sense canvis rellevants. Aquest augment arribaria a finals de segle al 10% en l'escenari RCP8.5 a municipis com Vidadecans o Begues, o al 12% en l'escenari RCP4.5 a Cerdanyola i Barberà.

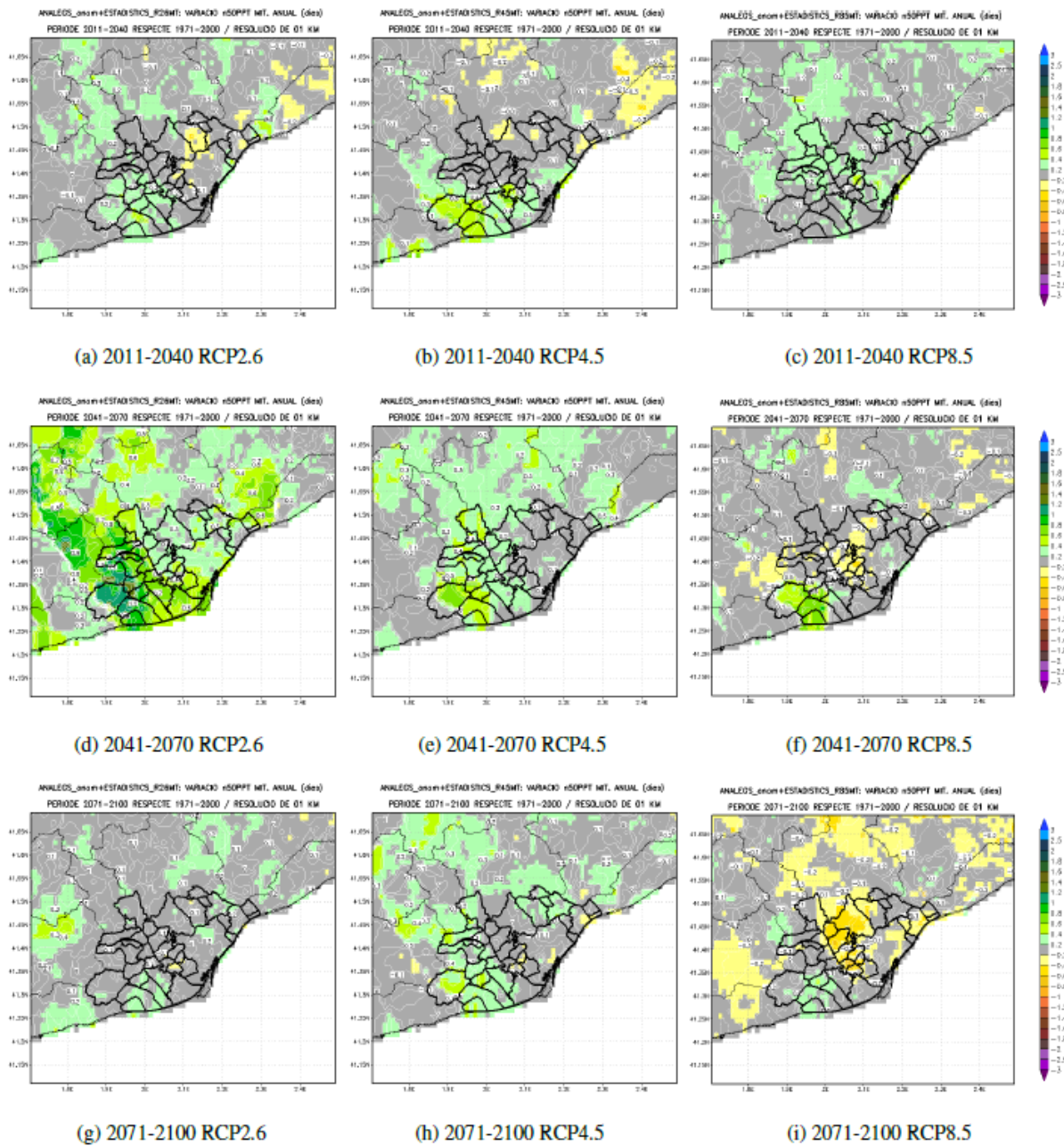
En el cas de Barcelona les projeccions varien per a diferents barris i per als escenaris temporals i de canvi climàtic considerats. Així, a principis de segle, i per a l'escenari RCP8.5, s'observa un increment del 10% en la franja litoral mentre que a llarg termini no es projecten canvia. A mig termini l'augment en aquesta zona es produeix només per a l'escenari 4.5, detectant-se només reduccions de precipitació màxima diària a finals de segle (2071-2100) concentrades en l'àmbit del Poblenou.

Imatge 23: Variacions en la precipitació màxima diària anual respecte al període 1971-2000

Font: Escenaris Climàtics regionalitzats a l'Àrea Metropolitana de Barcelona. Servei Meteorològic de Catalunya

Pel que fa al número de dies de precipitació, en l'AMB es preveu un augment dels dies amb precipitació abundant, sobretot a la primera meitat del segle XXI. Per contra, els dies amb precipitació feble presenten una clara tendència a reduir-se. En el cas de Barcelona, es segueix la mateixa tendència, amb variacions segons l'escenari considerat d'entre -0,2 i 0,3. Per contextualitzar aquests valors cal aclarir que aquesta variable té un valor mitjà anual a l'AMB de només 1,1 dies, així que respecte aquest valor de referència, les variacions, tot i semblar petites, resulten rellevants.

Imatge 24: Variacions del número de dies amb precipitació superior a 50 mm respecte al període 1971-2000



Font: Escenaris Climàtics regionalitzats a l'Àrea Metropolitana de Barcelona. Servei Meteorològic de Catalunya

Taula 10: Dies amb precipitació <5 mm i >50 mm a Barcelona

	RCP	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Dies amb precipitació <5mm	RCP2.6	-3,2	-2,5	-3,1
	RCP4.5	-4,0	-3,2	-4,9
	RCP8.5	-3,8	-8,3	-14,0
Dies amb precipitació > 50 mm	RCP2.6	sense canvis	0,2	0,1
	RCP4.5	0,3	0,1	-0,2
	RCP8.5	0,1	0,3	-0,2

Font: Escenaris Climàtics regionalitzats a l'Àrea Metropolitana de Barcelona. Servei Meteorològic de Catalunya

Royal Meteorological Society

L'any 2013 la Royal Meteorological Society va publicar l'article *Influence of climate change on IDF curves for the metropolitana area of Barcelona*, on s'analitzaven a escala local els potencials canvis en la relació intensitat-durada-freqüència com a conseqüència del canvi climàtic. El coneixement d'aquestes relacions és fonamental, ja que són la base per a definir els hietogrames¹² de pluja associats a cada període de retorn, i en segon terme, el volum d'aigua d'escorrentiu que poden produir. L'estudi es basa en les dades obtingudes en sis estacions meteorològiques de l'àrea metropolitana de Barcelona, quatre d'elles dins el terme municipal barceloní i les altres dues a Hospitalet i Corbera de Llobregat, amb el què, tenint en compte la precisió de les tècniques de downscaling, els resultats de l'estudi resulten perfectament aplicables a la ciutat de Barcelona.

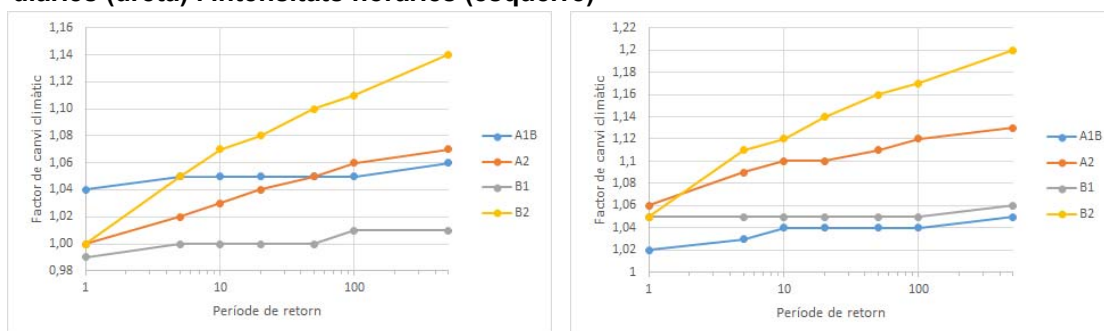
L'article té en compte els escenaris de canvi climàtic definits per l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) l'any 2000 (B1, B2, A1B i A2), simulant sèries diàries de pluja durant el període 2000-2099. No contempla per tant els nous escenaris, definits pel mateix grup d'experts l'any 2013 (RCP 8.5, 6.0, 4.4 i 2.6). Els resultats s'expressen en base al factor de canvi climàtic¹³ (c_f), definit com el ràtio entre la intensitat de pluja associada a un període de retorn i una durada d per a l'escenari futur, i la corresponent intensitat de pluja actual.

$$c_f = \frac{I(T, d)_{Futur}}{I(T, d)_{Present}}$$

Les projeccions es realitzen per a 3 períodes: 2000-2032, 2033-2065 i 2066-2099.

Dels resultats s'obté que les sèries de pluges diàries s'incrementen per a tots els períodes de retorn i escenaris futurs. Les variacions d'intensitats horàries de pluja també s'incrementen en qualsevol dels escenaris plantejats. Durant el tercer terç de segle (2066-2099), sota els escenaris de canvi climàtic A1B, A2 i B2, la precipitació diària esperada per a períodes de retorn compresos entre els 10 i 500 anys són superiors als valors actuals, amb increments compresos entre el 3% i el 14%. Les intensitats horàries es preveu que s'incrementin entre un 2% i un 20%. En ambdós casos, les variacions més importants es produeixen en l'escenari B2.

Imatge 25: Coeficients de canvi climàtic per al període 2066-2099 de les precipitacions diàries (dreta) i intensitats horàries (esquerre)



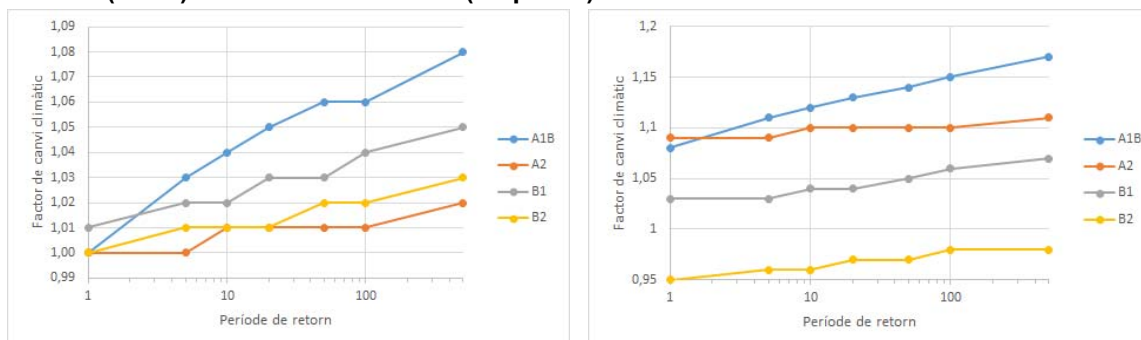
Font: Influence of climate change on IDF curves for the metropolitana area of Barcelona

¹² Corbes temporals de distribució de la intensitat de pluja

¹³ Arnbjerg-Nielsen, 2012

Per al període 2033-2065 els increments de pluges diàries oscil·len entre el 1% i el 8% d'increment. Les intensitats es preveu que s'incrementin entre el 3% i el 17% en els escenaris A1B, A2 i B1, mentre que en l'escenari B2 s'observa una reducció d'entre el 2% i el 5%. En aquest segon terç, l'escenari A1B és el que presenta increments majors.

