

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

## PROPOSTES D'ACTUACIÓ

*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

## Agraïments

L'equip d'autor(e)s vol agrair les informacions i les aportacions realitzades pels següents organismes –indicats per ordre alfabètic– i persones amb els quals s'han mantingut reunions i/o contactes al llarg del període d'elaboració del present informe:

- Barcelona Regional: Marc Montlleó (Director de Projectes Ambientals).
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX): Albert Compte (Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas).
- Departament d'Interior-Direcció General de Protecció Civil. Subdirecció General de Coordinació i Gestió d'Emergències: Sergio Delgado (Subdirector general de Coordinació i Gestió d'Emergències), Montse Font (Cap del Servei de Gestió d'Emergències).
- Departament de Territori i Sostenibilitat -Oficina Catalana de Canvi Climàtic (OCCC): Salvador Samitier (Cap de l'OCCC).
- Departament de Territori i Sostenibilitat-Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat: Albert Gómez (Subdirector General d'exploració viària).
- Diputació de Barcelona-Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat: Xavier Pons (Cap de l'Oficina Tècnica de Gestió d'Infraestructures).
- FGC: Oriol Juncadella (Director d'FGC Operadora), Albert Tortajada (Director d'FGC Infraestructura i d'FGC Internacional).
- Ministeri de Foment-ADIF: Alfonso Ruiz (Subdirector d'operacions RC Nord-Est), Carlos Luis Sarabia (Cap de l'Àrea de Manteniment de Barcelona), Vicenç Navarro (Àrea de Manteniment de Barcelona), Jonathan Sánchez García (Cap de l'Àrea de Sostenibilitat Ambiental i Lluita contra el Canvi Climàtic).
- Ministeri de Foment-Demarcació de Carreteres de l'estat a Catalunya: Lluís Bonet (Cap de Demarcació a Catalunya).
- Servei Meteorològic de Catalunya (SMC): Jéssica Amaro (Unitat de Serveis a l'Usuari i al Client), Jordi Cunillera (Cap de l'Equip de Canvi Climàtic, Àrea de Climatologia), Toni Barrera (tècnic de l'Equip de Canvi Climàtic, Àrea de Climatologia).
- TMB: Jordi Micàs (Àrea de Manteniment i Projectes), Joaquim Plaja (Director de Projectes de Metro), Ivan Altaba (Director del Servei de Sistemes Elèctrics i Electromecànics de Metro), Fernando Rego (Responsable de la Unitat de Projectes d'Equipaments d'Estació de Metro).
- TRAM: Joan Carsi (Director d'Explotació i Desenvolupament), Olatz Ortiz (Cap d'Innovació i Anàlisi), Toni Alpuente (Cap de l'Oficina Tècnica).

A banda dels organismes i persones indicats, es vol fer una menció expressa a les següents persones de l'ATM, com a organisme promotor del projecte, les quals han estat vinculades amb el procés d'elaboració del present informe:

- Pere Torres (Director General)
- Lluís Alegre (Director de l'Àrea de Mobilitat)
- Francesc Calvet (Cap del Servei de Planificació. Àrea de Mobilitat)
- Eduard Cabrera (Cap del Servei de Gestió d'Infraestructures)
- Xavier Sanyer (Cap del Servei de Mobilitat)
- Jordi Martin (Oficina Tècnica)

