

# VULNERABILITATS DEL SISTEMA DE MOBILITAT DAVANT ELS EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC

## PROPOSTES D'ACTUACIÓ

### RESUM DE CONTINGUTS

*pd* **I**

Juliol 2020

Aquest informe ha estat elaborat per:

Direcció tècnica: **ATM**

Equip redactor:

**ERF**

Josep M. Palau Garrabou, biòleg i consultor ambiental

Marina Caballería Lamora, ambientòloga

Ivan Capdevila Peña, enginyer industrial

**Cinesi**

Francesc Xandri González, enginyer tècnic d'obres públiques

Jordi Font Ballesté, geògraf

Mayte Díaz Rodríguez, enginyera civil

**Berrysar**

Josep Pinós i Alsedà, enginyer de camins, canals i ports

## SUMARI

RESUM DE CONTINGUTS	4
I. Objecte de l'informe .....	5
II. Adaptació del sistema de mobilitat al canvi climàtic: una necessitat ineludible.....	5
III. Variables climàtiques rellevants.....	5
IV. Cartografia d'escenaris climàtics i riscos.....	6
V. Conceptes clau sobre el risc.....	12
VI. Anàlisi de vulnerabilitats .....	12
VII. Riscos climàtics a considerar i conseqüències pel sistema de mobilitat .....	16
VIII. Mesures i accions proposades per incrementar la resiliència.....	17
IX. Avaluació de costos en la implementació de mesures d'adaptació.....	23
X. Anàlisi cost-benefici .....	24
XI. Governança de l'adaptació i full de ruta .....	26

**Nota.** El present resum de continguts s'ha elaborat a instàncies de l'ATM com a document complementari a l'informe principal redactat en el marc del projecte, el qual ja inclou un resum executiu sintètic.

L'extensió del resum de continguts –sensiblement superior a la del resum executiu– permet desenvolupar d'una manera més àmplia, bé que sense entrar en nombrosos aspectes de detall, l'enfocament i orientació del treball, així com els principals resultats assolits.

Les referències a capítols i apartats fetes en el present resum de continguts s'han d'entendre que corresponen a l'informe complet.

## RESUM DE CONTINGUTS

## I. Objecte de l'informe

El present informe se centra en l'àmbit territorial del sistema integrat de mobilitat metropolitana de Barcelona (SIMMB), que inclou les 12 comarques de la demarcació de Barcelona.

Avalua els riscos directes i indirectes derivats d'escenaris de canvi climàtic durant el període 2021-2050 sobre els modes viari i ferroviari i planteja un seguit d'accions, orientades a incrementar-ne la resiliència o, el que és equivalent, a reduir-ne la vulnerabilitat.

## II. Adaptació del sistema de mobilitat al canvi climàtic: una necessitat ineludible

El canvi climàtic és una realitat ja constatada en el nostre context territorial que s'amplificarà les properes dècades. Si més no per algunes variables –com l'increment de temperatura i l'augment de freqüència i intensitat d'episodis meteorològics extrems– els diferents models climàtics mostren tendències clares, tot i que poden diferir en la magnitud i abast dels fenòmens respectius (vegeu capítols 1 i 3 de l'informe complet).

Els diversos perills climàtics –caracteritzats per la seva intensitat i freqüència– es tradueixen en riscos amb incidència potencial a múltiples nivells sobre el medi i les persones, incloent les infraestructures i les diferents activitats humanes i sectors econòmics.

La mobilitat és un dels grans sectors estratègics afectats pel canvi climàtic, tant en la seva dimensió física –infraestructures– com funcional –mobilitat de persones i mercaderies–. Com a tal, apareix reflectit en nombrosos plans i estratègies d'adaptació a diferents nivells jeràrquics (escales catalana, estatal i europea), tot i que sovint amb indicacions força genèriques (vegeu capítol 2). En l'àmbit de la mitigació, per contra, la mobilitat adquireix un protagonisme destacat com a focus emissor de GEH i sobre aquest sector s'estableixen objectius quantificats i temporalitzats de reducció d'emissions.

El fet que la mobilitat es desenvolupi majoritàriament, a l'exterior fa que, a diferència d'altres sectors o activitats, es trobi exposada directament a inclemències meteorològiques. D'altra banda, les infraestructures de mobilitat es dissenyen i executen assumint un cicle de vida útil llarg (dècades), per la qual cosa les noves carreteres, vies ferroviàries, estacions i altres elements que s'implantin al territori es veuran afectats de ple pels nous escenaris climàtics. Una afectació que, de fet, ja es constata en les infraestructures existents (i que s'accentuarà en el futur), el gruix de les quals va ser concebut en èpoques on aquesta variable no es contemplava.

Les noves infraestructures que es facin avui, han de dissenyar-se, doncs, tenint en compte els escenaris climàtics del 2050, però buscant un equilibri cost-benefici entre la inversió a fer, la millora de la capacitat adaptativa i l'impacte ambiental associat al projecte.

Assumint aquestes premisses, és important treballar no només en la implantació de mesures d'adaptació infraestructurals, sinó també en mesures relacionades amb l'operació i el manteniment. Al capdavant, són aquestes darreres tipologies les més fàcilment aplicables en les infraestructures existents, les quals constitueixen la immensa majoria dels elements del sistema de mobilitat que hauran de fer front als escenaris climàtics futurs. En concret, a l'àmbit SIMMB existeixen 1.284 km de xarxa viària principal, més de 2.700 km de xarxa viària secundària i 938 de xarxa ferroviària.

## III. Variables climàtiques rellevants

En funció de la informació climàtica compilada s'han analitzat una sèrie de variables climàtiques que es consideren rellevants als efectes del sistema de mobilitat en l'àmbit SIMMB, considerant els escenaris menys favorables. Així, per exemple, als efectes de l'informe, no es considera rellevant l'increment de temperatures mitjanes mínimes a l'hivern, però sí el de les màximes a l'estiu, on les temperatures *per se* ja són més altes i on els efectes d'un increment addicional poden resultar encara més significatius. Per contra, l'increment de temperatures mitjanes a l'hivern, en tot cas, es podria interpretar com una reducció potencial del risc de gelades, tot i que pel fet de ser una mitjana aquesta hipòtesi no és concloent. En definitiva, s'ha tendit a considerar sempre les situacions més desfavorables, motiu pel qual s'ha treballat amb l'escenari pessimista de l'IPCC en les diverses projeccions: l'RCP8,5.

Els paràmetres climàtics inicialment considerats, amb les seves variables associades són:

- Temperatura: temperatura mitjana anual, temperatura mitjana màxima a l'estiu, nombre anual de dies i nits tòrrids, nombre anual de dies càlids i nits tropicals, durada de les onades de calor diürnes i nocturnes i nombre anual de dies de glaçada.
- Precipitació: precipitació mitjana anual, nombre anual de dies amb precipitació superior als 50 mm, nombre anual de dies amb precipitació intensa (considerant el percentil 95), nombre anual de dies amb precipitació inferior als 5 mm i nombre anual de dies amb precipitació inferior a 1 mm (o durada màxima de ratxa seca).
- Precipitació en forma de neu
- Pedra i calamarsa
- Vent: velocitat mitjana anual del vent, velocitat màxima diària del vent i ocurrència de ciclons, temporals de vent, temporals marítims, tornados i medicans.
- Tempesta elèctrica/llamps
- Boira
- Nuvolositat
- Augment del nivell del mar

Per cada variable s'han recopilat les dades generals clau atenent a diferents projeccions i escales territorials: des de l'escala més local i detallada, l'AMB, amb projeccions fetes a una resolució d'un quilòmetre, fins a l'europea (als efectes del projecte les projeccions generals a escala mundial no són rellevants). Com és d'esperar, les projeccions són més acurades com més petita és l'escala. D'aquesta manera, inclús les projeccions a nivell estatal desenvolupades per l'AEMET resulten poc útils a l'escala del projecte, ja que la resolució és de 50 km. Per exemple, si es considera la velocitat màxima del vent o la nuvolositat, s'observa la mateixa situació per tot l'àmbit SIMMB i només dues situacions diferents a tot Catalunya, inclús analitzant l'escenari climàtic més desfavorable Els resultats d'aquesta anàlisi comparada es mostren, sintèticament, en un format de taula (vegeu apartat 4.1).

## IV. Cartografia d'escenaris climàtics i riscos

L'IPCC dedica grans esforços a l'elaboració de projeccions climàtiques (vegeu 1.1. *Cinquè informe de l'IPCC*). Malgrat la seva importància, aquestes simulacions presenten limitacions amb relació a la resolució espacial, ja que, en ser elaborades a partir de models globals, abasten l'escala mundial o regions subcontinentals. Per tal de regionalitzar les projeccions climàtiques a zones més concretes del planeta i poder disposar d'escenaris climàtics a escala local, diferents organismes –centres de recerca i administracions, entre d'altres– utilitzen diverses tècniques per incrementar la resolució a la qual es poden aplicar aquests models.

En el marc del present informe s'han analitzat els principals projectes de simulació fets a diferents escales territorials –de la més general a nivell estatal a la més específica de l'AMB– a considerar per la seva potencial aplicabilitat a l'àmbit SIMMB. De tots ells, els que s'han considerat més adequats per a la generació de cartografia específica –atès el seu abast, grau d'actualització i resolució territorial– són els dos següents:

- ESCAT-2020 (vegeu 2.3. *Darreres projeccions climàtiques per tot Catalunya* de l'Annex 4).
- Projecte ESAMB a l'AMB i municipis de l'entorn (vegeu 3. *El projecte ESAMB a l'àmbit de l'AMB* de l'Annex 4).

Cal remarcar el fet que aquestes projeccions d'escenaris climàtics fan referència únicament a variables tèrmiques i pluviomètriques, per la qual cosa són aquestes les que han estat objecte de representació cartogràfica. En cada cas s'han seleccionat les variables que s'han considerat més rellevants, des de la perspectiva de les infraestructures, bé que condicionades a la disponibilitat de la informació de base corresponent. Com ja s'ha exposat abans, bàsicament s'han considerat sempre els escenaris pessimistes, basats en l'estàndard de l'IPCC denominat RCP 8,5.

La cartografia generada consta de 48 mapes i es divideix en quatre sèries temàtiques (vegeu Annex 4. *Cartografia climàtica i de riscos*):

1. Clima del període de referència 1971-2000 (10 mapes)
2. Escenaris climàtics (17 mapes)
3. Riscos actuals (7 mapes)
4. Mapes de risc sobre les infraestructures (14 mapes)

Amb caràcter general, la cartografia elaborada fa referència al conjunt de l'àmbit SIMMB. De manera addicional, la cartografia de la sèrie 2B –generada a partir del projecte ESAMB– aporta informació complementària, atenent a més escenaris temporals, per 116 municipis.