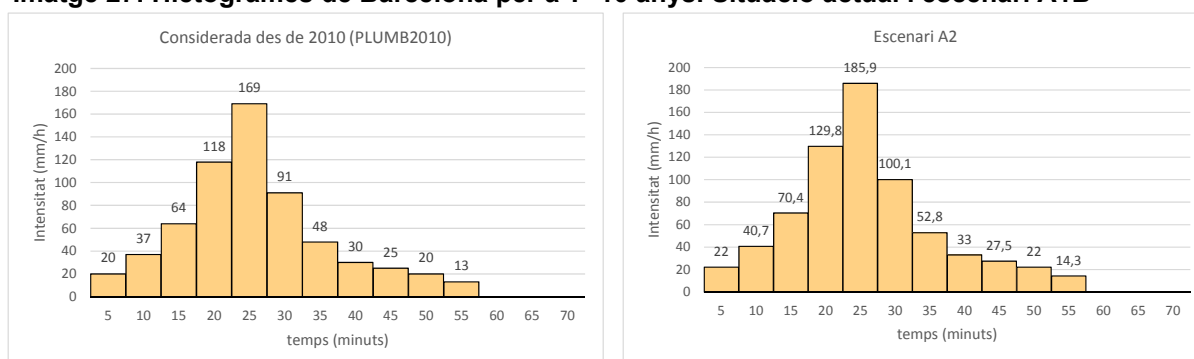
Imatge 26: Coeficients de canvi climàtic per al període 2033-2065 de les precipitacions diàries (dreta) i intensitats horàries (esquerre)



Font: Influence of climate change on IDF curves for the metropolitana area of Barcelona

En base a aquests estudi, i a tall d'exemple, el hietograma futur de disseny i simulació de la xarxa de clavegueram en un escenari A2 per a una pluja de 10 anys de període de retorn i per al període 2033-2065 serà el que es reflexa a la següent figura:

Imatge 27: Hietogrames de Barcelona per a T=10 anys. Situació actual i escenari A1B



Font: Barcelona Regional a partir de dades de BCASA

Com a factors determinants del hietograma per a l'escenari A2:

- La precipitació total és de 58,2 mm (a diferència dels 52,9 mm actuals)
- La punta es produeix als 25 minuts.
- La intensitat màxima és de 185,9 mm/h (quan la considerada actualment és de 169 mm/h)
- La durada de la precipitació és de 55 minuts

Resum de tendències generals

Després d'exposar els principals projeccions del nostre àmbit s'observa que:

- Les projeccions de precipitació motivades pel canvi climàtic no són tan robustes com les d'altres variables.
- No totes les projeccions de precipitació realitzades s'han adaptat als nous escenaris de l'any 2013, amb el que resulten difícilment comparables.

A la següent taula es resumeixen les projeccions de precipitació recollides:

Taula 11: Comparativa de les projeccions de precipitació (AEMET – SMC – RSM)

	Àmbit	Escenari de canvi climàtic	Mitjana de precipitació	Intensitat de precipitació	Dies de pluja	Dies de sequera
AEMET	Província Barcelona	2005	=	↓	↑	=
SMC	AMB	2005	↓	↑	---	---
	Barcelona	2005	↓	↑	---	---
RMS	AMB	2000	---	↑	---	---

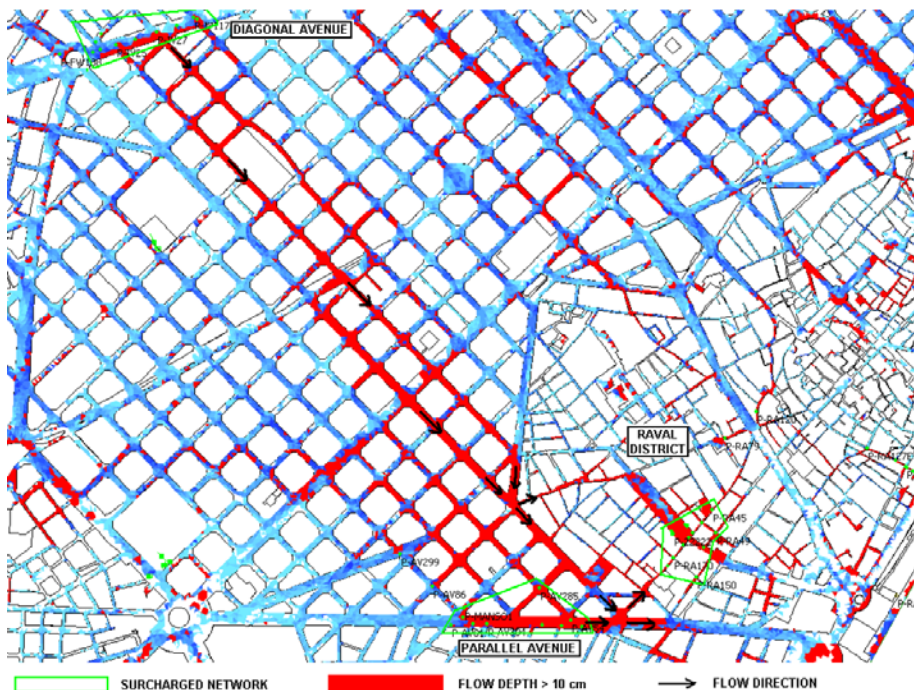
Font Barcelona Regional a partir de les dades de AEMET, SMC i RSM

2.5. ESTUDIS PREVIS SOBRE LA RELACIÓ ENTRE INUNDABILITAT I CANVI CLIMÀTIC

Entre els anys 2010 i 2014, l'empresa mixta Clabsa (Clavegueram de Barcelona SA), transformada en l'actual empresa municipal BCASA (Barcelona Cicle de l'Aigua SA), va participar en el programa CORFU¹⁴, projecte europeu de col·laboració i recerca sobre la resiliència en entorns urbans davant d'inundacions. El projecte es va dotar d'un pressupost de 4,7 milions d'euros i ens va desenvolupar al llarg de 4 anys. Hi van participar 18 socis i es van desenvolupar 8 casos d'estudi, un dels quals corresponia a la ciutat de Barcelona. En concret es va centrar en el barri del Raval, on sota diferents escenaris de canvi climàtic i de creixement urbà que es poguessin produir en el seu entorn, s'analitzaven els efectes de les pluges futures, quantificant els riscos que podien produir i proposant un seguit de mesures per a la seva mitigació.

Els models tradicionals de simulació de sistemes urbans de clavegueram es centren en el funcionament de la xarxa, assumint que un cert percentatge de l'aigua de pluja és captada mitjançant el sistema de reixes i embornals de superfície, i centrant per tant el problema en el subsòl, identificant trams amb poca capacitat, unions deficientes o sobreiximents del sistema. En el programa CORFU es va utilitzar un model de simulació que permetia considerar no només la xarxa, sinó també l'escorrentiu que es genera en superfície, contemplant per tant les interaccions que es produeixen entre els dos sistemes. Per a poder fer-ho, es van introduir dades de tota la xarxa (col·lectors principals i secundaris), diferents tipologies de reixes en l'àmbit de l'estudi, i un model complet del terreny. Dels resultats se n'extreien calats, velocitats i direcció de l'aigua en superfície.

Imatge 28: Resultats del flux en superfície per a una pluja de disseny de 10 anys i l'escenari actual



Font: CORFU. Future Impacts of urban growth and climate change on flood probability

¹⁴ Collaborative Research on Flood Resilience in Urban Areas

La utilització d'aquest model va permetre identificar per a cada plaça, tram de carrer i edifici els riscos a què estaven sotmesos en funció del període de retorn de la pluja de disseny. Els primers en relació a risc per a vianants i vehicles i el tercer per a propietats privades.

Els escenaris futurs es centraren en l'any 2050, incorporant aspectes de creixement socioeconòmic (baix, mig i alt), del grau de les mesures d'adaptació plantejades (cap, baix, mig i alt) i de variacions de clima (optimistes i pessimistes). De tots els escenaris (un total de 20) es van modelar i representar els resultats de 4 d'ells, amb un escenari socioeconòmic de creixement mig, un escenari pessimista a nivell climàtic i introduint variacions en el tipus de mesures d'adaptació de manera que es poguessin comparar els resultats d'aplicar una o altra.

En concret:

- *Adaptació nivell 0*: no es realitza cap mesura d'adaptació.
- *Adaptació nivell 1*: introducció de mesures no infraestructurals, dedicades sobre tot a reduir la vulnerabilitat.
- *Adaptació nivell 2*: s'implementen tècniques de drenatge sostenible (SUDS),
- *Adaptació nivell 3*: Inclou les mesures proposades del PICBA (noves canonades, dipòsits de retenció d'aigües pluvials, etc.)

Tots els escenaris es van comparar amb l'escenari base de partida de 2010. En relació al grau de consolidació urbana del Raval no es va plantejar cap canvi d'ús del sòl a excepció dels canvis ja previstos pel planejament actual.

L'avaluació del risc es va fer a través de la combinació entre grau de perill i vulnerabilitat.

Des del punt de vista d'escenaris de canvi climàtic es van considerar 4 dels proposats per l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), en concret els A1B, A2, B1 i B2. La previsió de precipitació per a cada un d'ells es va fer en base a l'article *Influence of climate change on IDF curves for the metropolitana area of Barcelona* el contingut del qual s'explicita en l'apartat anterior. Per a cada escenari es van establir uns coeficients (C_f) que incrementaven les intensitats horàries actuals per a períodes de retorn de 1, 10 i 100 anys en un 8, 12 i un 15% respectivament. L'increment del nivell del mar considerat va ser de 0,2 m.

La valoració dels danys es va fer contemplant un canvi en la valoració d'actius proporcionals a l'evolució prevista del PIB. La quantitat d'actius es va extrapolar també a aquesta evolució i als canvis de població.

Les conclusions més importants extretes de l'estudi en relació a la metodologia van ser les següents:

- Més enllà del sistema tradicional d'1D de simulació de la xarxa, existeixen maneres per a reproduir millor i d'una manera més fiable els efectes de les inundacions en zones urbanes.
- Els models de simulació combinada entre xarxa i superfície necessiten d'un temps de càlcul de l'ordre de minuts, amb el que poden servir per a desplegar estratègies a temps reals i sistemes d'alerta primerenca.
- La metodologia aplicada amb el flux simultani en la xarxa i en superfície pot ser implantada i servir de base per a l'elaboració de Plans Directors de Drenatge, en els

què els impactes generats pel flux de l'aigua poden utilitzar-se per a prioritzar i/o justificar mesures de caire estructural i no estructurals.

En relació al model utilitzat per aquest programa cal destacar que:

- La seva utilització permet tractar el drenatge urbà com a combinació de l'escorrentiu en superfície i del funcionament de la xarxa de sanejament, oferint una molt bona aproximació a la realitat per a avaluar temes associats amb la inundabilitat.
- Els requeriments des del punt de vista de temps i pressupost són molt més alts que els models tradicionals que tracten separatament la superfície i el subsòl.
- Cal treballar amb un grau de definició del sistema de drenatge complet, introduint, a més de la xarxa primària, la xarxa secundària, totes les reixes d'embornals i les seves corresponents tipologies.
- Des del punt de vista del model topogràfic s'ha de treballar amb models amb resolucions de 1 m² i precisions de 15 cm en termes d'elevació del terreny. Aquesta precisió pot requerir la realització de vols específics i un treball de polít i ajust de les dades cartogràfiques important.