## SUMARI

|  |           |  |  |
|--|-----------|--|--|
| RESUM EXECUTIU.....  | 9         |  |  |
| <b>A. ANTECEDENTS, ESCENARIS CLIMÀTICS I ESTRATÈGIES D'ADAPTACIÓ</b>   | <b>15</b> |  |  |
| <b>1. Efectes del canvi climàtic i implicacions sobre el sistema de mobilitat.....</b>   | <b>16</b> |  |  |
| 1.1. Cinquè informe de l'IPCC (2014).....  | 17        |  |  |
| 1.2. <i>Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report</i> (2016) ..                            | 20        |  |  |
| 1.3. Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya (2016) .....  | 24        |  |  |
| <b>2. El sistema de mobilitat en els plans i estratègies d'adaptació que incideixen sobre l'àmbit SIMMB .....</b>                    | <b>25</b> |  |  |
| 2.1. Estratègia d'adaptació al canvi climàtic de la UE 2013-2020 .....   | 25        |  |  |
| 2.2. Pla nacional d'adaptació al canvi climàtic (2006).....  | 25        |  |  |
| 2.3. Estratègia catalana d'adaptació al canvi climàtic i Llei del canvi climàtic 16/2017 .....                                       | 26        |  |  |
| 2.4. Pla d'adaptació al canvi climàtic de l'AMB 2015-2020 i Pla clima i energia 2030 .....   | 27        |  |  |
| 2.5. Pla clima 2030 de l'Ajuntament de Barcelona .....   | 27        |  |  |
| <b>3. Clima actual i tendències recents .....</b>  | <b>29</b> |  |  |
| 3.1. Temperatura .....   | 29        |  |  |
| 3.2. Precipitació .....  | 32        |  |  |
| 3.3. Altres fenòmens meteorològics .....   | 34        |  |  |
| 3.3.1. Nuvolositat, humitat relativa i innivació .....   | 34        |  |  |
| 3.3.2. Ciclons, temporals i tornados .....   | 34        |  |  |
| 3.3.3. Descàrregues elèctriques .....  | 34        |  |  |
| 3.4. Riscos indirectes associats a fenòmens meteorològics .....  | 35        |  |  |
| 3.4.1. Inundacions i esllavissades .....   | 35        |  |  |
| 3.4.2. Sequeres i incendis forestals .....   | 36        |  |  |
| 3.4.3. Ascens del nivell del mar i canvis en el règim d'onatge .....   | 36        |  |  |
| 3.4.4. Allaus de neu .....   | 37        |  |  |
| <b>B. VULNERABILITAT DE LES INFRAESTRUCTURES I CARACTERITZACIÓ DE RISCOS</b>   | <b>38</b> |  |  |
| <b>4. Paràmetres i variables climàtiques considerades.....</b>   | <b>39</b> |  |  |
| 4.1. Variables climàtiques rellevants .....  | 39        |  |  |
| 4.2. Identificació dels principals perills climàtics .....   | 47        |  |  |
| 4.2.1. Perills climàtics directes .....  | 47        |  |  |
| 4.2.2. Perills climàtics indirectes .....  | 48        |  |  |
| <b>5. Avaluació de les afectacions del canvi climàtic sobre el sistema de mobilitat.....</b>   | <b>49</b> |  |  |
| 5.1. Conceptes clau sobre el risc .....  | 49        |  |  |
| 5.2. Identificació i caracterització de riscos sobre el sistema de mobilitat .....   | 49        |  |  |
| 5.3. Anàlisi de vulnerabilitats.....   | 52        |  |  |
| 5.3.1. Consideracions metodològiques .....   | 52        |  |  |
| 5.3.2. Matriu d'impactes potencials .....  | 53        |  |  |
| 5.4. Priorització dels riscos .....  | 57        |  |  |
| <b>C. PROPOSTES D'ACTUACIÓ PER A INCREMENTAR LA RESILIÈNCIA AL CANVI CLIMÀTIC DEL SISTEMA DE MOBILITAT A L'ÀMBIT SIMMB</b>           | <b>61</b> |  |  |
| <b>6. Mesures per incrementar la resiliència del sistema de mobilitat.....</b>   | <b>62</b> |  |  |
| <b>7. Fitxes d'actuacions.....</b>   | <b>67</b> |  |  |
| 7.1. Millorar la capacitat de drenatge amb solucions tècniques i de manteniment .....  | 69        |  |  |
| 7.2. Millorar la capacitat de gestió de les estacions subterrànies envers les inundacions .....                                      | 74        |  |  |
| 7.3. Prevenir l'afectació per aigua de sales de control i armaris tècnics .....  | 77        |  |  |
| 7.4. Reforçar l'estabilitat dels talussos.....   | 79        |  |  |
| 7.5. Incrementar la protecció d'infraestructures situades en zones costaneres.....   | 86        |  |  |
| 7.6. Prevenir els danys produïts per elevades temperatures sobre la infraestructura i el parc mòbil .....                            | 89        |  |  |
| 7.7. Millorar la protecció solar a les instal·lacions a l'aire lliure .....  | 96        |  |  |
| 7.8. Millorar el confort climàtic en el transport públic .....   | 101       |  |  |
| 7.9. Aplicar protocols d'actuació per onades de calor .....  | 107       |  |  |
| 7.10. Incrementar la robustesa del subministrament elèctric .....  | 109       |  |  |
| 7.11. Reforçar les mesures de prevenció d'incendis .....   | 112       |  |  |
| 7.12. Millorar la capacitat predictiva a molt curt termini d'incidències climàtiques amb afectació potencial sobre la mobilitat..... | 115       |  |  |
| 7.13. Millorar la coordinació entre els organismes implicats en cas d'incidència .....   | 119       |  |  |
| 7.14. Registrar les incidències de manera integrada per part dels diferents operadors .....  | 121       |  |  |
| 7.15. Revisar la normativa tècnica sobre les infraestructures .....  | 123       |  |  |