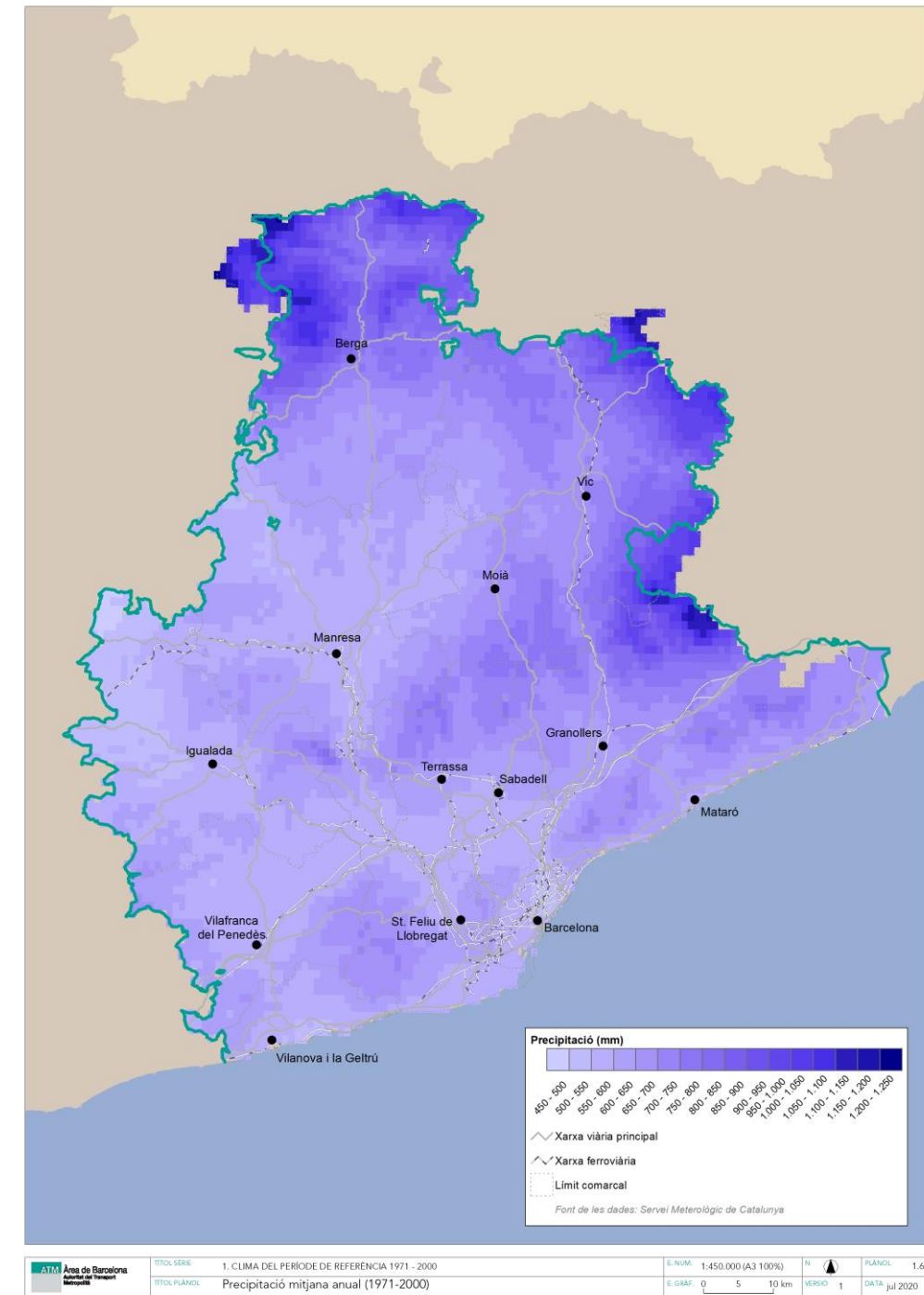
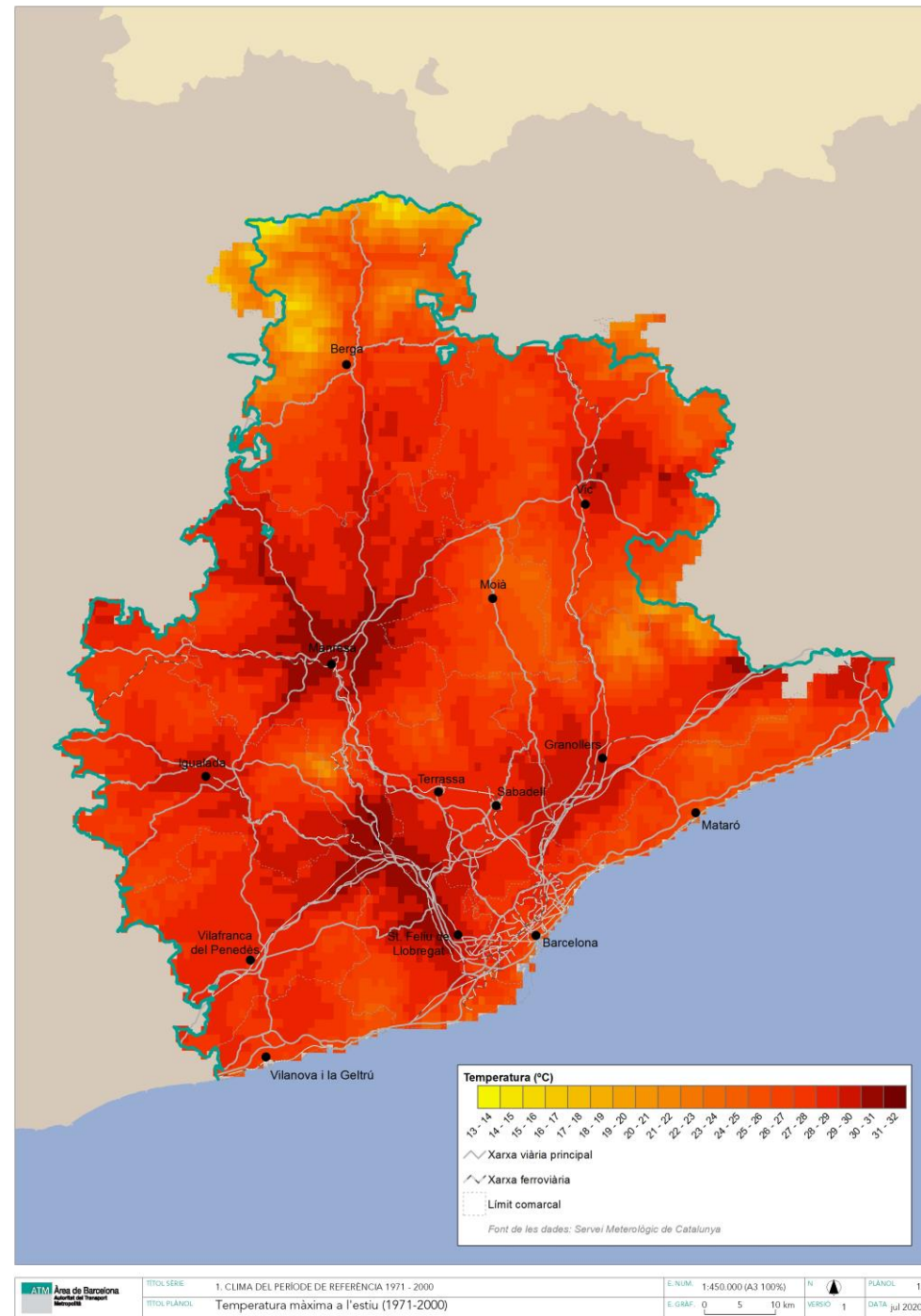
A mode de síntesi del grau d'afectació identificat en els mapes de risc de la sèrie cartogràfica 4, a continuació s'indica, per a cada risc avaluat, la xarxa exposada, tant en valor absolut com en percentatge respecte el total de la xarxa en qüestió (1.284 km de xarxa viària principal i 938 de xarxa ferroviària):

- Temperatures mitjanes màximes estivals  $\geq 32$  °C  
Xarxa viària principal: 404 km (31,4%)  
Xarxa ferroviària: 255 km (27,2%)
- Nombre de dies tòrrids anuals  $\geq 20$   
Xarxa viària principal: 223 km (17,4%)  
Xarxa ferroviària: 125 km (13,3%)
- Precipitació acumulada de tardor  $\geq 220$  mm  
Xarxa viària principal: 213 km (16,6%)  
Xarxa ferroviària: 111 (11,9%)
- Nombre de dies a l'any amb precipitació intensa ( $>50$  mm)  $\geq 2$   
Xarxa viària principal: 146 km (11,4%)  
Xarxa ferroviària: 124 km (13,2)
- Vinculació a zones de flux preferent  
Xarxa viària principal: 96 trams  
Xarxa ferroviària: 238 trams
- Intersecció amb xarxa fluvial de nivells 1 a 3  
Xarxa viària principal: 150 punts  
Xarxa ferroviària: 82 punts
- Vinculació a zones de perill alt o molt d'incendi  
Xarxa viària principal: 160 km (12,3%)  
Xarxa ferroviària: 121 km (12,9%)

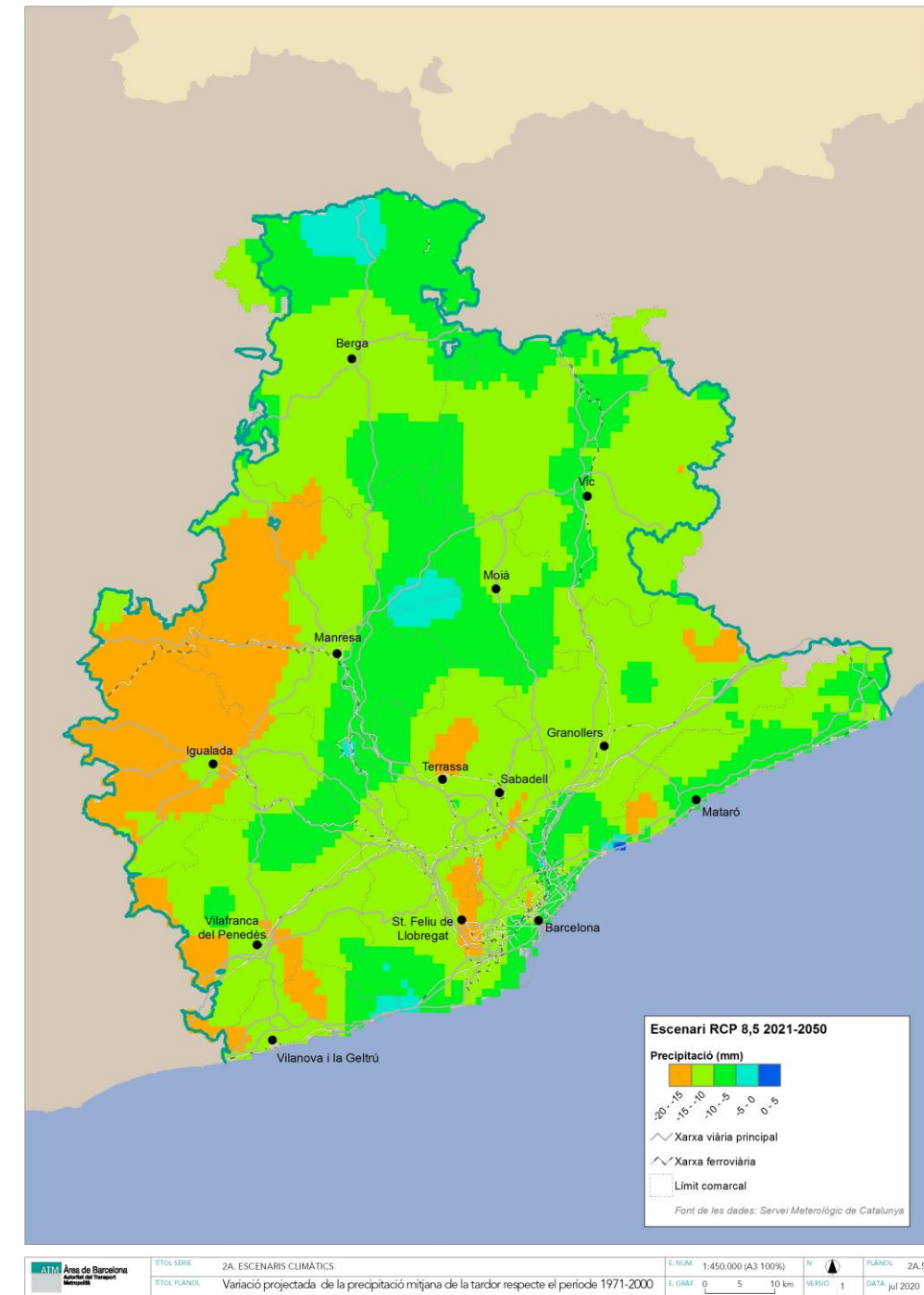
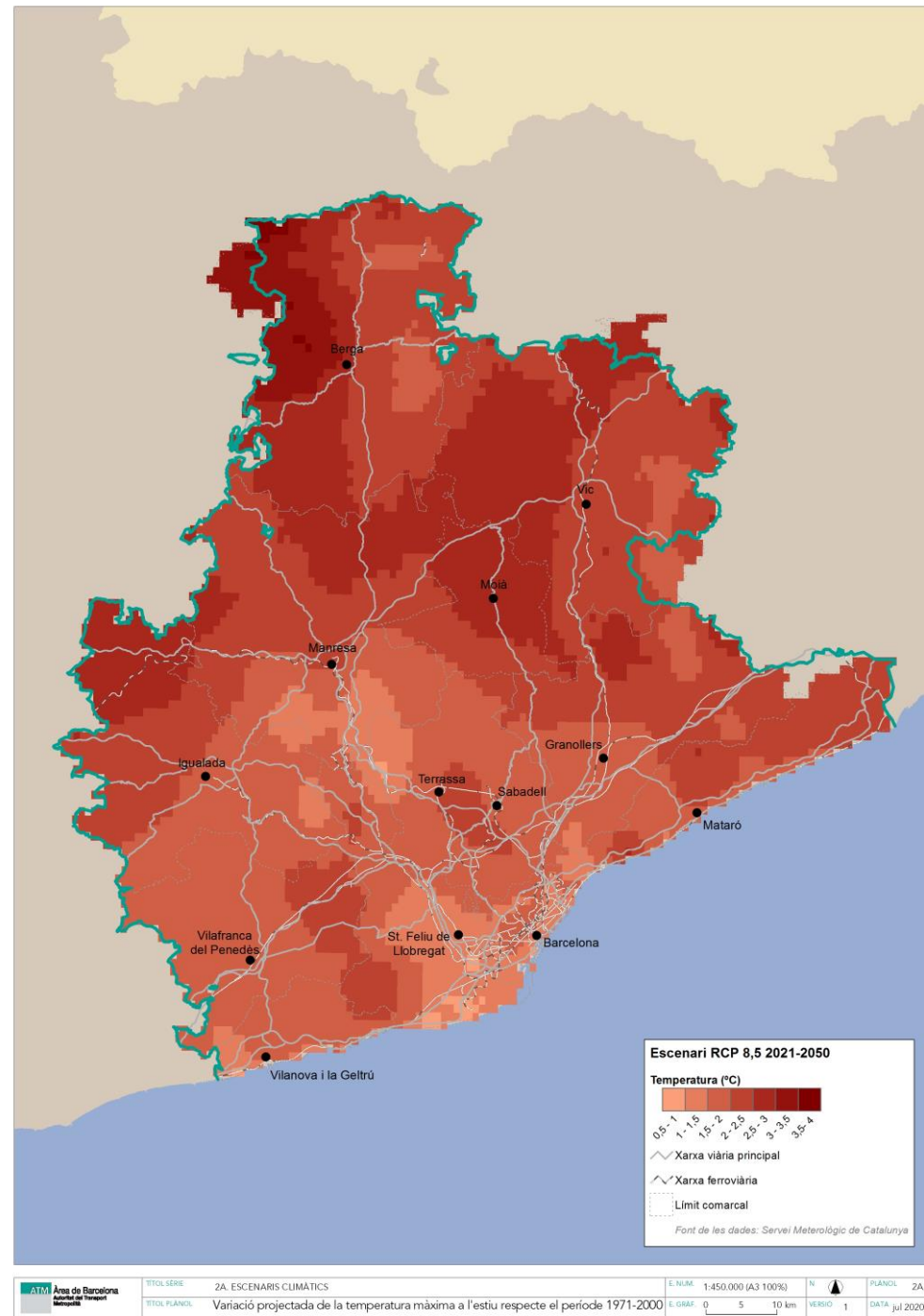
En les pàgines següents es mostra una selecció representativa de les diferents sèries cartogràfiques generades. Les sèries completes, junt amb la informació metodològica corresponent, variable en cada cas, es poden consultar a l'Annex 4 esmentat.