Sobre els motius de l'inundació del Raval:

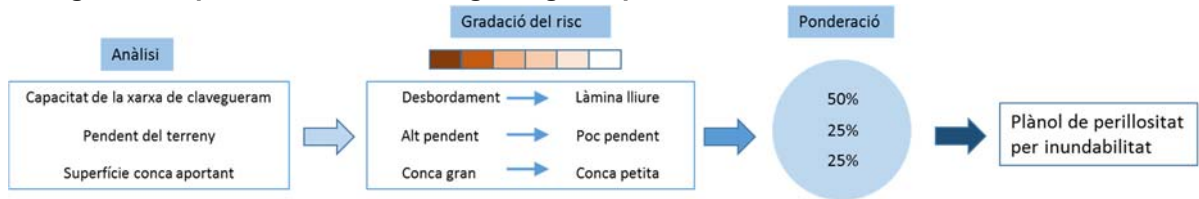
- S'observa una clara relació entre els punts on la xarxa de sanejament arriba al límit de la seva capacitat i les incidències enregistrades.
- El principal problema de la zona del Raval és que està situat en una zona de poc pendent que rep l'escorrentiu de diferents zones de la ciutat.
- L'aigua que inunda els carrers del Raval prové de l'escorrentiu que es genera en superfície en l'àmbit de la Ronda de Sant Pau i del sobreiximent de la xarxa de clavegueram de la Diagonal.

2.6. ANÀLISI DE L'EFECTE DEL CANVI CLIMÀTIC SOBRE EL PERILL D'INUNDACIÓ DE LA CIUTAT

2.6.1. Metodologia

Per a estimar els efectes que el canvi climàtic pot tenir sobre la ciutat s'ha aplicat la mateixa metodologia que en el cas de la situació actual, estimant els factors de funcionament de la xarxa de clavegueram, pendent del terreny i superfície de conca aportant, tot i que en aquest cas la ponderació entre aquestes tres variables ja ve donada pel calibratge del model actual que s'ha justificat en anteriors apartats.

Imatge 29: Esquema de la metodologia seguida per als escenaris futurs



Font: Barcelona Regional

Per als dos darrers s'han utilitzat els mateixos valors que els de la situació actual, assumint que els pendents i les configuracions de les conques drenants no varien. Pel que fa al funcionament de la xarxa s'ha simulat amb les noves projeccions, de pluja per un costat i de condicions de contorn per l'altre (increment del nivell del mar).

2.6.2. Anàlisi de la capacitat de la xarxa de clavegueram. Escenaris de futur

En la identificació dels trams amb deficiències de capacitat, s'ha utilitzat les projeccions dels escenaris A2 i B1 per al període 2033-2065. D'acord amb els criteris de dimensionament de la xarxa s'ha utilitzat una pluja sintètica associada al període de retorn de 10 anys, aplicant-li els coeficients que es dedueixen de l'estudi sobre la *Influència del canvi climàtic en les corbes IDF de l'àrea metropolitana de Barcelona*, que resulten en aquest cas 1,1 i 1,04 respectivament.

Imatge 30: Coeficients de canvi climàtic per al període 2033-2065 de les intensitats horàries



Font: Influence of climate change on IDF curves for the metropolitana area of Barcelona

En totes les simulacions s'ha considerat un increment del nivell del mar en relació a l'actual de 0,94 m, aplicable als dos escenaris i desglossat segons els següents factors:

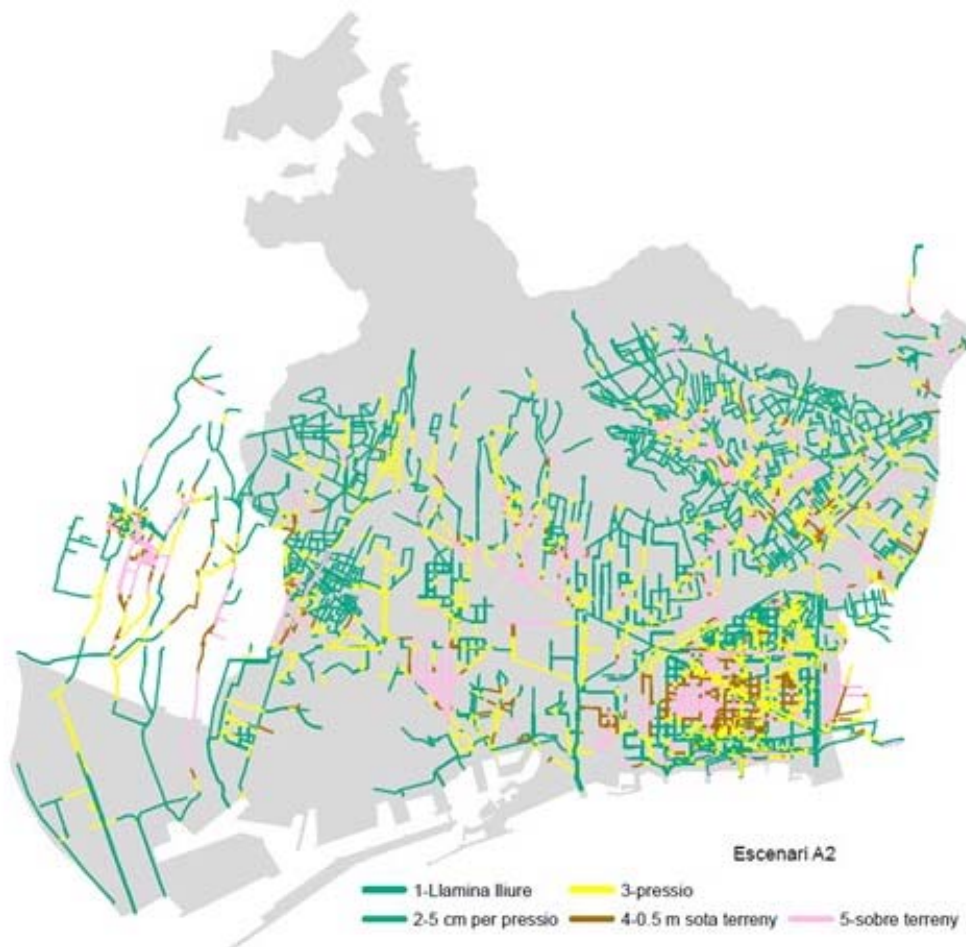
- Increment mig del nivell del mar 0,25 m
- Marea astronòmica 0,21 m
- Marea meteorològica 0,48 m

En el cas de l'increment mig del nivell del mar, l'IPCC proporciona les projeccions d'ascens més fiables per als diferents escenaris d'emissions. Fins l'any 2050 el nivell del mar augmenta a una taxa similar per tots els escenaris futurs, amb un augment que es situa entre els 0,17 i 0,37 m sobre el nivell de referència actual. S'ha considerat el valor de 0,25 m com a mitjana.

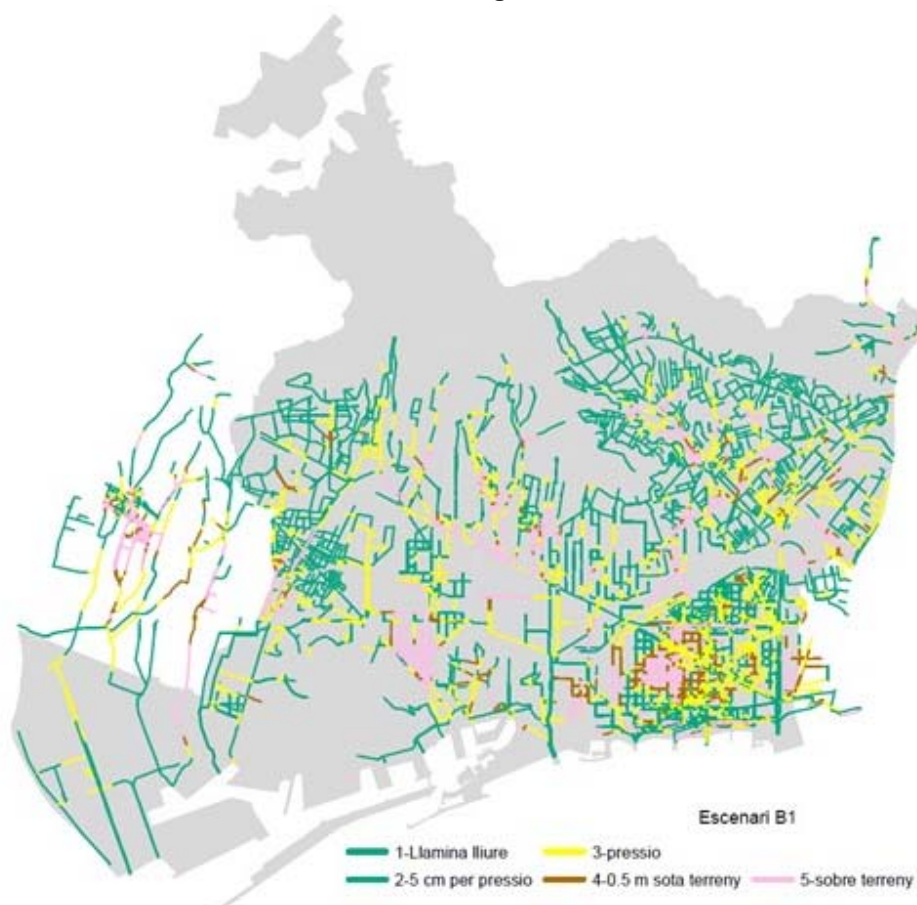
BCASA ha realitzat les simulacions de funcionament de la xarxa primària de clavegueram amb la seva configuració actual, sense incorporar cap de les actuacions previstes a mig/llarg termini, considerant els escenaris A2 i B1 de canvi climàtic, i amb les pluges de disseny associades a 10 anys de període de retorn estimades per al 2040. En ambdós escenaris, s'ha aplicat un nivell del mar de 0,94 m absoluts en els punts de sortida de la xarxa de clavegueram al mar, seguint les estimacions d'augment previst del nivell del mar explicades anteriorment.

Els resultats de la simulació realitzada per BCASA de la xarxa de clavegueram per als dos escenaris contemplats de canvi climàtic són els que s'adjunten a les següents imatges.

Imatge 31: Funcionament de la xarxa de clavegueram. Escenari A2



Font: Barcelona Regional a partir de la modelització realitzada per BCASA

Imatge 32: Funcionament de la xarxa de clavegueram. Escenari B1

Font: Barcelona Regional a partir de la modelització realitzada per BCASA

A la següent taula es resumeixen i comparen el règim de funcionament de les longituds dels trams de la xarxa.