|  |            |
|--|------------|
| <b>8. Avaluació de costos de les actuacions infraestructurals .....</b>  | <b>126</b> |
| 8.1. Una aproximació als costos d'adaptació .....  | 126        |
| 8.2. Metodologia de valoració.....   | 127        |
| 8.2.1. Quadre de preus .....   | 127        |
| 8.2.2. Amidaments .....  | 129        |
| 8.3. Aplicació de la metodologia d'avaluació general de costos d'adaptació d'infraestructures en tres estudis de cas.....  | 129        |
| 8.4. Estimació de costos infraestructurals globals d'adaptació per al pdI-2021-2030 .....                                  | 134        |
| <b>9. Anàlisi cost-benefici.....</b>   | <b>135</b> |
| 9.1. Complexitat de l'avaluació cost-benefici aplicada a les mesures previstes a l'informe i limitacions a l'anàlisi ..... | 135        |
| 9.2. Apunts metodològics per a una aplicació simplificada del SAIT .....   | 136        |
| 9.3. Aplicació de la metodologia SAIT simplificada en tres casos pràctics.....   | 138        |
| 9.4. Consideracions a l'entorn dels costos de no actuació .....  | 142        |
| 9.5. Criteris per la prioritització de les mesures d'adaptació.....  | 144        |
| <b>10. Governança de l'adaptació i full de ruta .....</b>  | <b>145</b> |