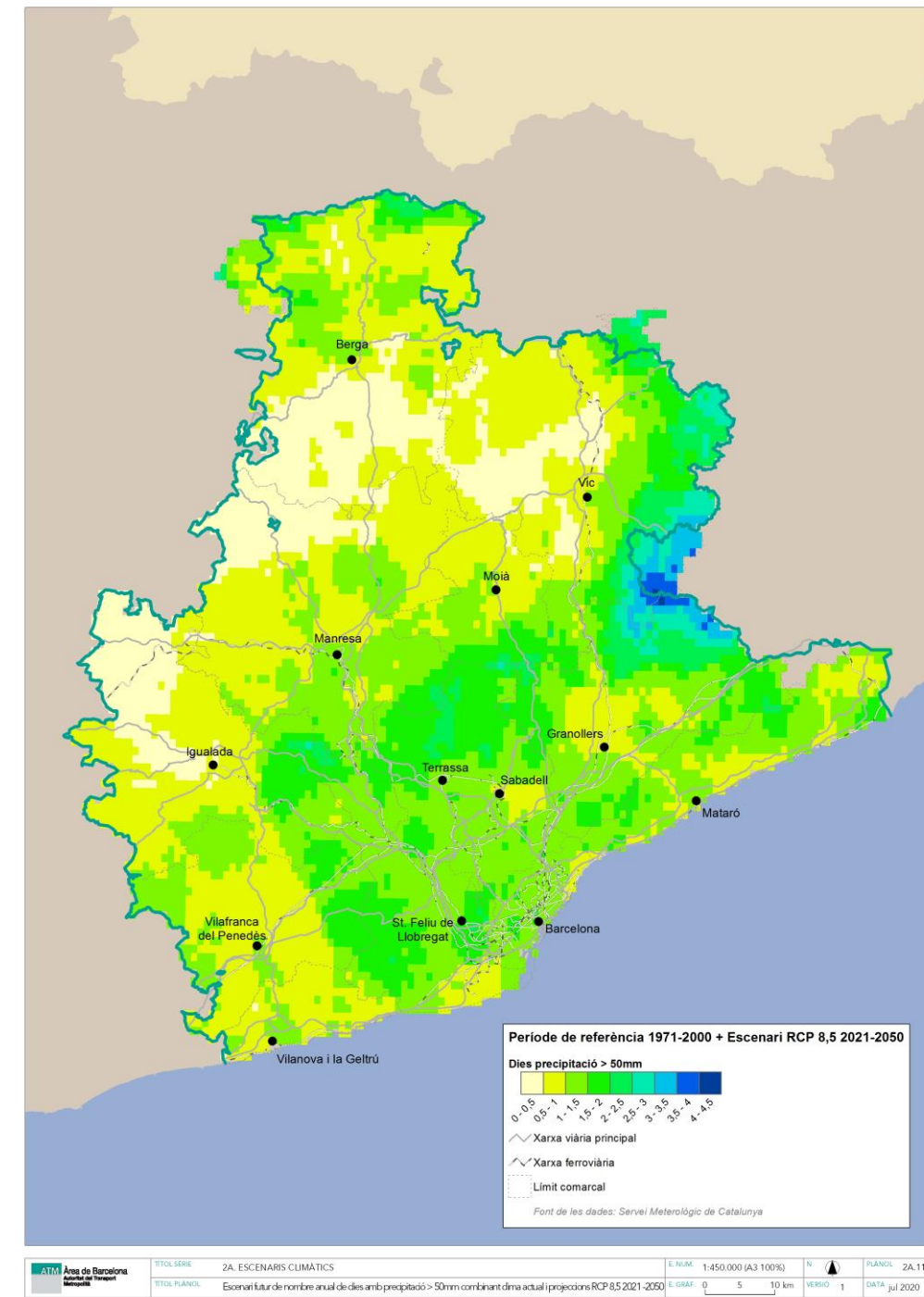
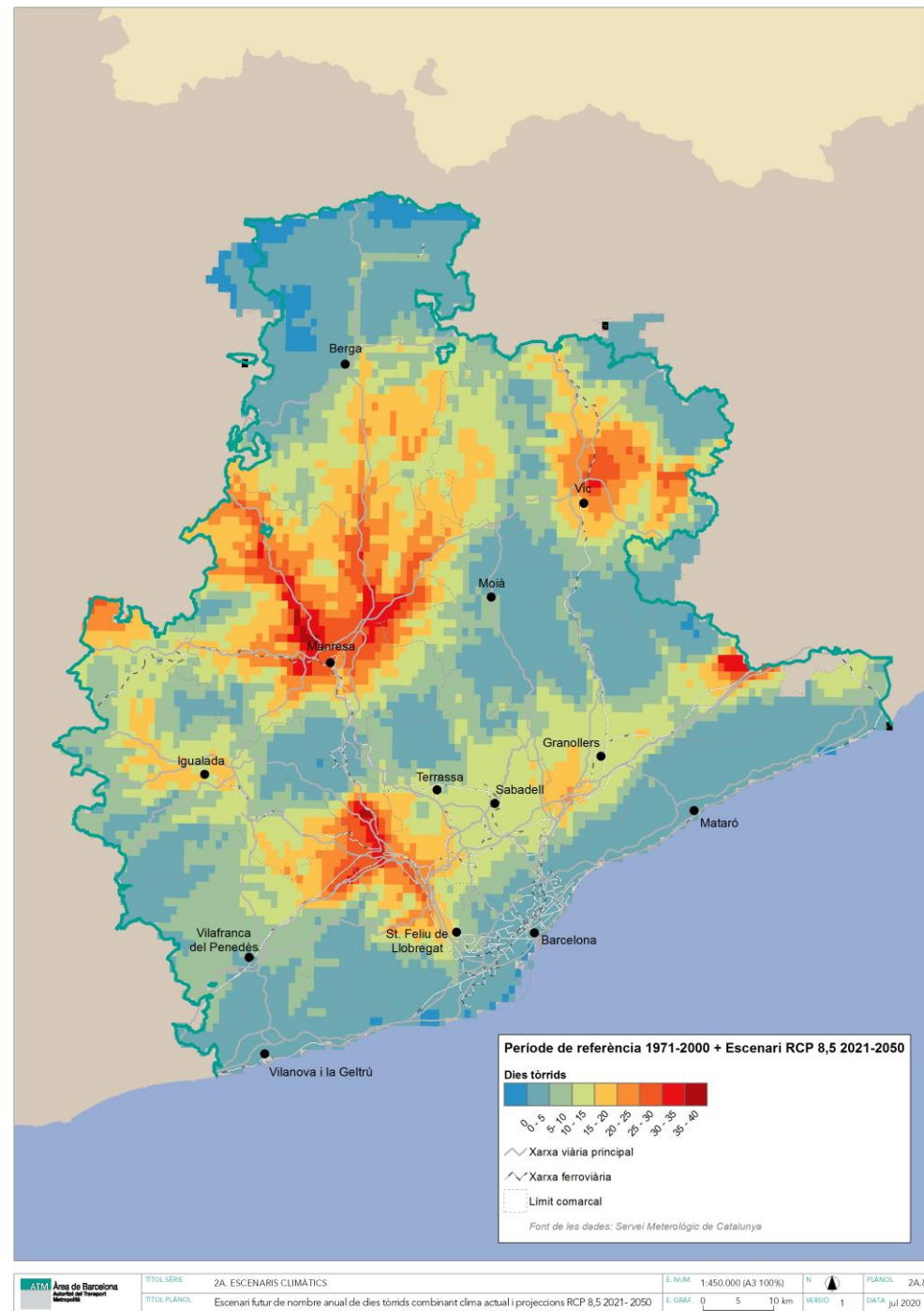
Clima del període de referència 1971-2000



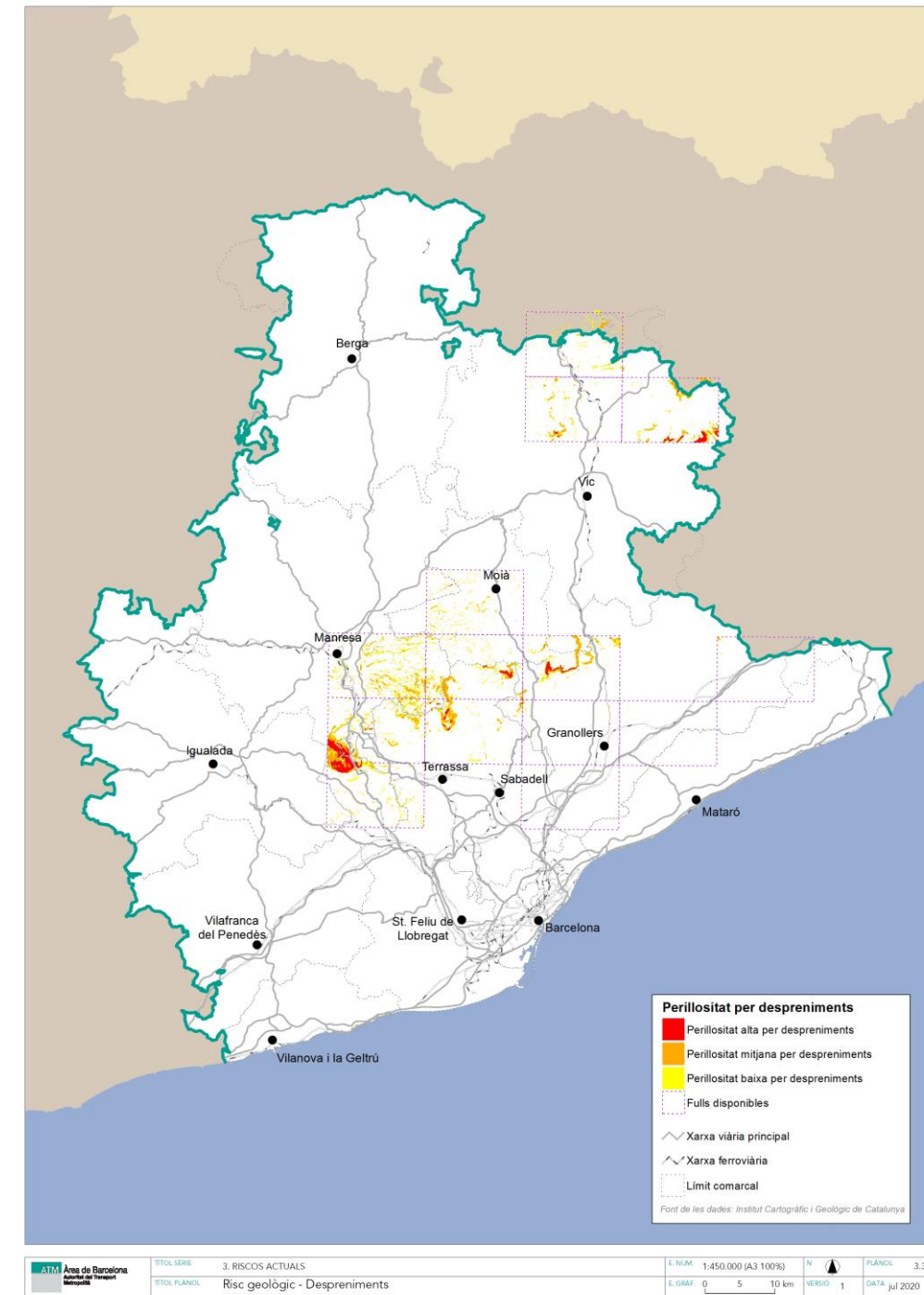
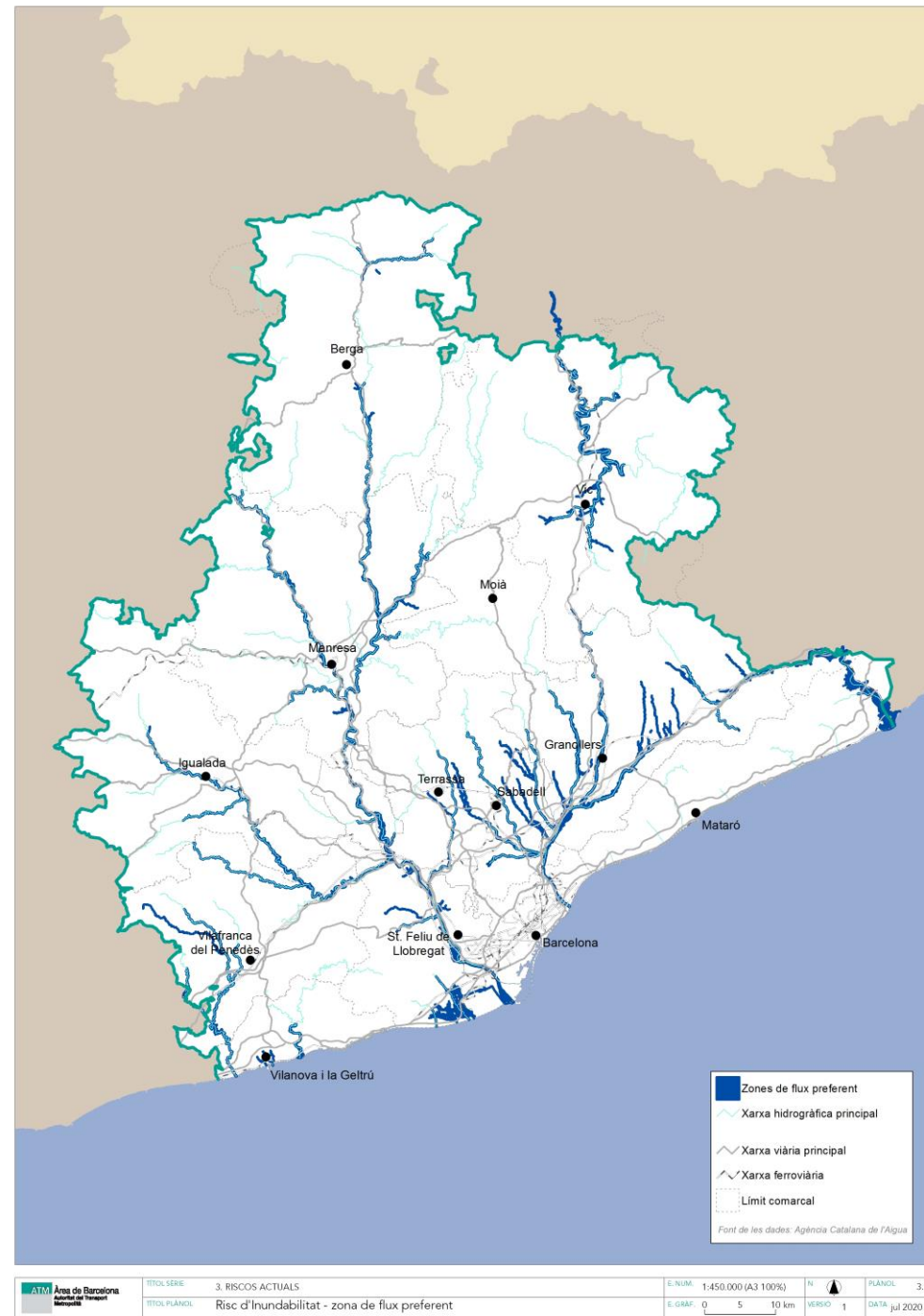
Escenaris climàtics