Taula 12: Comparativa dels règims de funcionament de la xarxa de la situació actual en relació als escenaris de canvi climàtic plantejats

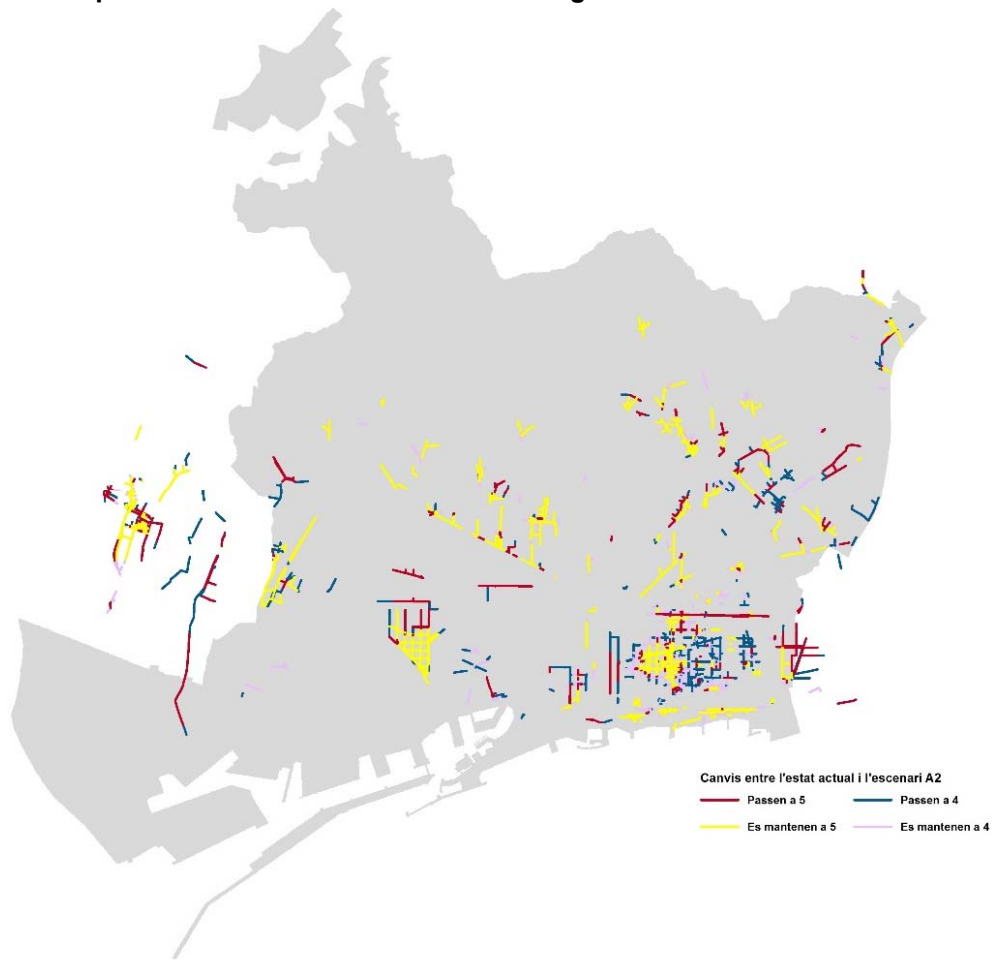
Funcionament tram		Actual (m)		Escenari A2 (m)		Escenari B1 (m)	
Làmina lliure	(nivell 1)	459.473	62%	409.217	55%	428.567	57%
5 cm per secció plena	(nivell 2)	12.111	2%	12.845	2%	10.351	1%
Canonada a pressió	(nivell 3)	165.425	22%	170.774	23%	170.780	23%
0.5 m sota terreny	(nivell 4)	42.556	6%	55.216	7%	49.090	7%
Desbordament	(nivell 5)	66.273	9%	98.393	13%	87.656	12%
		745.838	100%	746.445	100%	746.445	100%

Font: Barcelona Regional

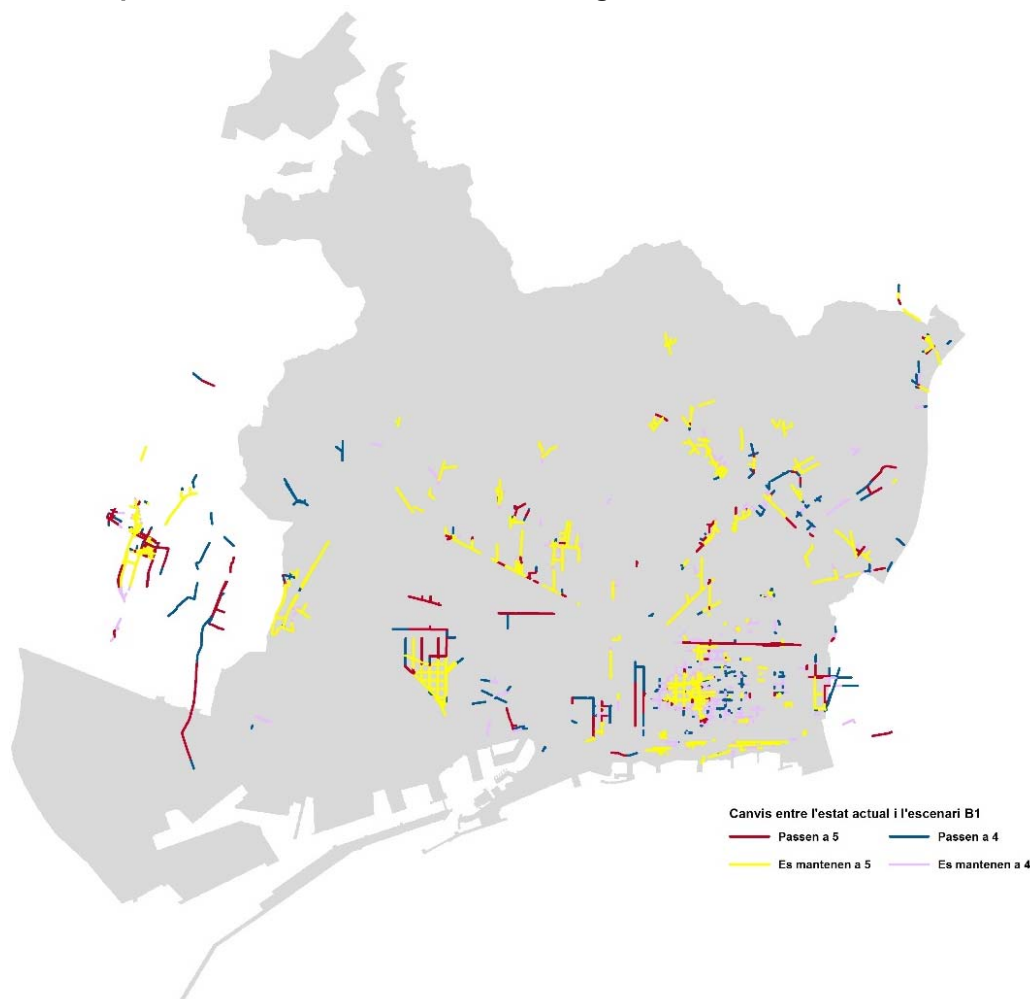
S'observa en aquest cas un funcionament més crític en l'escenari A2, on en el 13% de la xarxa es produeixen desbordaments. En els dos escenaris de futur es produeix una reducció dels trams en què es funciona a làmina lliure.

Aquests resultats s'han comparat amb la situació actual, destacant aquells trams de xarxa que ara tenen un funcionament correcte (nivells 1, 2, 3 i 4), i que en els escenaris considerats passen a produir sobreiximents (nivell 5). S'inclouen també els canvis en règims de funcionament que estaven i es mantenen a punt de desbordament (nivell 4) i els nous que passen a estar-ho. La comparativa es mostra en les següents imatges:

Imatge 33: Comparativa funcionament xarxa de clavegueram. Estat actual vs Escenari A2



Font: Barcelona Regional

Imatge 34: Comparativa funcionament xarxa de clavegueram. Estat actual vs Escenari B1

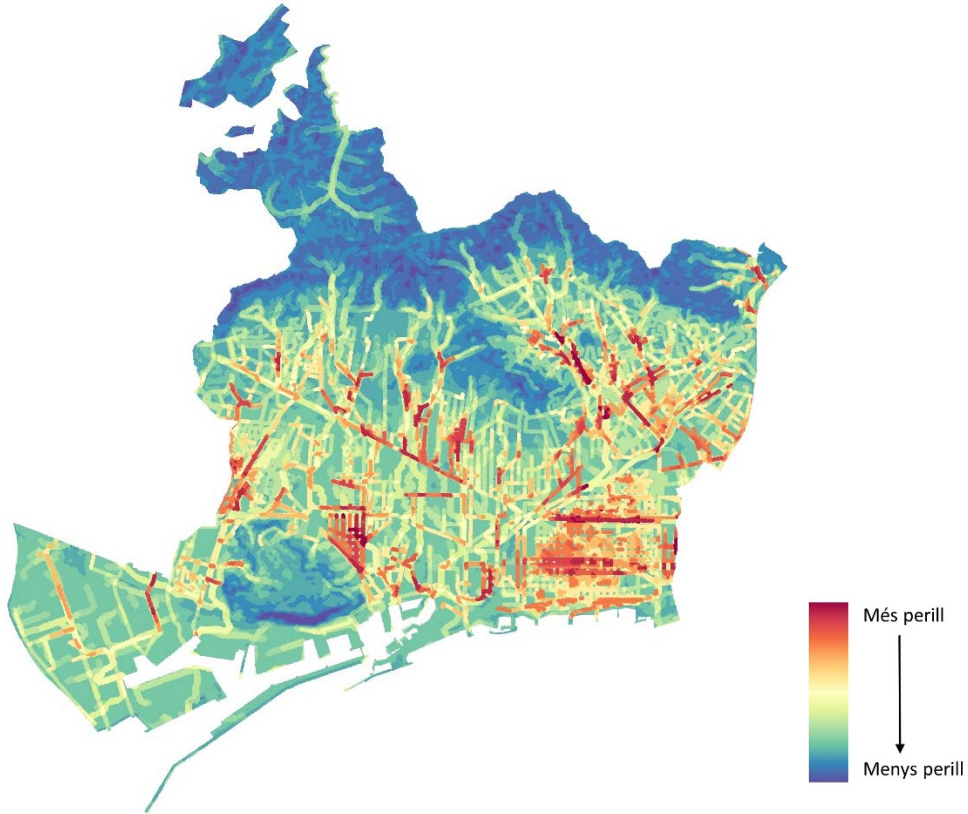
Font: Barcelona Regional

S'observa en els dos escenaris un empitjorament important. Aquest fet és especialment destacable en àmbits com el Poblenou, Sant Andreu, extrems i zona central de la Diagonal, sector de la Rambla de Badal, el barri de Sant Antoni i la zona del Port. Per a pluges superiors a un període de retorn de 10 anys aquests àmbits tenen en l'actualitat un funcionament correcte, tot i funcionar la xarxa a pressió en alguns trams, però en els escenaris de futur es preveuen desbordaments.

2.6.3. Ponderació de factors. Plànol de perillositat

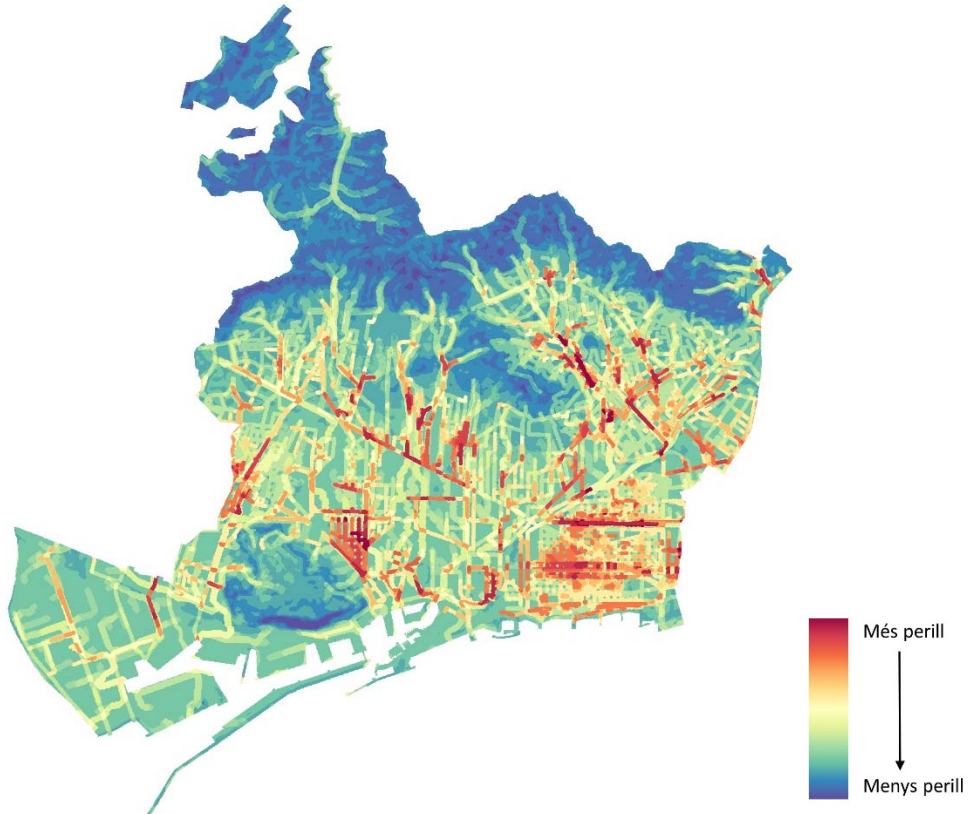
Ponderant els resultats obtinguts de la simulació de la xarxa de clavegueram amb les variables de pendent i superfície de conca aportant s'obtenen els següents plànols de perillositats per a cada escenari.