## ANNEXOS

|   |            |
|---|------------|
| <b>ANNEX 1. ESCENARIS CLIMÀTICS A L'ÀMBIT SIMMB .....</b>   | <b>149</b> |
| 1. Projectes desenvolupats per l'AEMET.....   | 150        |
| 2. Projectes desenvolupats pel Servei Meteorològic de Catalunya.....  | 153        |
| 2.1. Projecte ESCAT .....   | 153        |
| 2.2. Projeccions pel Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya (TICCC) .....                              | 157        |
| 2.3. Darreres projeccions climàtiques per Catalunya: ESCAT-2020 .....   | 159        |
| 3. El projecte ESAMB a l'àmbit de l'AMB .....   | 163        |
| 4. Informes de l'AMB sobre canvi climàtic.....  | 167        |
| <b>ANNEX 2. BENCHMARKING DE PLANS I ESTRATÈGIES D'ADAPTACIÓ .....</b>   | <b>169</b> |
| 1. Resiliència al canvi climàtic de les infraestructures de mobilitat: <i>benchmarking</i> internacional..... | 170        |
| 1.1. Informes i documents d'organismes internacionals i nacionals.....  | 170        |
| 1.1.1. Nacions Unides .....   | 170        |
| 1.1.2. Grup Banc Mundial .....  | 171        |
| 1.1.3. Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament (OCDE) .....                                     | 173        |
| 1.1.4. Unió Europea .....   | 173        |
| 1.1.5. Estat espanyol .....   | 175        |
| 1.1.6. Altres referents: Cerema .....   | 179        |
| 1.2. Projectes singulars de la UE .....   | 179        |
| 1.2.1. Setè Programa Marc de la UE 2007-2013 .....  | 179        |
| 1.2.2. Horizon 2020 .....   | 183        |
| 2. <i>Benchmarking</i> de plans i estratègies d'adaptació nacionals i locals i estudis de cas .....           | 186        |
| 2.1. Plans i estratègies nacionals d'adaptació d'altres països europeus .....                                 | 186        |
| 2.1.1. França .....   | 186        |
| 2.1.2. Regne Unit .....   | 186        |
| 2.1.3. Alemanya .....   | 186        |
| 2.1.4. Itàlia .....   | 187        |
| 2.2. Plans i estratègies locals d'adaptació .....   | 188        |
| 2.2.1. París .....  | 188        |
| 2.2.2. Londres .....  | 188        |
| 2.2.3. Berlín .....   | 188        |
| 2.2.4. Roma .....   | 189        |
| 2.2.5. Atenes .....   | 189        |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 2.2.6. | La Haia  | 189 |
| 2.2.7. | San Francisco  | 190 |
| 2.2.8. | Nova York  | 190 |
| 2.3.   | Exemples d'aplicació de mesures d'adaptació en infraestructures de mobilitat ..... | 192 |
| 2.3.1. | Infraestructures viàries   | 192 |
| 2.3.2. | Infraestructures ferroviàries  | 192 |

**ANNEX 3. BENCHMARKING DE SOLUCIONS INNOVADORES D'ADAPTACIÓ AL CANVI CLIMÀTIC EN L'ÀMBIT DE LA MOBILITAT 194**

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>1.</b> | <b>Infraestructura .....</b>              | <b>195</b> |
| 1.1.      | Xarxa viària.....                         | 195        |
| 1.1.1.    | Asfalt                                    | 195        |
| 1.2.      | Xarxa ferroviària.....                    | 196        |
| 1.2.1.    | Rails                                     | 196        |
| 1.2.2.    | Balast                                    | 198        |
| 1.2.3.    | Catenària                                 | 198        |
| 1.3.      | Elements comuns .....                     | 199        |
| 1.3.1.    | Talussos                                  | 199        |
| 1.3.2.    | Túnels                                    | 199        |
| 1.3.3.    | Ponts                                     | 200        |
| <b>2.</b> | <b>Operació.....</b>                      | <b>201</b> |
| 2.1.      | Senyalització .....                       | 201        |
| 2.2.      | Monitoratge de les infraestructures ..... | 202        |
| 2.3.      | Altres .....                              | 203        |

**ANNEX 4 - CARTOGRAFIA CLIMÀTICA I DE RISCOS 204**

## Abreviacions

ACA: Agència Catalana de l'Aigua

ADIF: Administrador d'Infraestructures Ferroviàries

AEMET: Agència Estatal de Meteorologia

AMB: Àrea Metropolitana de Barcelona

ATM: Autoritat del Transport Metropolità

CE: Comissió Europea

DIBA: Diputació de Barcelona

DTS: Departament de Territori i Sostenibilitat

EEA: *European Environmental Agency* (Agència Europea del Medi Ambient)

ESCACC: Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic 2013-2020

FGC: Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya

GEH: Gasos amb efecte d'hivernacle

ICGC: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

IMD: Intensitat Mitjana Diària (de trànsit)

IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Grup Intergovernamental d'Experts sobre Canvi Climàtic)

MITMA: Ministeri de Transports, Mobilitat i Agenda Urbana

OCCC: Oficina Catalana del Canvi Climàtic

ODT: Obra de drenatge transversal

pdI: Pla director d'infraestructures (de l'àmbit SIMMB)

pdM: Pla director de mobilitat (de l'àmbit SIMMB)