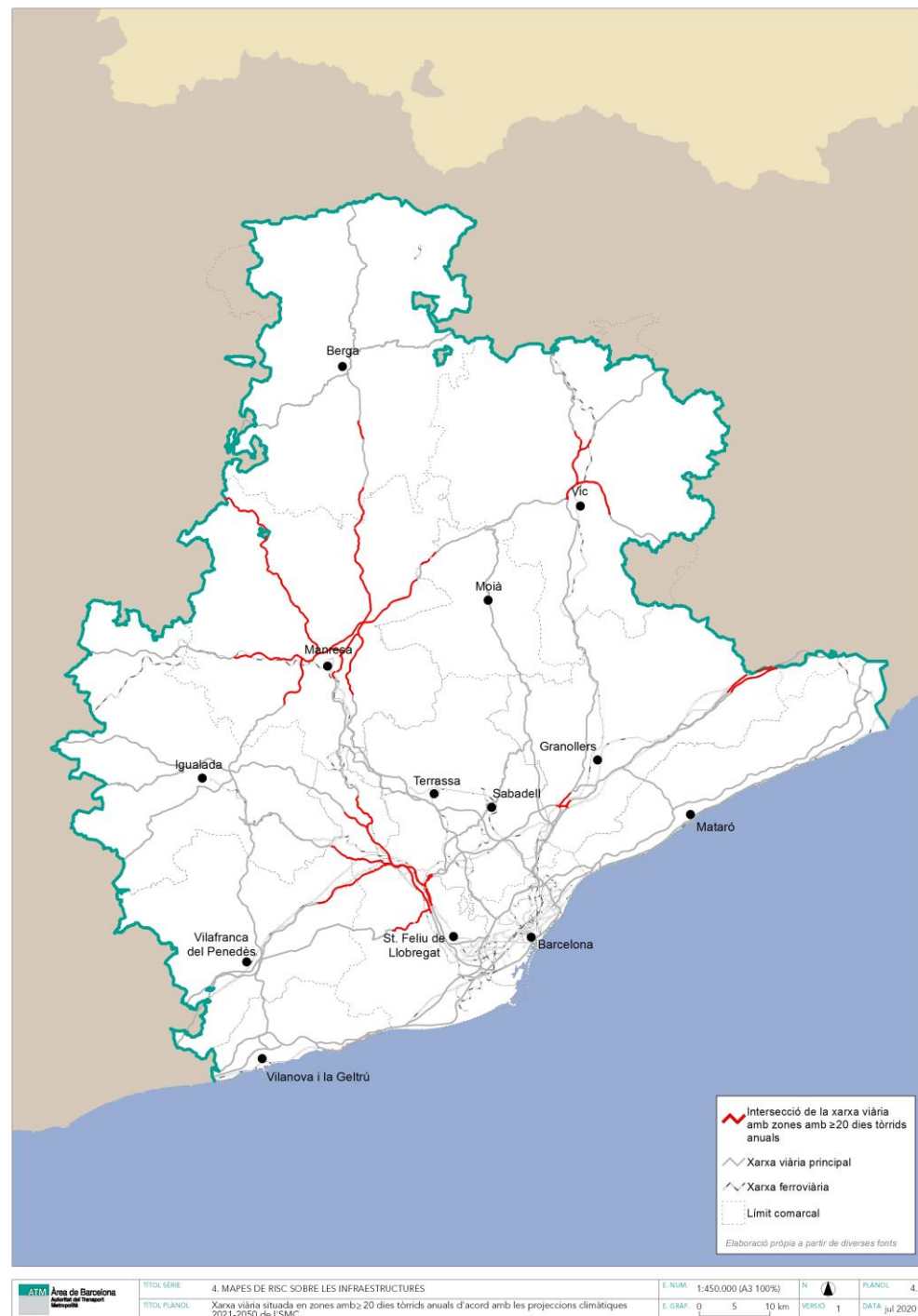


Riscos actuals





Mapes de risc sobre les infraestructures



## V. Conceptes clau sobre el risc

Als efectes del projecte, els **riscos sobre la mobilitat** es relacionen amb els danys o afectacions a les infraestructures originats –de manera directa o indirecta– per fenòmens meteorològics que poden derivar en alteracions sobre la mobilitat de les persones i les mercaderies, tant a nivell de transport públic com en la mobilitat privada. En darrera instància aquests riscos es tradueixen en costos socials i econòmics.

D'acord amb la Direcció General de Protecció Civil, el risc ve donat per la combinació de tres paràmetres: el perill generat, la vulnerabilitat intrínseca dels sistemes o elements vulnerables (persones, medi ambient, i infraestructures i bens en general) i l'exposició d'aquests elements vulnerables al perill concret. En aquest cas, el perill fa referència als fenòmens meteorològics extrems (perill climàtic).

El risc es pot expressar a partir de la següent fórmula:

$$\text{Risc} = \text{Perill} \times \text{Vulnerabilitat} \times \text{Exposició}$$

Equivalent a:

$$\text{Risc} = \text{Probabilitat} \times \text{Conseqüències}$$

En el cas concret del perill climàtic sobre la mobilitat i les infraestructures associades, aquests termes es poden definir de la següent manera:

- **Perill climàtic:** freqüència i intensitat (magnitud, severitat) en les que es presenta un fenomen climàtic que produeix una situació d'amenaça a la integritat total o parcial dels sistemes i elements vulnerables de les infraestructures i serveis de mobilitat. Per exemple, en una inundació aquest fenomen és l'aigua que discorre amb una intensitat concreta (alçada, calat i velocitat de l'aigua) i la freqüència temporal o probabilitat amb que es produeix aquesta intensitat. La perillositat es pot expressar numèricament com la freqüència associada a un fenomen amb una intensitat concreta. Per a que el perill pugui produir un dany, el fenomen ha de trobar elements exposats al dany que siguin vulnerables.
- **Vulnerabilitat:** predisposició intrínseca d'un element vulnerable (infraestructura, element construït, vehicle, etc.) a patir danys per causa d'un fenomen d'una magnitud determinada (intensitat, severitat), és a dir, enfront un perill concret. En funció de les característiques de cada element, de com està construït i dels materials emprats la seva vulnerabilitat a un determinat perill climàtic diferirà.

Un concepte relacionat amb el de vulnerabilitat és el de **resiliència**: capacitat de recuperació o de regeneració de l'element vulnerable, per recuperar el seu estat o condició abans que l'afectés el fenomen perillós.

Entre els diversos tipus de vulnerabilitat, cal destacar els dos següents:

- o **Vulnerabilitat estructural** quan es considera l'afectació als elements físics, com ara el ferm d'una carretera per l'increment de temperatures.

- o **Vulnerabilitat funcional** quan es considera la viabilitat del sistema i no tan sols la seva estructura, per exemple, amb l'afectació del servei de rodalies al Maresme en cas d'un temporal de Llevant, que inutilitza la xarxa ferroviària en aquesta zona.
- **Exposició:** presència d'un element o sistema en un lloc on podria veure's afectat negativament pel perill climàtic concret estudiat durant un temps determinat. L'exposició té una component espacial/territorial i una de temporal. En certes situacions l'exposició és inferior a la durada de la intensitat perquè hi ha capacitat d'aplicar mesures d'autoprotecció, però sovint pot passar que l'element vulnerable quedi exposat durant tot la durada del perill. L'exposició es pot definir com el nombre d'elements o recursos afectats –i/o la superfície afectada en relació al conjunt de l'àmbit SIMMB– i pel període de temps que estaran exposats al fenomen.

Així, per exemple, l'exposició a elevades temperatures es concentra els mesos d'estiu, particularment l'agost –amb màxims entre migdia i la tarda– (dimensió temporal), però amb diferències entre diferents punts del territori en un mateix moment (dimensió espacial/territorial).

## VI. Anàlisi de vulnerabilitats

Als efectes del present projecte, l'anàlisi de vulnerabilitats s'ha fet mitjançant matrius on es creuen variables climàtiques rellevants amb els riscos potencials sobre el sistema de mobilitat, prèviament identificats per a l'àmbit SIMMB. Per tal d'incrementar la robustesa d'aquesta avaluació s'ha fet un esforç per assimilar aquesta valoració a una escala semiquantitativa (baix, mitjà i alt), així com un procés iteratiu de revaluació amb l'objectiu d'incrementar la coherència del conjunt.

Atenent a com s'han avaluat les matrius, ja s'ha tingut en compte l'efecte combinat de la vulnerabilitat intrínseca dels elements del sistema de mobilitat amb el grau d'exposició al perill climàtic i la seva intensitat, de manera que més que matrius de vulnerabilitat es poden considerar matrius d'impacte potencial. Així, per exemple, tot i que la matriu incorpora perills derivats de gelades i baixes temperatures, la valoració d'aquests perills en termes d'impacte es considera baixa –més enllà de vulnerabilitats intrínseques– pel fet que l'ocurrència i intensitat del fenomen també es preveu d'escassa magnitud.

A les pàgines següents es mostren les matrius d'impactes potencials resultants a partir de la metodologia exposada: una relativa a impactes sobre la infraestructura i una altra sobre impactes en l'operació. En cada matriu s'indiquen els riscos i els perills climàtics considerats, diferenciant entre directes i indirectes.