Imatge 35: Grau de perillositat per inundabilitat. Escenari A2



Font: Barcelona Regional

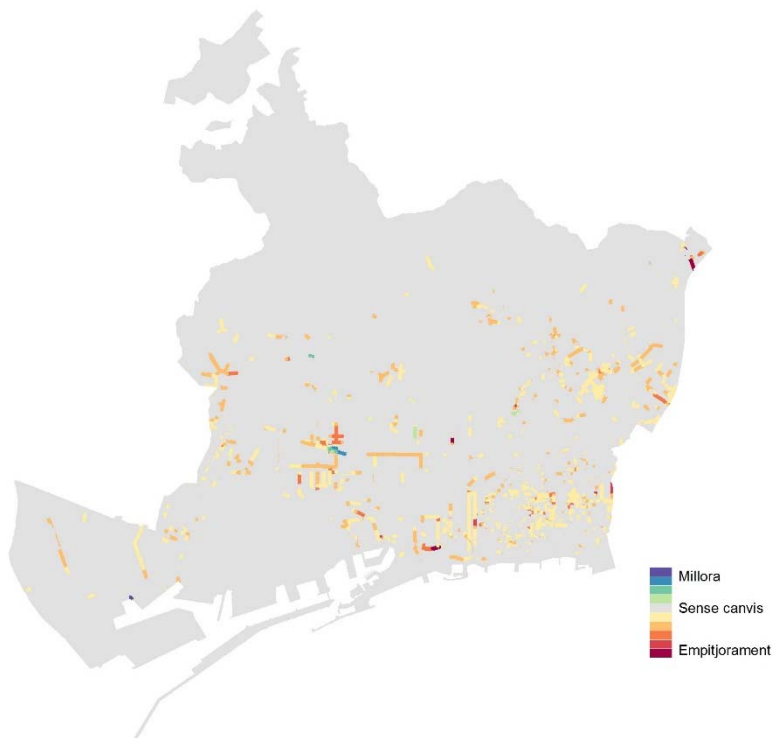
Imatge 36: Grau de perillositat per inundabilitat. Escenari B1



Font: Barcelona Regional

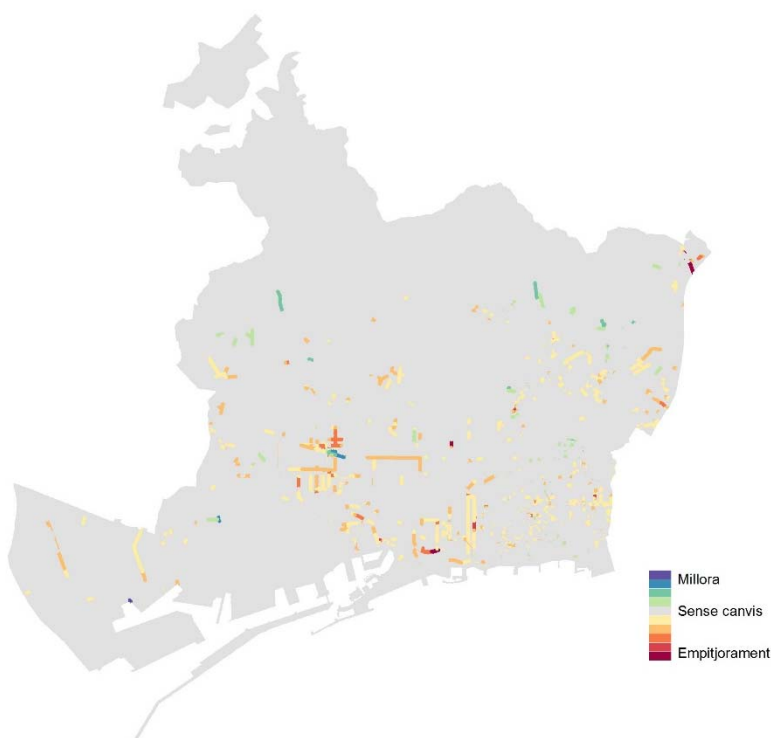
Els resultats d'aquests dos escenaris s'han contrastat amb els de la situació actual, ressaltant les zones que abans estaven en un nivell de perillositat 3 ó 4 i que ara passen a 5 i els que ja ho estaven i per tant es mantenen en aquest nivell.

Imatge 37: Comparativa perill escenari A2 vs situació actual



Font: Barcelona Regional

Imatge 38: Comparativa perill escenari B1 vs situació actual



Font: Barcelona Regional

Es posa de manifest en aquest cas la fragilitat del sistema en els àmbits del Poblenou, eix de la Diagonal, Sant Andreu, Badal i Barri de Sant Antoni, que és on concentren les zones que esdevenen crítiques en un futur.

3. CONCLUSIONS



A continuació es presenten les principals conclusions d'aquest capítol.

- Les variables associades al canvi climàtic que tenen més impacte sobre el perill d'inundació a la ciutat són aquelles relacionades amb el canvi de règim pluviomètric i del nivell del mar.
- Les tendències generals observades en relació a la pluviometria indiquen que es produirà una reducció en la precipitació mitja anual entre el 12% i el 24%, augmentaran els episodis de pluges extremes front als de pluges lleugeres o moderades; els episodis de pluja seran més curts i més intensos. Tot i això, quan baixem de l'escala general a la local, les tendències observades no són tan clares, i no totes les fonts coincideixen en les projeccions.
- En relació al nivell del mar, tots els escenaris apunten cap a un increment. En aquest sentit, i d'acord a estudis consultats en el capítol específic d'aquest tema, es considera per als dos escenaris considerats en aquest document un increment total de 0,94 m.
- Els factors que incideixen en el perill d'inundació són el grau d'impermeabilització, la capacitat de la xarxa de clavegueram i l'orografia. Les zones de la ciutat on la inundabilitat pot suposar un perill més gran són aquelles on el grau d'impermeabilització és més baix, la xarxa de sanejament presenta problemes de capacitat en casos de pluges importants, tenen un pendent suau, i la pròpia orografia del terreny fa que en elles es pugui concentrar gran quantitat d'aigua que circula per superfície. Per contra, zones amb un alt grau d'impermeabilització, on la xarxa de sanejament té prou capacitat davant episodis més extrems, presenten un elevat pendent, i la topografia fa que es concentri poca aigua d'escorrentiu superficial, són les menys perilloses.
- Actualment per pluges amb un període de retorn de 10 anys (T10), la xarxa de clavegueram presenta un funcionament correcte (tot i funcionar la pressió en alguns trams). En els 2 escenaris de futur analitzats es preveuen desbordaments en alguns punts. En aquest sentit, es posa de manifest la fragilitat del sistema en els àmbits de Poblenou, eix de la Diagonal, Sant Andreu, Badal i Barri de Sant Antoni.
- Les mesures per a reduir el perill d'inundació de la ciutat han d'anar enfocades a augmentar la infiltració, maximitzar l'entrada d'aigua d'escorrentiu cap a la xarxa de clavegueram, fer actuacions en la xarxa de clavegueram per a millorar i optimitzar el seu funcionament; i a utilitzar eines que augmentin el coneixement de la reacció de la ciutat davant futures inundacions i permetin millorar la seva gestió.

4. RECOMANACIONS



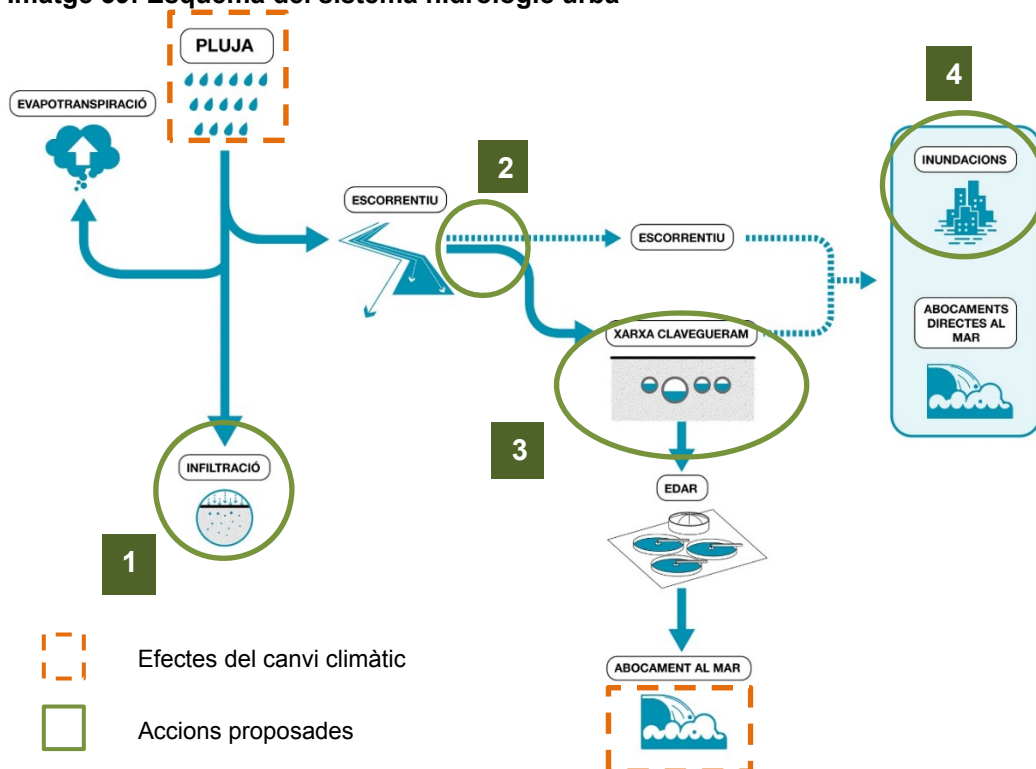
Possibles mesures per a REDUIR ELS PERILLS del canvi climàtic

El canvi climàtic, tal com s'ha vist en anteriors apartats, portarà associats dos aspectes que poden tenir incidència sobre el perill d'inundabilitat degut a pluges torrencials a la ciutat. El primer és el canvi del règim pluviomètric, on la majoria de projeccions coincideixen en que es produirà un augment de la intensitat de pluges i una concentració dels episodis extrems. D'ells, l'increment d'intensitat és el que pot induir a que determinades zones de la ciutat s'inundin o no. El segon aspecte és l'increment del nivell del mar, que condiona el funcionament de la xarxa de clavegueram en situacions extremes, quan es produeix el sobreeximent directe al medi i on aquest esdevé una condició de contorn. Un increment en el nivell del mar implica en condicions extremes que els sobreexidors no funcionin tal com es van dissenyar en un inici, provocant sobreelevacions en la xarxa que poden traduir-se en desbordaments en superfície, i per tant provocar inundacions al carrer.