RCP: *Representative Concentration Pathways* (trajectòries de concentració representatives, dels escenaris climàtics de l'informe de l'IPCC)

SAIT: Sistema d'avaluació d'inversions en transport

SIMMB: Sistema Integrat de Mobilitat Metropolitana de Barcelona. Inclou les 12 comarques de la demarcació de Barcelona

SMC: Servei Meteorològic de Catalunya

TICCC: Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya

TMB: Transports Metropolitans de Barcelona

TPC: Transport públic col·lectiu

UE: Unió Europea

UNEP: *United Nations Environment Programme* (Programa de les Nacions Unides pel Medi Ambient)

WMO: *World Meteorological Organization* (Organització Meteorològica Mundial)

RESUM EXECUTIU



## 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.

## 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).

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 concrets, 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 capdavall, 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.

## 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, esclavissades 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:

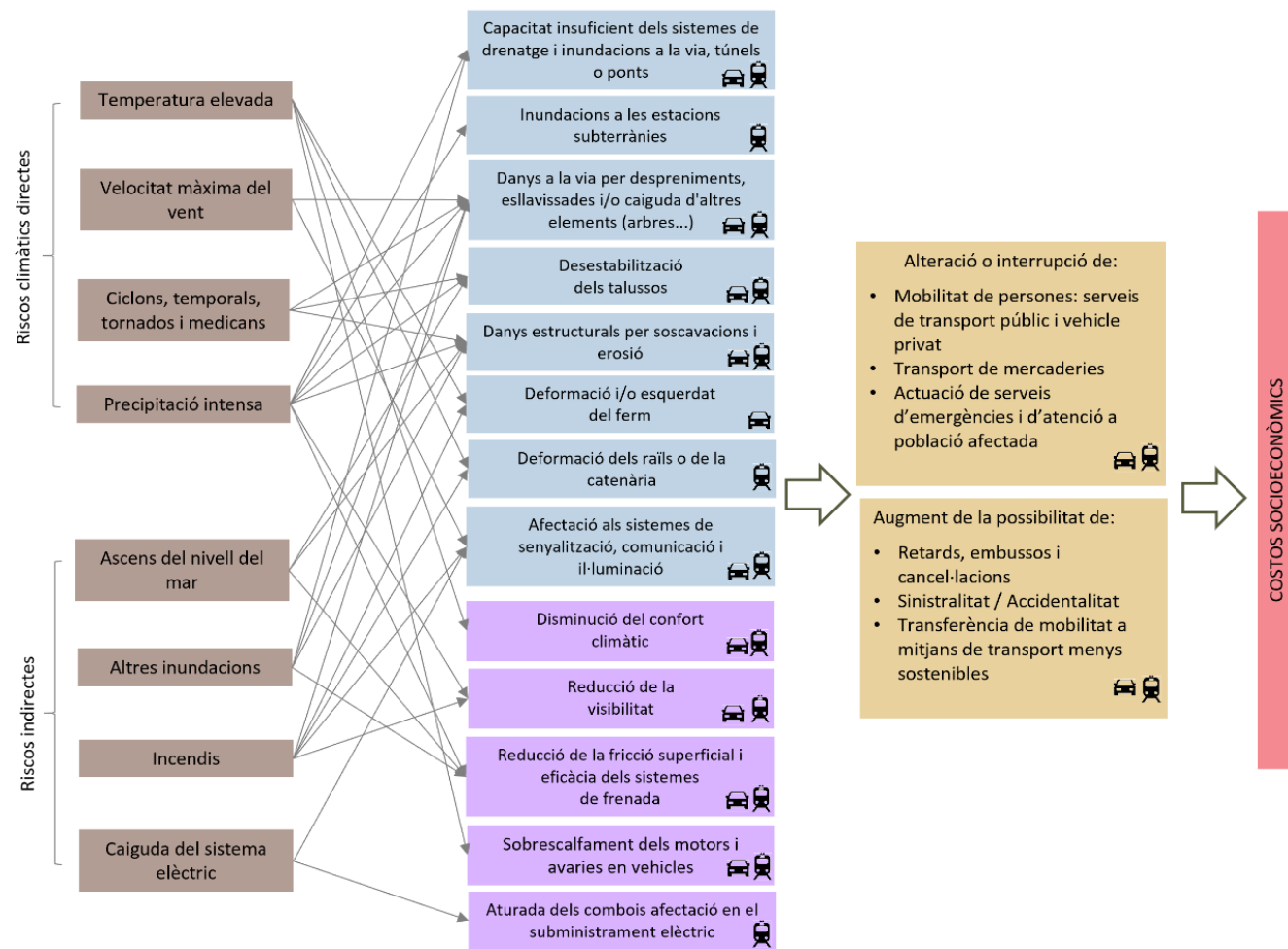
- Disminució del confort climàtic
- Reducció de la visibilitat
- Reducció de la fricció superficial i eficàcia dels sistemes de frenada
- Sobreescalfament de motors i avaries en vehicles
- Aturada dels combois per pèrdues de subministrament elèctric