A les matrius s'ha utilitzat una codificació cromàtica per classificar el tipus d'impacte: el color verd fa referència a una incidència baixa o no significativa, l'ocre a una incidència moderada i el color vermell a una incidència alta. D'altra banda, s'utilitza una simbologia per diferenciar el mode viari i el ferroviari.

Taula VI.1. Matriu d'avaluació d'impactes potencials sobre les infraestructures viàries i ferroviàries d'una selecció de perills climàtics directes en el context de l'àmbit SIMMB. El color de la cel·la indica la importància de la interacció: verd, baixa o poc significativa; ocre, moderada; vermell, alta. Les icones dins la cel·la il·lustren si l'afectació es produeix sobre el mode viari (🚗), el ferroviari (🚆) o ambdós (🚗🚆).

	RISCOS DIRECTES SOBRE LES INFRAESTRUCTURES												
	Deformació i/o esquerdat del paviment	Deformació dels rails	Deformació de la catenària	Crioclàstia del paviment	Capacitat insuficient dels sistemes de drenatge i inundacions a la via, túnels o ponts	Inundacions a les estacions subterrànies	Danys a la via per desprendiments, esllavissades i/o caiguda d'altres elements (arbres, etc.)	Desestabilització de talussos en terraplè	Danys estructurals per socavacions i erosió	Afectació als sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació	Afectació als sistemes de tancament (tanques de carreteres i ferrocarril)	Congelació de la catenària	Bloqueig de les agulles
Temperatura màxima	🚗	🚆	🚆							🚗🚆			
Precipitació intensa					🚗🚆	🚆	🚗🚆	🚗🚆	🚗🚆	🚗🚆			
Velocitat màxima del vent							🚗🚆	🚗🚆		🚗🚆	🚗🚆		
Ciclons, temporals, tornados i medicans							🚗🚆	🚗🚆	🚆	🚗🚆	🚗🚆		
Tempesta elèctrica/llamps										🚗🚆			
Neu					🚗🚆		🚗🚆	🚗🚆		🚗🚆	🚗🚆	🚆	🚆
Glaçada		🚆		🚗								🚆	🚆
Pedra i calamarsa					🚗🚆								
Boira													

Font: elaboració pròpia.



Taula VI.2. Matriu d'avaluació d'impactes potencials sobre les infraestructures viàries i ferroviàries d'una selecció de perills climàtics indirectes en el context de l'àmbit SIMMB. El color de la cel·la indica la importància de la interacció: verd, baixa o poc significativa; ocre, moderada; vermell, alta. Les icones dins la cel·la il·lustren si l'afectació es produeix sobre el mode viari (🚗), el ferroviari (🚆) o ambdós (🚗🚆).

	RISCOS INDIRECTES SOBRE LES INFRAESTRUCTURES												
	Deformació i/o esquerdat del paviment	Deformació dels raïls	Deformació de la catenària	Crioclàstia del paviment	Capacitat insuficient dels sistemes de drenatge i inundacions a la via, túnels o ponts	Inundacions a les estacions subterrànies	Danys a la via per despreniments, esllavissades i/o caiguda d'altres elements (arbres, etc.)	Desestabilització de talussos en terraplè	Danys estructurals per socavacions i erosió	Afectació als sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació	Afectació als sistemes de tancament (tanques de carreteres i ferrocarril)	Congelació de la catenària	Bloqueig de les agulles
Ascens del nivell del mar					🚗🚆			🚗🚆	🚗🚆				
Altres inundacions (acumulació d'aigua procedent d'altres zones)					🚗🚆		🚗🚆		🚗🚆				
Caiguda del sistema elèctric										🚗🚆			
Incendis	🚗	🚗🚆	🚗🚆				🚗🚆			🚗🚆	🚗🚆		

Font: elaboració pròpia.

Taula VI.3. Matriu d'avaluació d'impactes potencials sobre aspectes operatius de la mobilitat per una selecció de perills climàtics directes i indirectes en el context de l'àmbit SIMMB. El color de la cel·la indica la importància de la interacció: verd, baixa o poc significativa; ocre, moderada; vermell, alta. Les icones dins la cel·la il·lustren si l'afectació es produeix sobre el mode viari (🚗), el ferroviari (🚆) o ambdós (🚗🚆).

	RISCOS DIRECTES SOBRE L'OPERACIÓ						
	Reducció de la fricció superficial i eficàcia dels sistemes de frenada	Disminució de l'eficàcia del sistema d'arrancada	Aturada dels combois per afectació en el subministrament elèctric	Sobreescaïfament de motors i avaries en vehicles	Alteració dels elements estructurals i/o de l'estabilitat dels vehicles	Reducció de la visibilitat	Disminució del confort climàtic
Temperatura màxima				🚗🚆			🚗🚆
Precipitació intensa	🚗🚆					🚗🚆	
Velocitat màxima del vent					🚗🚆		
Ciclons, temporals, tornados i medicans					🚗🚆		
Tempesta elèctrica/llamps							
Neu	🚗🚆				🚗🚆	🚗🚆	
Glaçada	🚗🚆	🚆					🚗🚆
Pedra i calamarsa	🚗🚆				🚗🚆	🚗🚆	
Boira						🚗🚆	
RISCOS INDIRECTES SOBRE L'OPERACIÓ							
Ascens del nivell del mar	🚗🚆						
Altres inundacions (acumulació d'aigua procedent d'altres zones)	🚗🚆						
Caiguda del sistema elèctric			🚆				
Incendis					🚗🚆	🚗🚆	

Font: elaboració pròpia.

## VII. Riscos climàtics a considerar i conseqüències pel sistema de mobilitat

L'anàlisi duta a terme –a partir de la identificació de les variables climàtiques rellevants a considerar a l'àmbit SIMMB– ha permès identificar els següents riscos (vegeu capítols 4 i 5):

Riscos sobre les infraestructures:

- Capacitat insuficient dels sistemes de drenatge i inundacions a la via, túnels o ponts
- Inundacions a les estacions subterrànies
- Danys a la via per desprendiments, esllavissades i/o caiguda d'altres elements (arbres...)
- Desestabilització de talussos
- Danys estructurals per socavacions i erosió
- Deformació i/o esquerdat del ferm
- Deformació dels rails o de la catenària
- Afectació als sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació

Riscos sobre l'operació:

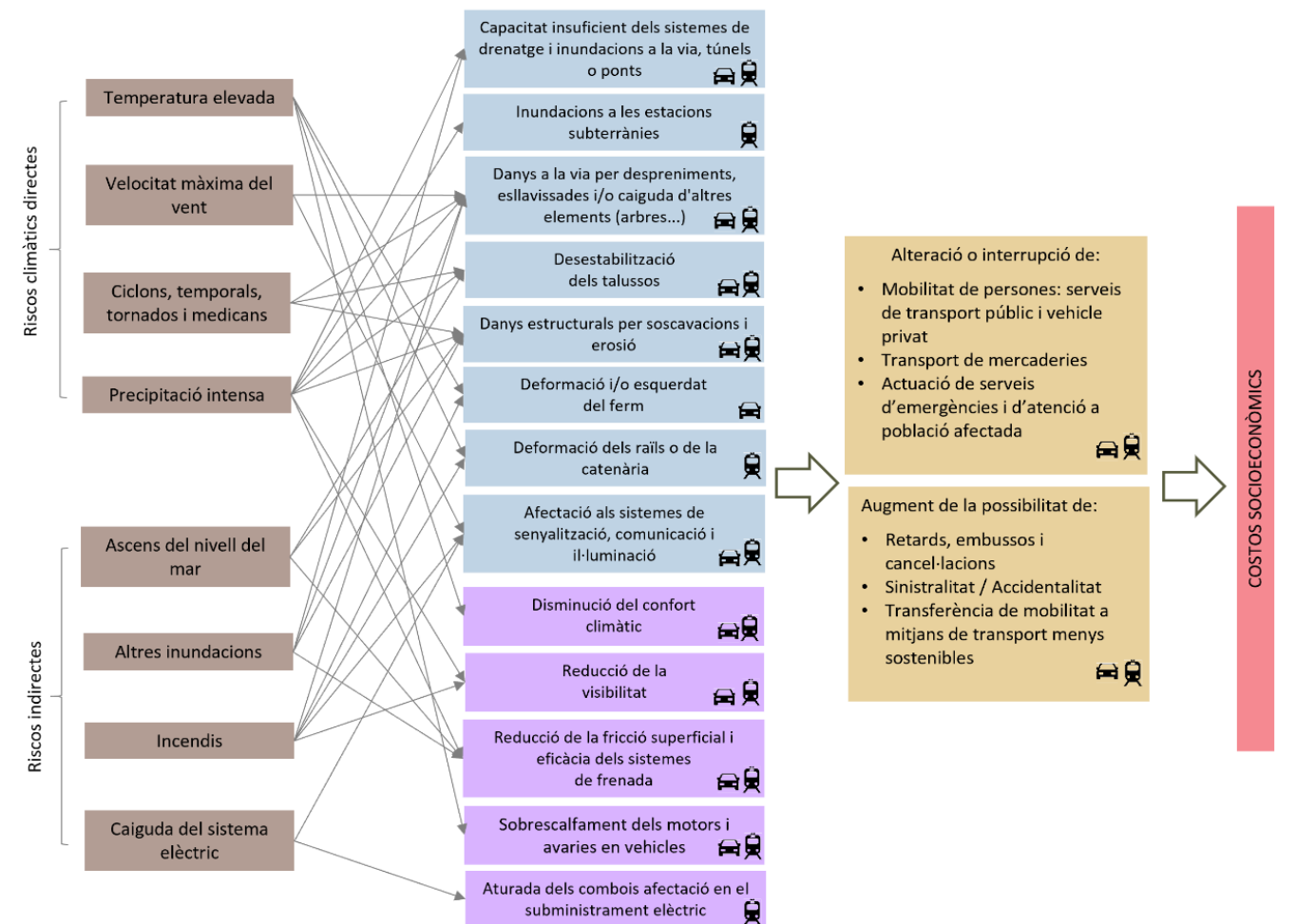
- Disminució del confort climàtic
- Reducció de la visibilitat
- Reducció de la fricció superficial i eficàcia dels sistemes de frenada
- Sobreescalfament de motors i avaries en vehicles
- Aturada dels combois per pèrdues de subministrament elèctric

Més enllà dels efectes potencials sobre la infraestructura i/o l'operació del sistema de mobilitat, la materialització d'un o més riscos dels descrits provoca, com a efectes derivats:

- L'alteració o interrupció de la mobilitat de persones i mercaderies, inclosa l'eventual actuació de serveis d'emergències.
- L'augment de la possibilitat de retards, embussos i cancel·lacions, així com de la sinistralitat o accidentalitat. D'altra banda, en el cas d'afectació de serveis de transport públic, també es pot produir un desplaçament de la quota modal envers mitjans de transport menys sostenibles

En última instància, tot aquest conjunt de danys físics sobre la infraestructura i d'afectacions sobre la mobilitat es poden traduir en un seguit de costos socioeconòmics, directes i indirectes.

Figura VII.1. Principals perills climàtics directes i indirectes sobre el sistema de mobilitat a l'àmbit SIMMB i conseqüències potencials. Els símbols dins de cada requadre indiquen si el risc fa referència a la mobilitat en mode viari (🚗), ferroviari (🚆) o ambdós (🚗🚆).



## VIII. Mesures i accions proposades per incrementar la resiliència

En total es proposen 24 accions, estructurades en 15 mesures d'abast més general, amb relació als principals riscos climàtics a considerar pel sistema de mobilitat de l'àmbit SIMMB – 8 de prioritat alta i 7 de prioritat mitjana– El 50% de les accions plantejades són de caire eminentment infraestructural i el 50% restant responen a qüestions vinculades principalment amb l'operació i el manteniment (vegeu capítol 6).

Les mesures s'exposen, de manera sintètica en la taula següent, que inclou diferents camps:

- Prioritat de la mesura. S'han considerat dues opcions: prioritat alta i prioritat mitjana.
- Denominació de la mesura i de l'acció o accions que comporta.
- Assignació a un (o més d'un) tipus de solució: tècnica, operativa, manteniment, cultural i regulatòria. En ocasions una acció pot estar relacionada amb més d'un tipus de solució. Per exemple, l'optimització de l'eficiència de l'aire condicionat en el parc mòbil i en les instal·lacions del transport públic es considera una solució tant tècnica, com operativa, com de manteniment.
- Vinculació als modes de transport: viari i/o ferroviari.
- Actuació a aplicar a un element/via existent i/o a un de nova construcció.
- Grau de vinculació de cada acció amb els principals riscos identificats (vegeu 5.4. *Priorització dels riscos*), utilitzant una simbologia on ↑↑↑ indica que l'acció pot tenir un efecte significatiu en la minimització, prevenció o adaptació al risc, ↑↑ un efecte intermedi i ↑ un efecte menys rellevant per fer front al risc en qüestió.