Des d'una escala local el grau d'incidència sobre aquests dos factors és limitat, però no ho són les mesures que es proposen a continuació per a minimitzar els seus efectes. Les accions proposades són les que s'han reflectit en el següent esquema, i van orientades a:

1. Augmentar la infiltració
2. Maximitzar l'entrada d'aigua d'escorrentiu cap a la xarxa de clavegueram
3. Introduir millores a la xarxa de clavegueram encaminades a millorar i optimitzar el seu funcionament.
4. Utilitzar eines que augmentin el coneixement de la reacció de la ciutat davant futures inundacions i permetin millorar la seva gestió, així com valorar les afectacions sobre infraestructures crítiques i altres serveis urbans.

Imatge 39: Esquema del sistema hidrològic urbà



Font: Barcelona Regional

1- Augmentar la infiltració

El grau d'impermeabilització és el què determina quin percentatge de la pluja caiguda es converteix en escorrentiu. En zones urbanes, on aquest és molt alt, s'arriba a valors del 90%¹⁵, mentre que en zones forestals o de conreu pot estar entorn al 10%. En contraposició, la infiltració que es produeix a les ciutats ronda valors del 15% mentre que en àrees rurals pot arribar al 50%.

L'efecte de la impermeabilització (o reducció de la infiltració) no només es limita a la potencial quantitat d'aigua que pot circular per superfície sinó també en la manera que ho fa. Amb l'augment d'impermeabilització augmenta el cabal màxim i redueix el temps en que apareix aquesta punta, disminuint per tant el temps de reacció de cara a adoptar alguna mesura per a mitigar els seus efectes.

En zones densament urbanitzades com la ciutat de Barcelona on en poc més de 50 anys s'ha augmentat el grau d'impermeabilització en un 27%, es pot actuar amb mesures per a aturar o invertir aquesta tendència. En aquest sentit es planteja:

- Introduir a la ciutat tècniques de drenatge urbà sostenible (rases drenants, zones d'infiltració-retenció, paviments permeables entre d'altres), prioritzant-les en aquelles zones on resultin més eficients, per a augmentar la infiltració i/o l'evapotranspiració, reduint en conseqüència l'escorrentiu o augmenten el temps d'arribada de la punta.
- Potenciar la construcció de cobertes verdes en edificis de nova construcció o en aquells existents on sigui possible.
- Augmentar la superfície verda permeable de la ciutat (parcs i parterres amb infiltració directa al terreny). En aquest sentit serà important també millorar el coneixement que tenim sobre el grau d'ocupació i usos del subsòl de la ciutat i avançar en la seva planificació, valorant la possibilitat d'establir espais de reserva.
- Construir basses de recàrrega en punts alts de la ciutat, que facilitin la infiltració i generin un efecte de retenció i laminació del cabal d'avinguda.

2- Reduir l'escorrentiu superficial

Uns dels elements clau en el funcionament de la xarxa de clavegueram (drenatge) de la ciutat són els embornals. La seva funció és fer entrar l'aigua que discorre en superfície cap als col·lectors. Suposant que la xarxa estigui dimensionada per a fer front a les pluges actuals i futures, el perill d'inundabilitat en un entorn urbà i artificialitzat dependrà fonamentalment de la capacitat d'aquests elements per a eliminar l'aigua de la superfície.

Així doncs resulten clau el tipus de reixa utilitzat, la seva disposició, el manteniment i neteja que se'n faci, i per tant esdevé cabdal per la gestió de l'escorrentiu superficial, tan la fase de disseny dels projectes, en la que es determinen els elements de drenatge a incloure, com la fase de manteniment, que ha de garantir la seva funcionalitat posterior. En aquest sentit, indicar que ja existeixen protocols establerts a nivell de l'Ajuntament que preveuen actuacions en ambdós fases.

Concretament existeix la Guia de criteris tècnics generals de la xarxa de clavegueram de la ciutat de Barcelona (BCASA, 2015), que determina els criteris tècnics a tenir en compte en la

¹⁵ Arnold and Gibbons, 1996

construcció i/o modificació dels elements de la xarxa de drenatge, a seguir per qualsevol actuació que es realitzi en el clavegueram i elements associats. I les disposicions que s'hi estableixen són de compliment obligatori per tal de procedir a l'aprovació del projecte i la posterior recepció de les obres. També existeix el protocol de tramitació dels projectes i seguiment de les obres ordinàries d'infraestructures o elements d'urbanització, conservació i millora i projectes d'urbanització, en el que l'Ajuntament assigna a BCASA com responsable de l'espai públic la supervisió i correcció de la totalitat dels projectes de la ciutat en matèria de clavegueram i drenatge.

Pel que fa al manteniment, BCASA realitza des de 2015 la neteja periòdica de les reixes instal·lades a la ciutat amb el recolzament d'un manteniment preventiu dinàmic que prioritza els punts a netejar en funció de les inspeccions prèvies realitzades constantment, la estacionalitat i la previsió meteorològica. Per altra banda es realitza un manteniment correctiu encarregat de reposar i reparar elements trencats, i corregir defectes urbanístics.

Així doncs, ja existeixen diversos mecanismes per garantir que el drenatge funcioni correctament. Per tant és necessari:

- Garantir la correcta aplicació dels protocols existents en la matèria, i continuar amb el control del seu compliment estricte.
- Assegurar que totes les actuacions que es determinin en fase de projecte s'executin en la seva totalitat, garantint el compliment dels criteris adoptats en la fase de disseny, i que es realitzi un seguiment adequat del funcionament d'aquestes actuacions.

3- Introduir millores en la xarxa de clavegueram

El Pla Integral de Clavegueram de Barcelona 2006 (PICBA'06) contempla dins els seus objectius analitzar les deficiències del sistema de clavegueram de la ciutat, i proposa actuacions conseqüents per a solucionar els problemes detectats coordinadament amb els grans canvis urbanístics previstos a Barcelona i el seu entorn proper, per a garantir el correcte funcionament de la xarxa per a pluges de 10 anys de període de retorn. Actualment s'està elaborant el Pla Director Integral de Sanejament (PDISBA), actualització del PICBA'06, amb l'objectiu d'analitzar i diagnosticar la situació actual del clavegueram i proposar solucions que millorin el conjunt del sistema de sanejament.

Per a realitzar un primer anàlisi del funcionament de la xarxa de clavegueram amb les projeccions de canvi climàtic estudiades al present document BCASA ha realitzat una simulació simplificada del funcionament hidràulic de la xarxa considerant la pluja de disseny del projecte CORFU amb uns increments del 10% i 4% per als escenaris A2 i B1 respectivament. Els resultats de les simulacions posen en relleu uns punts on la xarxa entra en càrrega (veure apartat 8). La definició concreta de les accions a realitzar serà objecte de la propera actualització del PICBA'06 (PDISBA), i superen l'abast del present document. Tot i això, sí que la naturalesa i tipologia de les mesures proposades inicialment poden exemplificar el tipus d'accions a realitzar a la xarxa per a adaptar-la a les noves exigències de futur. En concret:

- Manteniment preventiu i correctiu de la xarxa existent.
- Actuacions puntuals de millora del drenatge en zones especialment vulnerables, incloent de dipòsits de retenció anti-DSU per laminar els cabals i retenir la punta de la contaminació, resolent la incapacitat de l'interceptor de residuals en episodis de pluja.

- Aplicació de les mesures de gestió dels actuadors existents a la xarxa d'acord amb les conclusions extretes del futur Pla Director Integral De Sanejament.

La prioritització d'aquestes accions hauria d'anar encaminada a resoldre les problemàtiques d'aquelles primeres zones identificades com sotmeses a un major risc d'inundació: Poblenou, eix de la Diagonal, Sant Andreu, Riera Blanca, Badal i Barri de Sant Antoni.

4- Altres

Per últim, seria interessant que tot el coneixement derivat dels diferents estudis sobre la incidència del canvi climàtic en aspectes relacionats amb la inundabilitat urbana es tinguin en compte en la gestió i planificació del cicle urbà de l'aigua.

Especialment interessants seran els estudis que combinin la resposta de la xarxa de clavegueram amb l'escorrentiu en superfície tenint en compte les variacions dels diferents escenaris climàtics, i per tant contemplat les interaccions que es puguin produir entre ambdós sistemes.

5. BIBLIOGRAFIA



- A.N. PEDERSEN, P.S. MIKKELSEN, K. ARNBJERG-NIELSEN. *Climate change-induced impacts on urban flood risk influenced by concurrent hazards*, 2012
- ARNOLD AND GIBBONS. *Impervious Surface Coverage*, 1996.
- AJUNTAMENT DE BARCELONA. *Pla Especial de Clavegueram (PECB)*, 1988.
- AJUNTAMENT DE BARCELONA. *Pla Especial de Clavegueram de Barcelona (PECLAB)*, 1997.
- CLABSA. *Pla Integral de Clavegueram (PICBA)*, 2006.
- CLIVAR SPAIN. *Climate in Spain: Past, Present and Future. Regional climate change assesment report*, 2010
- CORFU CONSORTIUM. *Collaborative Research on Flood Resilience in Urban Areas (CORFU). Future Impacts of urban growth and climate change on flood probability. Final Report*, 2010
- ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY. *Influence of climate change on IDF curves for the metropolitana area of Barcelona*, 2013.
- SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA. *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics pel 1950-2015*.
- SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA. *Escenaris Climàtics regionalitzats a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (ESAMB)*, 2016.