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.





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

- Millorar la capacitat de drenatge amb solucions tècniques i de manteniment
  - Millorar l'eficiència i capacitat dels sistemes de drenatge\*
  - Reforçar la inspecció d'obres de drenatge, passos inferiors i ponts mitjançant l'ús de la sensòrica
- Millorar la capacitat de gestió de les estacions subterrànies envers les inundacions
  - Col·locar en instal·lacions soterrades elements que dificultin l'entrada d'aigua i/o en facilitin el drenatge\*
- Reforçar l'estanqueïtat de sales de control i armaris tècnics
  - Establir mesures d'aïllament i contenció que redueixin l'entrada d'aigua a sales de control i armaris tècnics\*
- Reforçar l'estabilitat dels talussos
  - Reconsiderar paràmetres constructius en talussos per incrementar l'estabilitat\*
  - Aplicar mesures de protecció i contenció artificial front esllavissades i desprendiments\*
  - Reforçar la inspecció als talussos de terraplens i desmunts per assegurar la seva solidesa estructural mitjançant l'ús de la sensòrica
- Millorar les mesures de protecció física en zones costaneres
  - Millorar les mesures de protecció física en zones costaneres\*
- Prevenir els danys produïts per elevades temperatures sobre la infraestructura i el parc mòbil
  - Usar materials més resistents a altes temperatures en estructures, fermes, rails i catenàries\*
  - Adequar instal·lacions, amb equips elèctrics i electrònics sensibles, a temperatures de funcionament més elevades\*
  - Instal·lar sensors de temperatura als rails i considerar pintar de blanc els trams més problemàtics
- Millorar la protecció solar a les instal·lacions a l'aire lliure
  - Protegir les parades i estacions exposades a la radiació solar directa\*
  - Protegir les cotxeres i les platges de vies de la radiació solar directa\*
- Millorar el confort climàtic en el transport públic
  - Optimitzar l'eficiència de l'aire condicionat al parc mòbil i a les instal·lacions
  - Optimitzar el sistema de ventilació d'andanes i túnels de les estacions ferroviàries subterrànies\*
  - Instal·lar vidres amb control solar i pintar el sostre dels vehicles de blanc

### Mesures i accions proposades per incrementar la resiliència

En conjunt es proposen 24 accions, estructurades en 15 mesures d'abast més general. Cada mesura incorpora entre una i tres accions. El 50% de les accions plantejades són caire eminentment infraestructural i el 50% restant responen a qüestions vinculades principalment amb l'operació i el manteniment (vegeu capítol 6).

Cada acció s'ha classificat en funció de diversos descriptors:

- Tipus de solució: tècnica, operativa, manteniment, cultural i regulatòria.
- Mode transport: viari i/o ferroviari.
- Tipus d'infraestructura a la que aplica: existent i/o nova.
- Risc o riscos climàtics als quals permet fer front.