Les diferents tipologies de solució considerades són les següents:

- Solucions tècniques: introducció d'elements nous a les infraestructures i al parc mòbil (aire condicionat, ventilacions forçades, per exemple) i canvis en les especificacions tècniques del disseny dels diferents elements de les infraestructures (pilars, fonaments, etc.).
- Solucions operatives: relacionades amb els canvis en la gestió i l'explotació ordinària de les infraestructures de transport per fer front als nous perills climàtics. Inclouen plans de contingència i emergència, reparacions i recanvi d'elements d'infraestructures i parc mòbil, etc.
- Solucions de manteniment: relacionades amb el manteniment i la inspecció de les infraestructures de transport. Aquestes solucions es poden entendre com a integrants d'un Pla de manteniment preventiu. Aquests plans són útils per tal que el manteniment vagi més enllà d'un procediment purament reactiu o programat i, així, es puguin prevenir els riscos dels perills climàtics identificats.

- Solucions culturals: relacionades amb els hàbits i les expectatives dels usuaris de les infraestructures. Algunes són específiques de determinats tipus d'infraestructura i d'altres podrien ser generals (com l'establiment de protocols envers onades de calor), però totes són importants.
- Solucions normatives: relacionades amb canvis normatius que s'haurien de fer. Aquestes solucions són merament prepositives atenent que el Pla no és l'instrument directe per plantejar aquestes solucions, però seran recollides per ser plantejades públicament als òrgans legislatius i tècnics.

La relació de mesures i accions, és la següent (s'indiquen, amb un asterisc al final de l'acció, les infraestructurals):

1. Millorar la capacitat de drenatge amb solucions tècniques i de manteniment
  - 1A. Millorar l'eficiència i capacitat dels sistemes de drenatge\*
  - 1B. Reforçar la inspecció d'obres de drenatge, passos inferiors i ponts mitjançant l'ús de la sensòrica
2. Millorar la capacitat de gestió de les estacions subterrànies envers les inundacions
  - 2A. Col·locar en instal·lacions soterrades elements que dificultin l'entrada d'aigua i/o en facilitin el drenatge\*
3. Reforçar l'estanqueïtat de sales de control i armaris tècnics
  - 3A. Establir mesures d'aïllament i contenció que redueixin l'entrada d'aigua a sales de control i armaris tècnics\*
4. Reforçar l'estabilitat dels talussos
  - 4A. Reconsiderar paràmetres constructius en talussos per incrementar l'estabilitat\*
  - 4B. Aplicar mesures de protecció i contenció artificial front esllavissades i despreniments\*
  - 4C. Reforçar la inspecció als talussos de terraplens i desmunts per assegurar la seva solidesa estructural mitjançant l'ús de la sensòrica
5. Millorar les mesures de protecció física en zones costaneres
  - 5A. Millorar les mesures de protecció física en zones costaneres\*
6. Prevenir els danys produïts per elevades temperatures sobre la infraestructura i el parc mòbil
  - 6A. Usar materials més resistents a altes temperatures en estructures, ferms, rails i catenàries\*
  - 6B. Adequar instal·lacions, amb equips elèctrics i electrònics sensibles, a temperatures de funcionament més elevades\*

- 6C. Instal·lar sensors de temperatura als rails i considerar pintar de blanc els trams més problemàtics
- 7. Millorar la protecció solar a les instal·lacions a l'aire lliure
  - 7A. Protegir les parades i estacions exposades a la radiació solar directa\*
  - 7B. Protegir les cotxeres i les platges de vies de la radiació solar directa\*
- 8. Millorar el confort climàtic en el transport públic
  - 8A. Optimitzar l'eficiència de l'aire condicionat al parc mòbil i a les instal·lacions
  - 8B. Optimitzar el sistema de ventilació d'andanes i túnels de les estacions ferroviàries subterrànies\*
  - 8C. Instal·lar vidres amb control solar i pintar el sostre dels vehicles de blanc
- 9. Aplicar protocols d'actuació per onades de calor
  - 9A. Elaborar i activar, quan sigui necessari, protocols d'actuació per onades de calor específics per a cada operador
- 10. Millorar i reforçar la robustesa del subministrament elèctric
  - 10A. Millorar i reforçar el sistema de subministrament elèctric a elements crítics\*
- 11. Reforçar les mesures de prevenció d'incendis
  - 11A. Impulsar una gestió dinàmica preventiva dels incendis basada en la vigilància i el monitoratge
- 12. Millorar la capacitat predictiva a molt curt termini d'incidències climàtiques amb afectació potencial sobre la mobilitat
  - 12A. Implantar una plataforma integrada d'early warning participada pels diversos operadors de mobilitat i dissenyar protocols d'actuació ràpida
  - 12B. Instal·lar o reforçar la presència de sensors i altres mecanismes per gestionar el trànsit en cas d'incidència
- 13. Millorar la coordinació entre els organismes implicats en cas d'incidència
  - 13A. Reforçar, per part dels diferents operadors, la coordinació per dur a terme actuacions de manteniment preventiu front els riscos climàtics
- 14. Registrar les incidències de manera integrada per part dels diferents operadors
  - 14A. Generar un registre únic d'incidències sobre el sistema de mobilitat relacionades amb episodis climàtics extrems
- 15. Revisar la normativa tècnica sobre les infraestructures
  - 15A. Revisar les especificacions de disseny i manteniment d'infraestructures viàries i ferroviàries per incorporar qüestions relatives a l'adaptació al canvi climàtic

Taula VIII.1. Plantilla tipus de fitxa d'acció.

TÍTOL DE L'ACTUACIÓ <i>Denominació de l'actuació (en alguns casos, hi ha més d'una actuació per mesura, en aquests casos la taula amb els diferents camps es duplica o triplica)</i>		Subcodi	Núm. i lletra
		Prioritat	Alta, mitjana
Tipus de solució			
Tècnica		Operativa	
		Manteniment	
		Cultural	
		Regulatòria	
Aplicació per tipus d'infraestructura			
No aplica		Viària	
		Ferrovial	
		Existent	
		Nova	
Aplicació per mitjà de transport			
No aplica		Autobús	
		Tren	
		Metro	
		Tramvia	
Descripció de la solució	<i>Descripció del propòsit i les característiques bàsiques de l'actuació o actuacions, si s'escau incloent esquemes o imatges. En diferents casos la solució proposada no és única, sinó que es planteja un ventall d'opcions que poden ser complementàries o excloents segons els casos.</i>		
Indicacions pels projectes i/o els operadors	<i>Qüestions a considerar de cara a la implementació de la mesura.</i>		
Àmbit territorial d'aplicació	<i>Indicació de l'abast territorial on aplica la mesura, bé de manera descriptiva, bé en forma de mapa. Per exemple: conjunt de l'àmbit SIMMB, comarques litorals de Barcelona, intersecció d'infraestructures amb cursos fluvials permanents, àrees geogràfiques amb temperatures superiors a 35°C, etc.</i>		
Agents implicats en la implementació	<i>Administracions i operadors implicats en la implementació.</i>		
Beneficis de la solució	<i>Enumeració dels principals beneficis que aporta la mesura en forma de punts sintètics.</i>		
Barreres a la implementació	<i>Enumeració dels principals obstacles a la implantació de la mesura en forma de punts sintètics.</i>		
Termini convenient d'implementació	<i>Especificació de termini: curt (1-3 anys), mitjà (4-8 anys), llarg (&gt;8 anys) i, si s'escau, de la vinculació amb el pdl.</i>		
Consideracions al cicle de vida	<i>Efectes, o aspectes a destacar, de la solució proposada sobre el cicle de vida de la infraestructura.</i>		
Indicadors de seguiment	<i>Proposta d'indicadors de seguiment a emprar per a valorar el grau d'implementació de la mesura i/o la seva efectivitat.</i>		

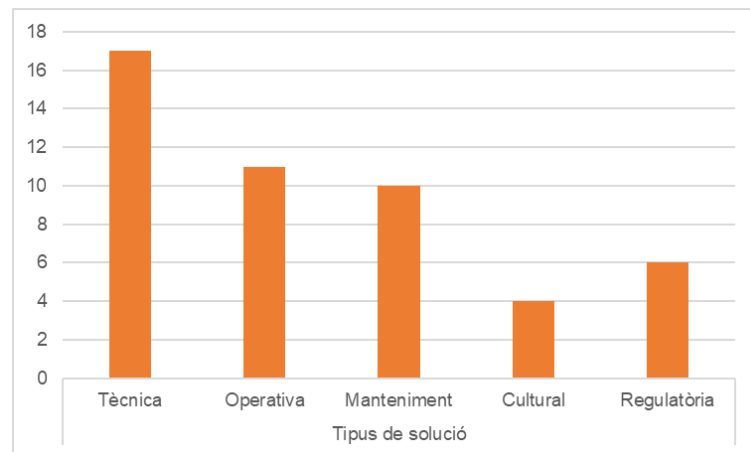
Font: elaboració pròpia.

Les diferents accions es desenvolupen en un format de fitxa, d'acord amb el model que es mostra a continuació (vegeu capítol 7).



Com es pot observar a la següent figura, una part significativa de les accions proposades (17 de 25) s'adscriuen a la categoria de solució tècnica, tot i que també és remarcable el nombre d'accions tipificades com a solucions operatives (11) i de manteniment (10). Les solucions de tipus regulatori (6) i cultural (4), tot i ser menys rellevants en termes quantitius, són importants i necessàries des del punt de vista qualitatiu.

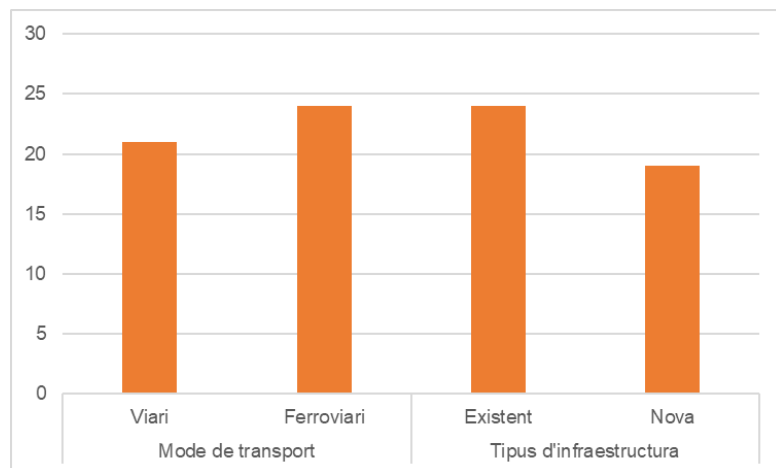
Figura VIII.1. Nombre d'accions per tipologia de solució. Cal tenir en compte que una mateixa acció pot vincular-se a més d'un tipus de solució, per la qual cosa el sumatori supera amb escreix el nombre d'accions (24).



Font: elaboració pròpia.

Les accions estan formulades des d'una perspectiva àmplia, el que determina que la seva aplicació – amb les especificitats que s'indiquen cas a cas a les fitxes– en la majoria de casos es pot fer tant al mode viari com al ferroviari i tant a infraestructures existents com de nova creació.

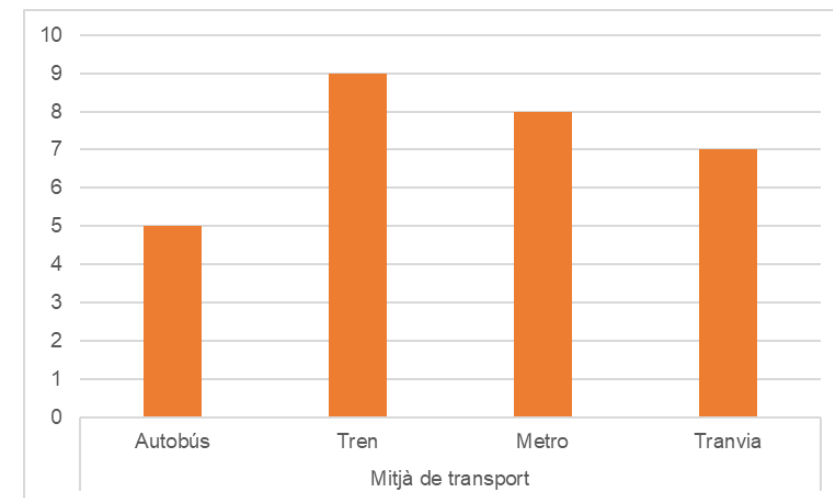
Figura VIII.2. Nombre d'accions per mode de transport i tipus d'infraestructura. Una mateixa acció pot vincular-se a més d'un tipus d'infraestructura.



Font: elaboració pròpia.

Finalment, des de la perspectiva de l'aplicació als diferents mitjans de transport públic col·lectiu es constata l'existència d'un mínim de cinc accions per mitjà, que en el cas dels mitjans ferroviaris s'incrementa fins a 7-9 accions en funció del mitjà considerat. La menor quantitat d'accions relacionades directament amb l'autobús ve donada pel fet que només s'han inclòs en aquesta tipologia accions directament aplicables pels operadors i gestors d'aquest mitjà de transport i no altres mesures de caire infraestructural sobre la xarxa viària que beneficiarien, amb caràcter general, tots els mitjans de mobilitat viària.

Figura VIII.3. Nombre d'accions per tipus de mitjà de transport. Una mateixa acció pot aplicar a més d'un tipus de mitjà de transport.