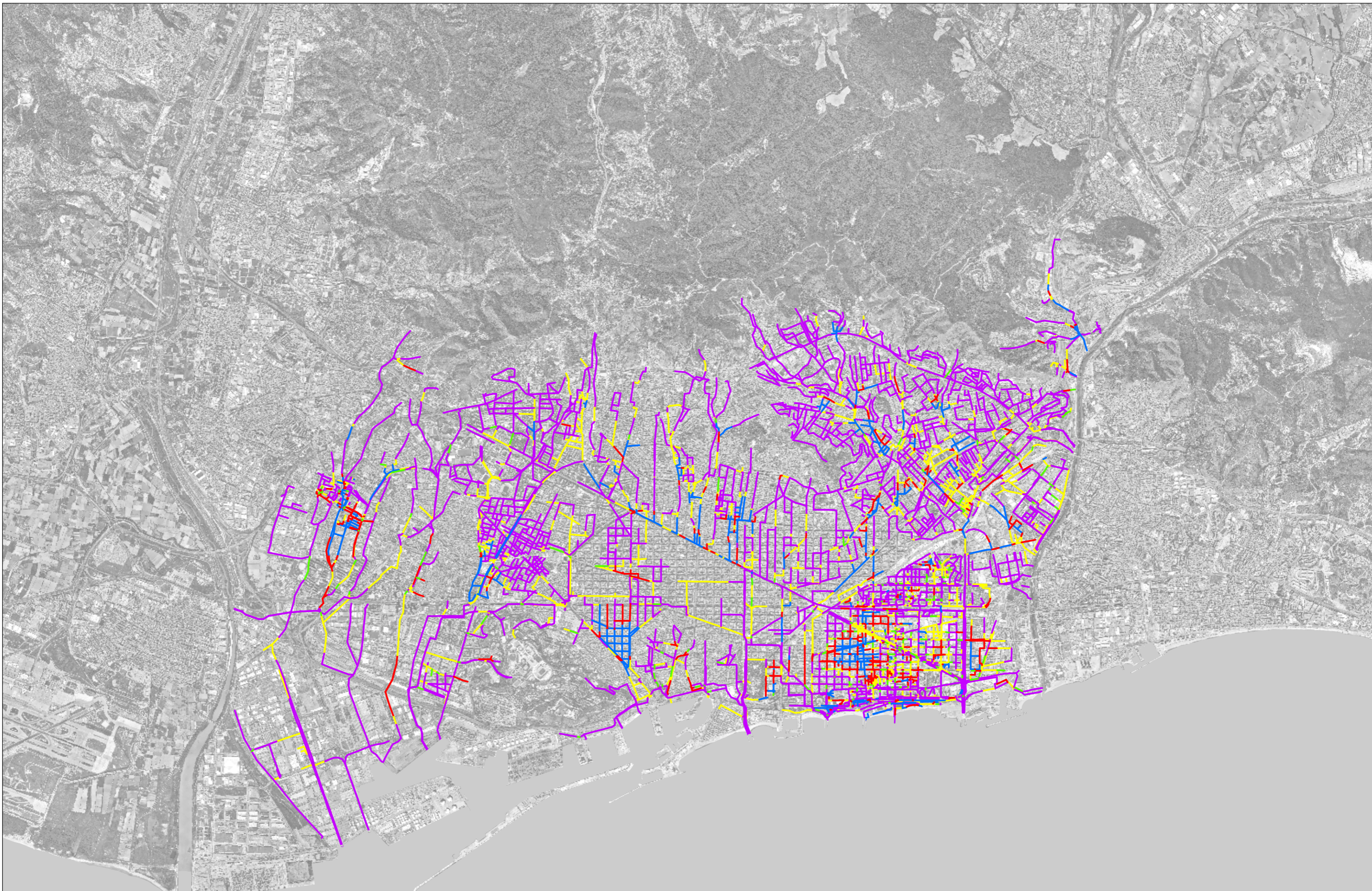
6. ANNEXOS

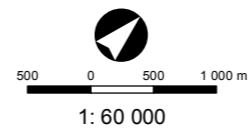
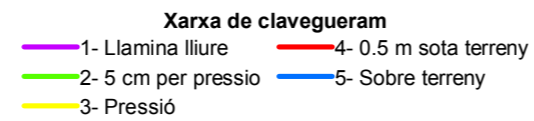
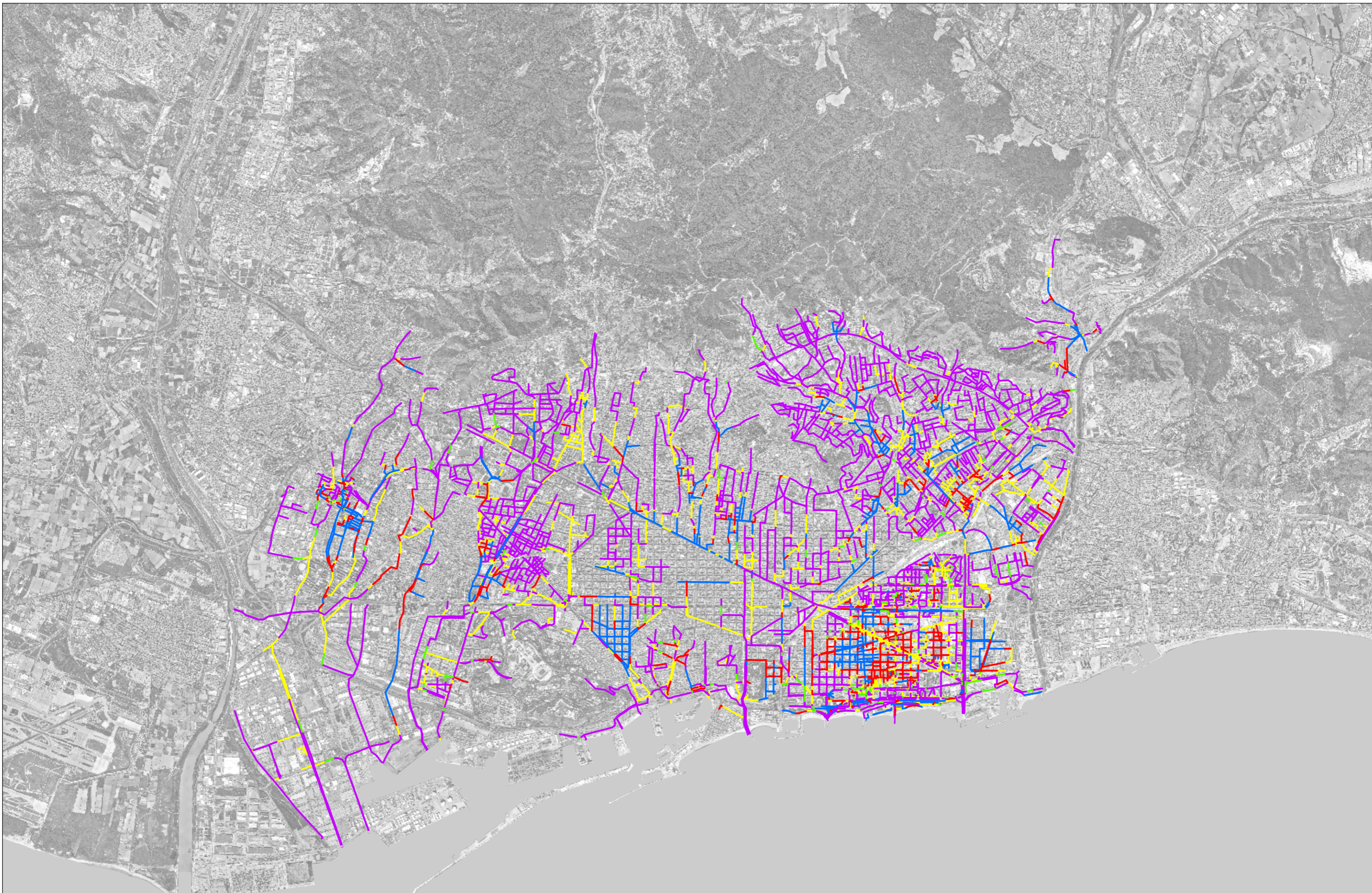


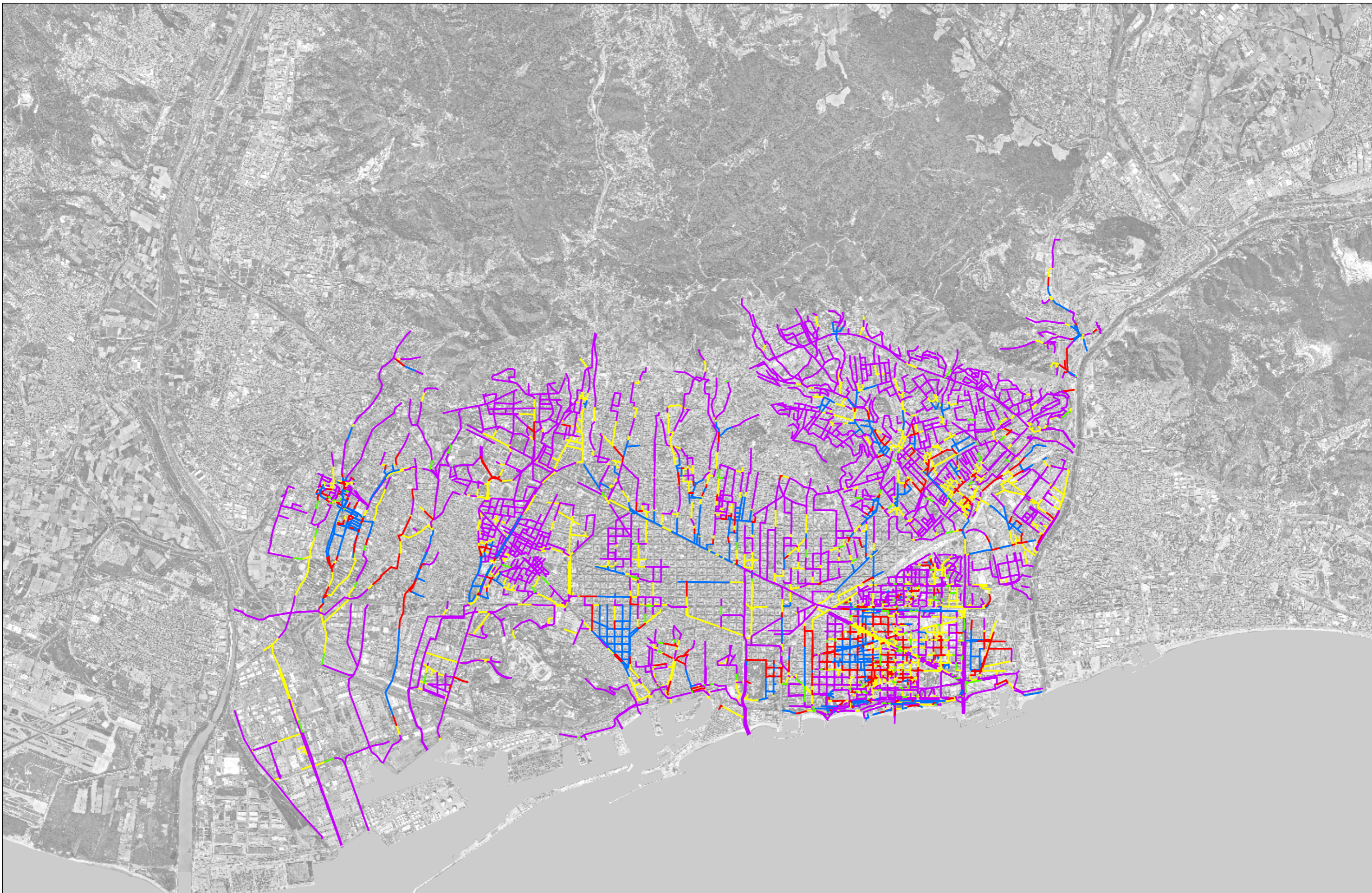
Mapes

1. Situació de funcionament de la xarxa de clavegueram. Escenari actual
2. Situació de funcionament de la xarxa de clavegueram. Escenari A2
3. Situació de funcionament de la xarxa de clavegueram. Escenari B1
4. Grau de perillositat per inundabilitat. Escenari actual
5. Grau de perillositat per inundabilitat. Escenari A2
6. Grau de perillositat per inundabilitat. Escenari B1