Font: elaboració pròpia.





CODI DE LA MESURA	PRIORITAT	MESURA PROPOSADA	SUBCODI	DESCRIPCIÓ DE L'ACCIÓ	TIPUS DE SOLUCIÓ					MODE DE TRANSPORT		TIPUS D'INFRA-ESTRUCURA		RISCOS CC SOBRE LA INFRAESTRUCTURA							RISCOS CC SOBRE L'OPERACIÓ					
					Tècnica	Operativa	Manteniment	Cultural	Regulatòria	Viari	Ferrovitari	Existent	Nova	Capacitat insuficient dels sistemes de drenatge i inundacions a la via, túnels o ponts	Inundacions a les estacions subterrànies	Danys a la via per desprendiments, esllavissades i/o caiguda d'altres elements (arbres, etc.)	Desestabilització de talussos en vies en terraplè	Danys estructurals per soccavament i erosió	Deformació i/o esquerdat del ferm	Deformació dels rails o de la catenària	Afectació sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació	Disminució del confort climàtic	Reducció de la visibilitat	Reducció de la fricció superficial i de l'eficàcia dels sistemes de frenada	Sobreescalefament de motors i avaries en vehicles	Aturada dels combois per manca de subministrament elèctric
10	Alta	Potenciar la robustesa del subministrament elèctric	10A	Millorar i reforçar el sistema de subministrament elèctric a elements crítics	√	√				√	√	√	√							↑↑	↑↑				↑↑↑	
11	Mitjana	Reforçar les mesures de prevenció d'incendis	11A	Impulsar una gestió dinàmica preventiva dels incendis basada en la vigilància i el monitoratge		√	√			√	√	√	√			↑↑				↑↑	↑↑				↑	↑↑
12	Mitjana	Millorar la capacitat predictiva a molt curt termini d'incidències climàtiques amb afectació potencial sobre la mobilitat	12A	Implantar una plataforma integrada d'early warning participada pels diversos operadors de mobilitat i dissenyar protocols d'actuació ràpida		√		√		√	√	√		↑↑↑										↑↑	↑↑	
			12B	Instal·lar o reforçar la presència de sensors i altres mecanismes per gestionar el trànsit en cas d'incidència	√	√				√	√	√	√		↑						↑	↑↑	↑↑↑		↑↑	
13	Alta	Millorar la coordinació entre els organismes implicats en cas d'incidència	13A	Reforçar, per part dels diferents operadors, la coordinació per dur a terme actuacions de manteniment preventiu front els riscos climàtics		√		√		√	√	√	√		↑↑		↑	↑↑	↑↑	↑	↑	↑				↑↑
14	Mitjana	Registrar les incidències de manera integrada per part dels diferents operadors	14A	Generar un registre únic d'incidències sobre el sistema de mobilitat relacionades amb episodis climàtics extrems		√		√		√	√	√		↑↑↑		↑↑↑	↑↑									
15	Alta	Revisar la normativa tècnica sobre les infraestructures	15A	Revisar les especificacions de disseny i manteniment d'infraestructures viàries i ferroviàries per incorporar qüestions relatives a l'adaptació al canvi climàtic	√		√		√	√	√	√	√	↑↑↑		↑↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑		↑↑		↑			↑

Font: elaboració pròpia.

## IX. Avaluació de costos en la implementació de mesures d'adaptació

En el cas específic de les infraestructures de mobilitat, els costos d'adaptació es poden associar a dos supòsits principals, atenent al moment en que s'implanten: disseny i construcció d'una banda o, en el cas més habitual, a la fase de funcionament, de l'altra.

En el marc de l'informe s'ha fet una aproximació als costos unitaris d'adaptació tot establint uns barems de preus per a una selecció representativa de les accions de caire més infraestructural (vegeu capítol 8). A partir d'aquests barems, idealment, es podrien obtenir els costos globals d'inversió pel conjunt de l'àmbit SIMMB sempre i quan es disposés del nombre d'unitats pels quals multiplicar aquests costos unitaris.

A la pràctica, però, per tal de fer correctament aquesta estimació d'amidaments caldria disposar de:

- Informació georeferenciada amb dades detallades i integrades –incloent tipologies d'acabats, seccions de ferm, obres de fàbrica, etc.– de les xarxes viàries i ferroviàries, comunes i assimilables per part dels diferents operadors implicats.
- Informació georeferenciada d'escenaris climàtics futurs a molt alta resolució en diferents horitzons temporals per als paràmetres climàtics clau.
- Correlació quantificable causa-efecte entre perill climàtic i grau d'afectació real sobre la infraestructura, vinculació que, a la pràctica, resulta molt difícil d'establir per la multiplicitat de variables associades i les incerteses relatives a la pròpia probabilitat d'ocurrència dels fenòmens. D'altra banda, pràcticament no existeixen referències per a l'establiment de correlacions quantificables causa-efecte.

Malauradament, tot i el volum important d'informació georeferenciada recopilada, aquesta és limitada i/o incompleta i no sempre està disponible de manera adequada per fer una avaluació raonable per manca de grau de detall, qualitat de la informació subministrada, diferències entre la informació facilitada pels diferents operadors o correlació espai-temporal de les dades SIG a combinar. Cal, per tant, promoure la creació de bancs de dades i sistemes d'informació gerorreferenciats, que siguin complets, consistents i amb el nivell de precisió suficient per a permetre una determinació prou acurada dels costos d'intervenció.

Malgrat les dificultats metodològiques exposades, s'ha fet una aproximació als costos alçats associats a tres tipus d'accions representatives de mesures d'adaptació infraestructural, en particular pel mode ferroviari. Amb tot, els estudis de cas analitzats mostren diferències significatives en funció dels supòsits i premisses considerats per a fer l'estimació. A continuació s'indiquen els rangs superiors obtinguts:

- Millora de la capacitat de les obres de drenatge transversal (Acció 1A), amb una inversió associada per a la xarxa ferroviària de l'ordre de 28,6 M€.
- Reforç de l'estabilitat de talussos en desmunt (Accions 4A i 4B) amb una inversió associada per a la xarxa ferroviària de l'ordre de 34,0 M€.
- Millora de la protecció de la línia R1 front a temporals marítims (Acció 5A), amb una inversió associada per a la línia del Maresme de l'ordre de 56,2 M€

Adicionalment, en el context d'elaboració del pdl 2021-2030, s'ha fet una aproximació global als costos d'adaptació infraestructurals vinculats als operadors de transport públic. Els costos desagregats per operador i tipus d'acció s'exposen a la fitxa MM10 del pdl, que porta per títol *Mesures per a l'increment de la resiliència al canvi climàtic*.

En conjunt, la inversió a fer en mesures infraestructurals per part dels diferents operadors de TPC s'ha avaluat en una xifra a l'entorn dels 250 M€ (incloent costos d'execució per contracte i de gestió).

En síntesi, les principals actuacions contemplades són:

- Adequació d'obres de drenatge transversal i altres actuacions per prevenir inundacions a la xarxa ferroviària: 41,6 M€.
- Actuacions per reforçar l'estabilitat de talussos i prevenir despreniments i esllavissades sobre la xarxa ferroviària: 34,0 M€.
- Adequació d'accessos a estacions soterrades per reduir la inundació en cas de precipitació intensa: 14,4 M€.
- Intervencions de protecció física de la R1 de Rodalies al Maresme envers llevantades i ascens del nivell del mar: 56,1 M€.
- Optimització del sistema de ventilació d'andanes i túnels de les estacions ferroviàries subterrànies: 20,0 M€.
- Cobertura de platges de vies 32,0 M€.
- Millora del confort climàtic en parades de TPC (instal·lació i adequació de marquesines): 20,0 M€, i cobertura de cotxeres de bus: 7,0 M€.
- Altres actuacions (ús de materials i equips més resistents a altes temperatures, etc.): 22,3 M€.



## X. Anàlisi cost-benefici

L'informe planteja una metodologia simplificada d'avaluació cost-benefici, basada en el sistema d'avaluació d'inversions en transport, SAIT (vegeu capítol 9). La metodologia proposada contempla els següents ítems:

- Costos de no intervenció: paràmetres generals de demanda, afectació en vides humanes, increment temps de viatge per l'afectació, alternativa provisional, reposició infraestructura, altres afectacions.
- Costos de l'actuació: inversió i manteniment.

Figura X.1. Estructura de la plantilla de recopilació de dades per a una anàlisi cost-benefici simplificada.

COSTOS DE NO INTERVENCIÓ:		Valors de referència	
<b>PARÀMETRES GENERALS DE DEMANDA</b>			
<b>vehicle privat</b>			
IMD veh/dia			
vehicles pesats %			
ocupació vehicle privat <i>passatgers/vehicle</i>		1,3	
TOTAL PASSATGERS VEHICLE PRIVAT	0		
<b>transport públic</b>			
viatgers afectats línies regulars autobús <i>passatgers/dia</i>			
viatgers afectats ferrocarril <i>passatgers/dia</i>			
<b>AFECTACIÓ EN VIDES HUMANES</b>			
nombre de morts			
nombre de ferits greus			
nombre de ferits lleus			
		valor utilitzat	
cost mort €/persona	2.964.074 €	2.964.074 €	
cost ferit greu €/persona	322.138 €	322.138 €	
cost ferit lleu €/persona	24.985 €	24.985 €	
<b>COST EN VIDES HUMANES</b>	<b>0 €</b>		
<b>INCREMENT TEMPS DE VIATGE</b>			
vehicles lleugers <i>minuts-vehicle/dia</i>			
vehicles pesants <i>minuts-vehicle/dia</i>			
línies regulars d'autobús <i>minuts-autobús/dia</i>			
ferrocarril <i>minuts-tren/dia</i>			
dies d'afectació <i>dies/any</i>			
dies equivalents-any <i>dies/any</i>			
		valor utilitzat	
cost hora passatger vehicle lleuger €/hora		10 €	
cost hora mercaderia carretera €/hora		18 €	
cost hora usuari transport públic €/hora		10 €	
cost vehicle lleuger €	0 €		
cost vehicle pesant €	0 €		
cost línies regulars autobús €	0 €		
cost ferrocarril €	0 €		
<b>COST PER INCREMENT TEMPS DE VIATGE</b>	<b>0 €</b>		

<b>ALTERNATIVA PROVISIONAL</b>			
cost inversió mesura provisional €			
vida útil anys		25	
cost del dispositiu €/dia			
<b>COST ALTERNATIVA PROVISIONAL</b>	<b>0 €</b>		
<b>REPOSICIÓ INFRAESTRUCTURA</b>			
Danys materials inicials €			
Cost inversió reposició €			
vida útil anys		25	
<b>COST REPOSICIÓ INFRAESTRUCTURA</b>	<b>0 €</b>		
<b>ALTRES AFECTACIONS</b>			
<b>Situacions d'inconfort</b>			
temps situacions inconfortables <i>minuts-passatger/dia</i>			
nombre d'usuaris afectats <i>passatgers</i>			
dies d'afectació <i>dies/any</i>			
temps considerat anys			
cost hora €/hora			
subtotal	<b>0 €</b>		
<b>Situacions correctives</b>			
consums energètics <i>consum/dia</i>			
dies d'afectació <i>dies/any</i>			
cost energètic unitari €			
costos econòmics €	0 €		
costos ambientals €			
subtotal	<b>0 €</b>		
<b>COST ALTRES AFECTACIONS</b>	<b>0 €</b>		
<b>TOTAL COSTOS NO INTERVENCIÓ</b>		<b>0 €</b>	
<b>COSTOS DE L'ACTUACIÓ:</b>			
<b>Costos de manteniment</b>			
Costos per increment del dispositiu de manteniment €/dia			
dies d'afectació <i>dies/any</i>			
temps considerat anys			
<b>COSTOS DE MANTENIMENT</b>	<b>0 €</b>		
<b>Costos d'inversió</b>			
Cost d'inversió per l'anticipació de l'actuació abans que tingui cap afectació €			
Cost per inversió correctiva €			
vida útil anys		25	
<b>COSTOS D'INVERSIÓ</b>	<b>0 €</b>		
<b>TOTAL COSTOS DE L'ACTUACIÓ</b>		<b>0 €</b>	

Font: elaboració pròpia.

La metodologia s'ha aplicat a tres casos concrets d'incidències produïdes realment com a conseqüència de fenòmens meteorològics recents: enfonsament dels ponts viari i ferroviari de la Tordera com a conseqüència del temporal Gloria (gener 2020) i descarrilament d'un tren de la R4 a Vacarisses (novembre de 2018). Com a conclusió de les valoracions realitzades es constata que, si més no pels casos avaluats, els costos de no actuació se situen orientativament en un rang d'entre dues i quatre vegades els costos directes de l'actuació *per se*.

D'altra banda, la inversió en una actuació o intervenció preventiva minimitza el risc d'afectació pels eventuais episodis que s'esdevinguin durant el seu període de vida útil. És a dir, una actuació preventiva –que no necessàriament implica fer nova la infraestructura– pot tenir un efecte beneficiós al llarg del temps, evitant o disminuint danys personals i/o materials, eventualment per diverses incidències derivades de més d'un episodi climàtic. Això implica que es pot considerar que el balanç cost-benefici d'una intervenció preventiva –per definició concebuda per incrementar la resiliència– va augmentant al llarg del cicle de vida útil de la infraestructura sobre la qual s'ha intervingut preventivament.

Per contra, la no aplicació de mesures preventives orientades a incrementar la resiliència del sistema de mobilitat comporta, al capdavall, un risc incrementat de patir alteracions o interrupcions de la mobilitat amb múltiples costos directes –despeses de reparació, substitució, serveis alternatius, indemnitzacions, etc.– i indirectes –increment de temps de desplaçament, congestió, immobilització de mercaderies, desconfort del passatge, etc.–, alguns dels quals inclosos en la metodologia SAIT simplificada indicada més amunt.

#### Costos de no actuació a considerar

- **Costos directes:**
  - Despeses de reparació o reposició d'elements, parc mòbil o trams afectats.
  - Establiment d'un servei alternatiu de transport.
  - Indemnitzacions a víctimes directes de la incidència.
  - Costos addicionals: increments en l'ús de combustible i aire condicionat, etc.
- **Costos indirectes (externalitats), de caràcter temporal:**
  - Increment del temps de desplaçament i/o de congestió de passatgers/usuaris.
  - Sobrecàrrega de vies o serveis alternatius, habitualment no saturats.
  - Aïllament de parts del territori. Dificultat d'accés de serveis d'emergència .
  - Immobilització de mercaderies.
  - Augment de l'accidentalitat pels condicionants imposats per la situació.
  - Increment del desconfort d'usuaris i treballadors.

Les consideracions exposades farien pensar que l'establiment indiscriminat de mesures preventives per incrementar la resiliència al canvi climàtic –i, per extensió, als riscos climàtics i geològics en general– sempre és una bona opció.

Amb tot, el sobredimensionament preventiu d'infraestructures de manera generalitzada –per exemple mitjançant grans obres de drenatge per fer front a episodis extrems de precipitació concentrada en un curt període temporal– tot i poder ser aplicable des de la perspectiva tècnica, no és una opció viable en termes econòmics, ni sovint adequada pel que fa a l'impacte ambiental i paisatgístic associats.

En conseqüència, cal establir uns criteris de prioritització entre els quals cal destacar els següents:

- Punts vulnerables identificats per incidències ja documentades, com la R1 de rodalies al Maresme
- Punts molt exposats a determinats riscos: per exemple, trams d'infraestructures localitzats en zones de flux preferent o d'alt risc de despreniments.
- Punts on, sense conèixer-ne la vulnerabilitat o exposició, presentarien una bona relació cost/benefici atenent a un o més d'aquests factors:
  - Alteració del servei per un període prolongat de temps.
  - Afectació a un nombre important de desplaçaments quotidians.
  - Absència d'alternatives de mobilitat.

Aquestes reflexions i l'evidència que és impossible preveure tots els riscos en tots els punts del territori, posen de relleu la importància de treballar no tan sols en la implementació de mesures preventives o minimitzadores del risc –en totes les infraestructures que es facin de bell nou i en una selecció prioritzada de les ja existents– sinó també en mesures per optimitzar la gestió de les incidències que, inevitablement es produiran al llarg del temps.

Des d'aquesta perspectiva, el desenvolupament d'eines de *nowcasting* o *early warning* (vegeu acció 12A)– constitueix una estratègia de base indispensable a la que s'han d'afegir les mesures – infraestructurals, operatives o de manteniment– orientades a incrementar la resiliència intrínseca de determinats trams d'infraestructura o serveis de mobilitat.

## XI. Governança de l'adaptació i full de ruta

L'adaptació del sistema de mobilitat –i de les infraestructures viàries i ferroviàries en particular– s'ha de concebre com un procés progressiu al llarg del temps, necessàriament revisable i actualitzable i amb capacitat de modulació en funció de l'evolució climàtica real.

La inèrcia associada al llarg cicle de vida de les infraestructures de mobilitat fa que calgui treballar en paral·lel a tres nivells:

- Increment de resiliència del que ja existeix –a partir d'accions vinculades a l'operació i el manteniment i, en certs casos, a reposició o substitució d'elements d'infraestructura–.
- Disseny i execució de les noves infraestructures incorporant criteris d'adaptació als nous escenaris climàtics.
- Establiment d'un context que afavoreixi una gestió optimitzada dels riscos potencials i de les incidències reals basada en *early warnings* (acció 12A), sensòrica i monitoratge (accions 1B, 4C, 11A i 12A), coordinació entre operadors (acció 13A), creació d'un registre unificat d'incidències (acció 14A) i canvis en la normativa tècnica (acció 15A).

Un aspecte clau de la governança de la transició cap a un sistema de mobilitat més resilient és la coordinació i col·laboració entre els diferents agents implicats, tant per part de les administracions com dels operadors/gestors.

En aquest sentit, l'ATM es troba en una posició clau per coordinar i aglutinar esforços de cara a una millora efectiva de la resiliència del sistema de mobilitat a l'àmbit SIMMB i, per dur a terme aquesta funció compta amb instruments de planificació com el pdl i el pdM. De fet, el pdl 2021-2030 incorpora una acció específica del programa de manteniment i millora, denominada "MM10. Mesures per a l'increment de la resiliència al canvi climàtic" que contempla diverses tipologies d'accions infraestructurals, basades en les accions descrites en el present informe i amb un pressupost conjunt de l'ordre de 250 M€.

### Principals agents implicats en la millora de la resiliència del sistema de mobilitat a l'àmbit SIMMB

- Autoritat del Transport Metropolità (ATM)
- Direcció General de Carreteres (MITMA)
- Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)
- Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)
- ADIF / Renfe Operadora (MITMA)
- FGC (DTS)
- Ferrocarril Metropolità de Barcelona (TMB)
- Trambaix i Trambesòs (TRAM)
- Operadors/gestors de línies d'autobús urbanes i interurbanes
- Departament d'Interior-Protecció Civil
- Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)

Taula XI.1. Terminis d'implementació plantejats per les diferents accions d'increment de la resiliència i especificacions complementàries. La informació de la taula prové de les fitxes respectives (vegeu 7. Fitxes de les actuacions)

Codi	Mesura	Sub-codi	Acció	Tipus d'infraestructura	Termini d'implementació			Informació complementària	Acció infraestr. vinculable al pdI
					Curt (1-3 anys)	Mitjà (4-8 anys)	Llarg (>8 anys)		
1	Millorar la capacitat de drenatge amb solucions tècniques i de manteniment	1A	Millorar l'eficiència i capacitat dels sistemes de drenatge	Existent				Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.	x
				Nova				Associat a la pròpia redacció del projecte.	
		1B	Reforçar la inspecció d'obres de drenatge, passos inferiors i ponts mitjançant l'ús de la sensòrica	Existent				Vinculat a la progressiva renovació dels contractes de conservació i explotació. Acció a mantenir al llarg del temps.	
2	Millorar la capacitat de gestió de les estacions subterrànies envers les inundacions	2A	Col·locar en instal·lacions soterrades elements que dificultin l'entrada d'aigua i/o en facilitin el drenatge	Existent i nova				El col·lector de l'avinguda Paral·lel està previst pel 2023. A mitjà termini es contempla l'extensió de mesures al conjunt de la xarxa.	x
3	Prevenir l'afectació per aigua de sales de control i armaris tècnics	3A	Establir mesures d'aïllament i contenció que redueixin l'entrada d'aigua a sales de control i armaris tècnics	Existent i nova				Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.	x
4	Reforçar l'estabilitat dels talussos	4A	Reconsiderar paràmetres constructius en talussos per incrementar l'estabilitat	Existent				Adaptació progressiva a aplicar en punts crítics en casos molt específics d'infraestructura existent. En obra existent caldrà prioritzar, si són prou efectives, mesures de contenció (vegeu Fitxa 4B).	x
				Nova				Associat a la pròpia redacció del projecte.	
		4B	Aplicar mesures de protecció i contenció artificial front esllavissades i despreniments	Existent				Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.	x
				Nova				Associat a la pròpia redacció del projecte, tot i que en aquest cas caldria prioritzar mesures relatives a canvis en la geometria del talús i a la incorporació de sistemes de drenatge (vegeu Fitxa 4A).	
4C	Reforçar la inspecció als talussos de terraplens i desmunts per assegurar la seva solidesa estructural mitjançant l'ús de la sensòrica	Existent				Vinculat a la progressiva renovació dels contractes de conservació i explotació. Acció a mantenir al llarg del temps.			
5	Incrementar la protecció d'infraestructures situades en zones costaneres	5A	Millorar les mesures de protecció física en zones costaneres	Existent				Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.	x
6	Prevenir els danys produïts per elevades temperatures sobre la infraestructura i el parc mòbil	6A	Usar materials més resistents a altes temperatures en estructures, ferms, raïls i catenàries	Existent				Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.	x
				Nova				Associat a la pròpia redacció del projecte.	
		6B	Adequar instal·lacions sensibles amb equips elèctrics i electrònics que funcionin en un rang de temperatures més elevat	Existent				Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics. Acció a mantenir al llarg del temps.	x
				Nova				Associat a la pròpia redacció del projecte.	

Codi	Mesura	Sub-codi	Acció	Tipus d'infraestructura	Termini d'implementació			Informació complementària	Acció infraestr. vinculable al pdl
					Curt (1-3 anys)	Mitjà (4-8 anys)	Llarg (>8 anys)		
		6C	Instal·lar sensors de temperatura als rails i considerar pintar de blanc els trams més problemàtics	Existent i nova				Actuar als trams més problemàtics de la xarxa ferroviària.	
7	Millorar la protecció solar a les instal·lacions a l'aire lliure	7A	Protegir les parades i estacions exposades a la radiació solar directa	Existent				Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.	x
				Nova				Associat a la pròpia redacció del projecte.	
		7B	Protegir les cotxeres i les platges de vies de la radiació solar directa	Existent				Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.	x
				Nova				Associat a la pròpia redacció del projecte.	
8	Millorar el confort climàtic en el transport públic	8A	Optimitzar l'eficiència de l'aire condicionat al parc mòbil i a les instal·lacions	Existent					
				Nova				Associat a la pròpia redacció del projecte.	
		8B	Optimitzar el sistema de ventilació d'andanes i túnels de les estacions ferroviàries subterrànies	Existent				Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.	x
				Nova				Associat a la pròpia redacció del projecte.	
		8C	Instal·lar vidres amb control solar i pintar el sostre dels vehicles de blanc	Existent i nova				Els nous vehicles que cobreixen rutes, de manera total o parcial, per l'exterior, han d'incorporar mesures de control solar. En el cas dels vehicles existents, cal una adaptació progressiva tenint en compte el seu període de vida útil.	
9	Aplicar protocols d'actuació per onades de calor	9A	Elaborar i activar, quan sigui necessari, protocols d'actuació per onades de calor específics per a cada operador	Existent				Els plans han d'estar redactats a curt termini (1-3 anys) i s'han de revisar/actualitzar, si s'escau, al llarg del temps.	
10	Potenciar la robustesa del subministrament elèctric	10A	Millorar i reforçar el sistema de subministrament elèctric a elements crítics	Existent				Implantació progressiva al llarg del temps.	x
				Nova				Associat a la pròpia redacció del projecte, bé que ampliable al llarg del temps.	
11	Reforçar les mesures de prevenció d'incendis	11A	Impulsar una gestió dinàmica preventiva dels incendis basada en la vigilància i el monitoratge	Existent i nova				Vinculat a la progressiva renovació dels contractes de conservació i explotació. Acció a mantenir al llarg del temps.	
12	Millorar la capacitat predictiva a molt curt termini d'incidències climàtiques amb afectació potencial sobre la mobilitat	12A	Implantar una plataforma integrada d' <i>early warning</i> participada pels diversos operadors de mobilitat i dissenyar protocols d'actuació ràpida	Existent				Mitjà termini (4-8 anys) amb proves pilot a curt termini (1-3 anys).	
		12B	Instal·lar o reforçar la presència de sensors i altres mecanismes per gestionar el trànsit en cas d'incidència	Existent					
Nova						A incorporar en el propi disseny del projecte.			
13	Millorar la coordinació entre els organismes implicats en cas d'incidència	13A	Reforçar, per part dels diferents operadors, la coordinació per dur a terme actuacions de manteniment preventiu front els riscos climàtics	Existent i nova				Acció a mantenir al llarg del temps	
14	Registrar les incidències de manera integrada per part dels diferents operadors	14A	Generar un registre únic d'incidències sobre el sistema de mobilitat relacionades amb episodis climàtics extrems	Existent				Acció a mantenir al llarg del temps	
15	Revisar la normativa tècnica sobre les infraestructures	15A	Revisar les especificacions de disseny i manteniment d'infraestructures viàries i ferroviàries per incorporar qüestions relatives a l'adaptació al canvi climàtic	Existent i nova				Acció a mantenir al llarg del temps amb revisions /actualitzacions periòdiques, si s'escau.	

Font: elaboració pròpia.