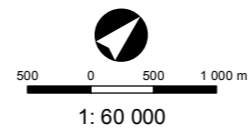




**Ajuntament
de Barcelona**



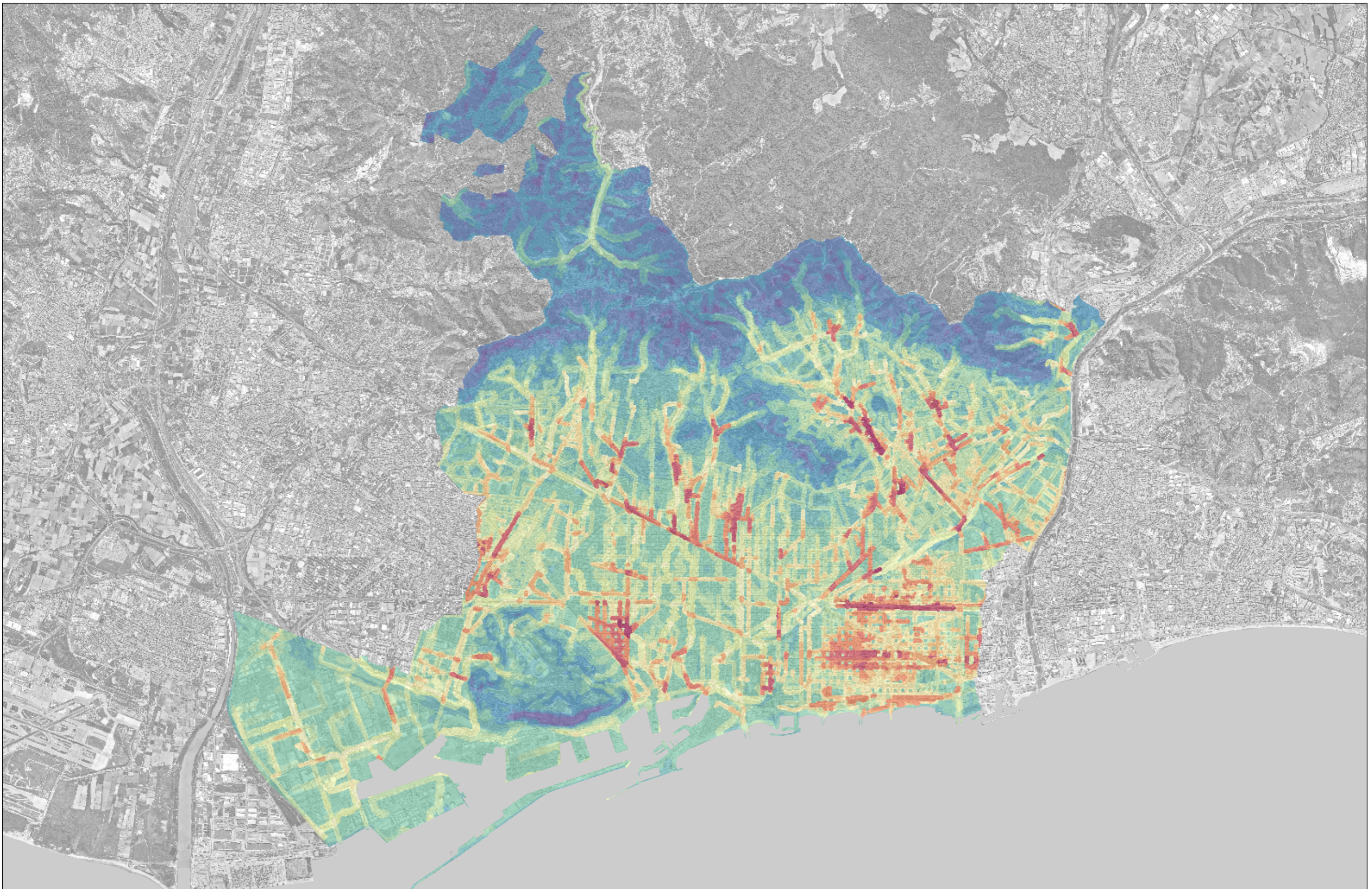
- Xarxa de clavegueram**
- 1- Llamina lliure
 - 2- 5 cm per pressio
 - 3- Pressió
 - 4- 0.5 m sota terreny
 - 5- Sobre terreny



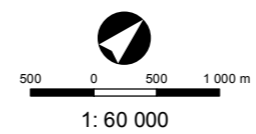
ESTUDI DELS IMPACTES DEL CANVI CLIMÀTIC A BARCELONA
Capítol III. Inundabilitat urbana
2017

Situació de funcionament de la xarxa de clavegueram
Escenari B1



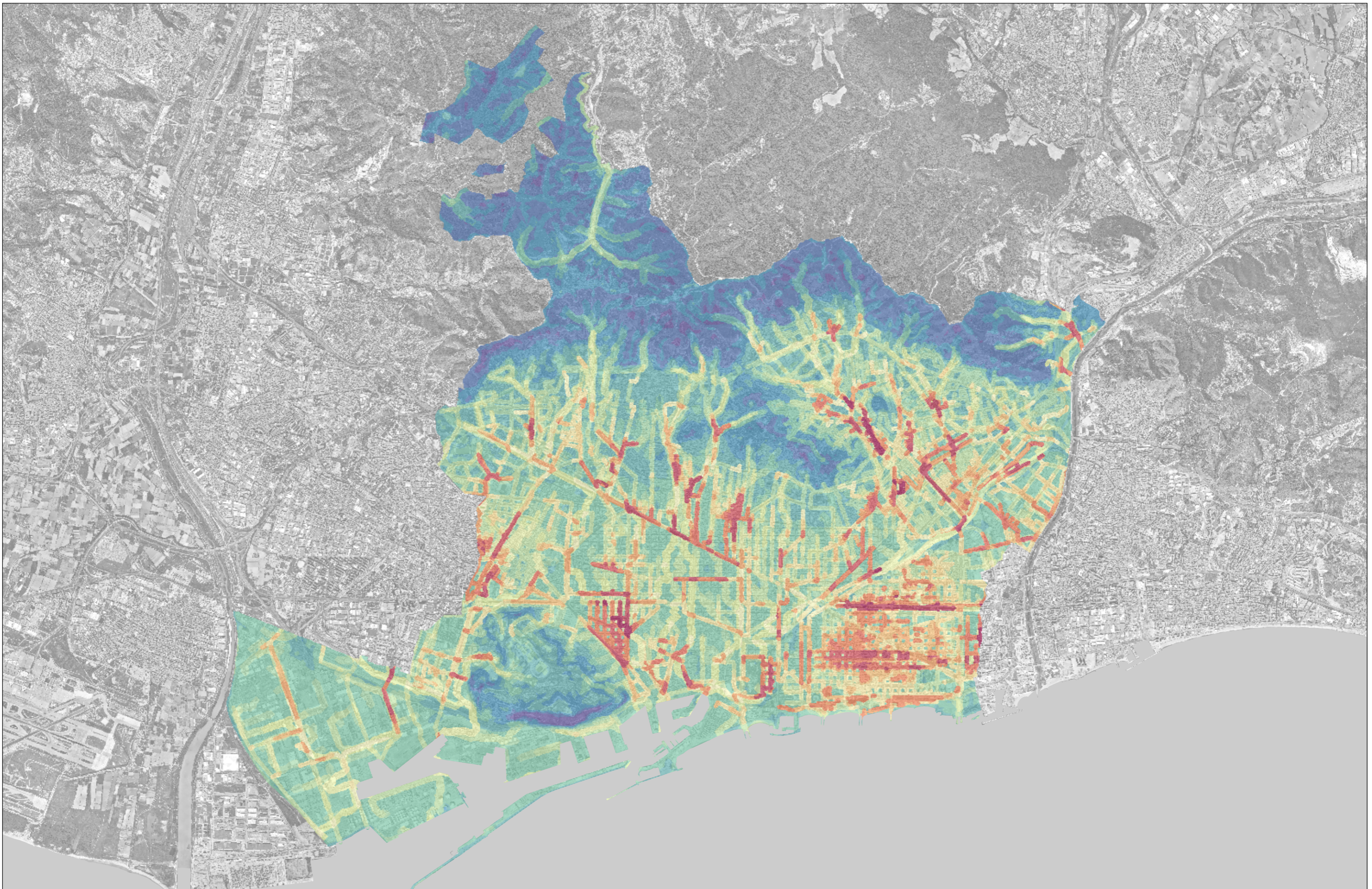


Grau de perillositat per inundabilitat
 Més perill
 Menys perill

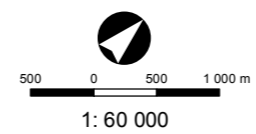


ESTUDI DELS IMPACTES DEL CANVI CLIMÀTIC A BARCELONA
 Capítol III. Inundabilitat urbana
 2017

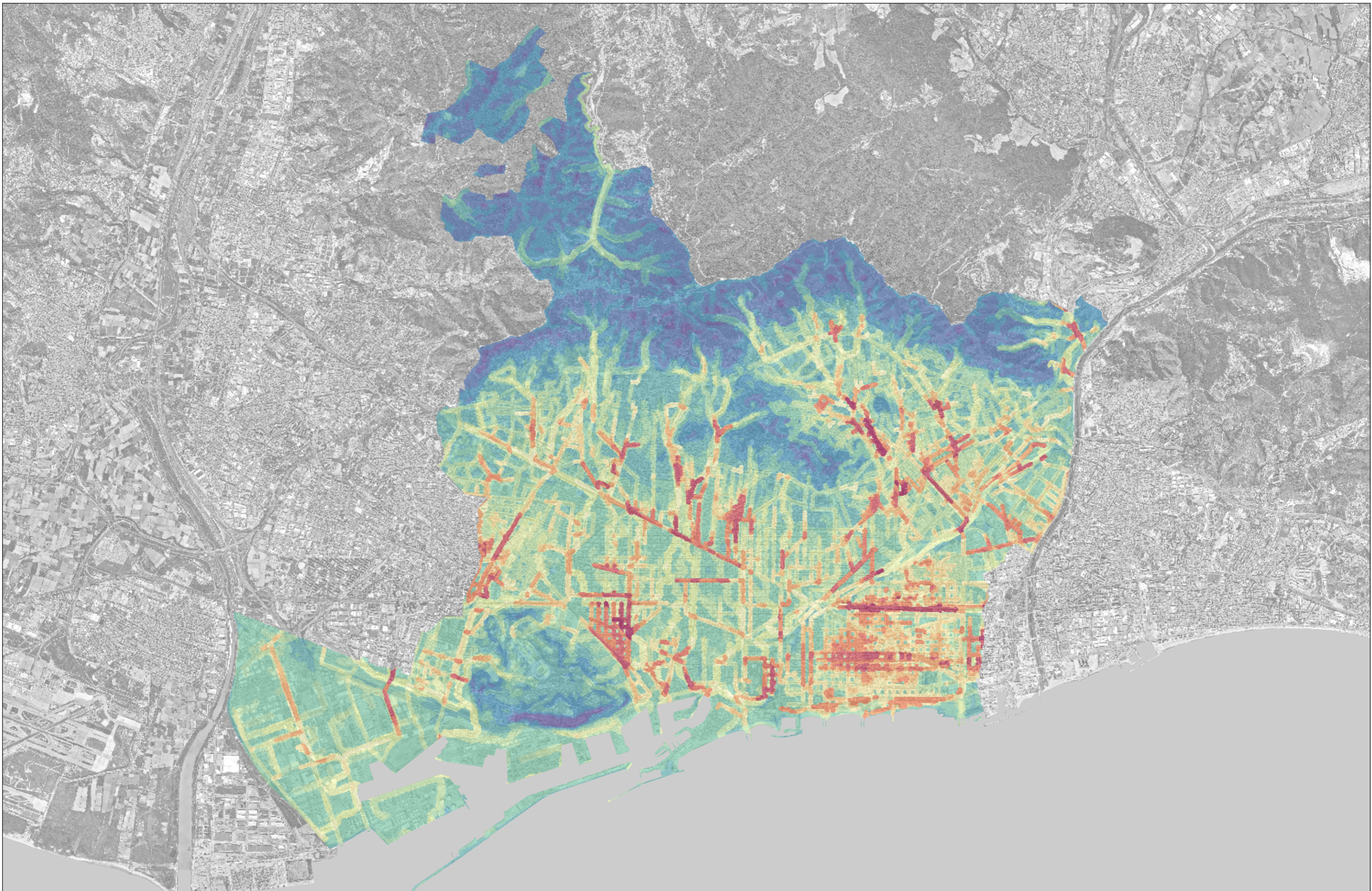
Grau de perillositat per inundabilitat
 Escenari actual



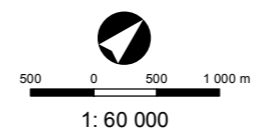
Grau de perillositat per inundabilitat
Més perill
Menys perill



ESTUDI DELS IMPACTES DEL CANVI CLIMÀTIC A BARCELONA
Capítol III. Inundabilitat urbana
2017
Grau de perillositat per inundabilitat
Escenari A2



Grau de perillositat per inundabilitat
 Més perill
 Menys perill



ESTUDI DELS IMPACTES DEL CANVI CLIMÀTIC A BARCELONA
 Capítol III. Inundabilitat urbana
 2017
 Grau de perillositat per inundabilitat
 Escenari B1