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

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

| TÍTOL DE L'ACTUACIÓ  |  |   |  |             |  |          |  | Subcodi          | Núm. i lletra |
|--|--|---|--|-------------|--|----------|--|------------------|---------------|
| <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> |  |   |  |             |  |          |  | 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>  |  |             |  |          |  |                  |               |

### 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:

- 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 quals assoleixen una xifra a l'entorn de 250 M€. 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*.

### 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.

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 eventuals 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.

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 que combinin factors com ara la identificació de punts o trams ja coneguts per incidències recurrents, situats en zones de risc evident o bé d'aquells que puguin comportar importants alteracions de la mobilitat en cas d'incidència (per nombre desplaçaments afectats, perllongament temporal de la situació de disfunció), entre d'altres.

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.

### 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€.

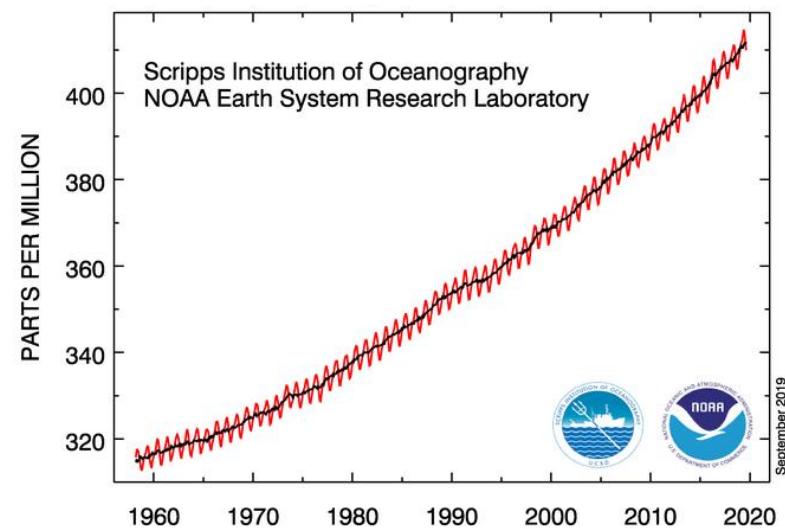
## A. ANTECEDENTS, ESCENARIS CLIMÀTICS I ESTRATÈGIES D'ADAPTACIÓ

## 1. Efectes del canvi climàtic i implicacions sobre el sistema de mobilitat

El canvi climàtic és la locució emprada per a definir les variacions climàtiques del planeta. La Terra ha patit nombrosos canvis climàtics al llarg de la seva història com a conseqüència de diversos fenòmens naturals. Actualment, s'està produint un nou canvi però, a diferència dels anteriors, hi ha evidències científiques que demostren que és causat per l'activitat humana.

A partir del segle XX i principalment degut a la crema dels combustibles fòssils associats a l'activitat antròpica –generació d'energia, transport, processos industrials, entre d'altres –, la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) d'origen antropogènic a l'atmosfera ha augmentat<sup>1</sup>. És a dir, s'han incrementat els nivells de compostos gasosos que absorbeixen i reemetten radiació infraroja al planeta, tot provocant un escalfament global.

Figura 1.1. Evolució del CO<sub>2</sub> atmosfèric registrat a l'Observatori de Mauna Loa (Hawaii) durant el període 1960-2018.



Font: National Oceanic and Atmospheric Administration (2018).

Si bé és cert que gràcies a diferents accions nacionals i internacionals desenvolupades al llarg dels darrers anys en àmbits com la UE s'han reduït les emissions de CO<sub>2</sub> –en un 23% de mitjana el 2017 respecte el 1990, segons dades de l'Agència Europea de Medi Ambient (EEA)–, aquests valors continuen sent elevats a escala global. En el cas específic de Catalunya, de fet, les emissions de GEH han augmentat un 16% respecte el 1990 i tenen com a principals focus emissors les activitats industrials (31%) i la mobilitat (28%).

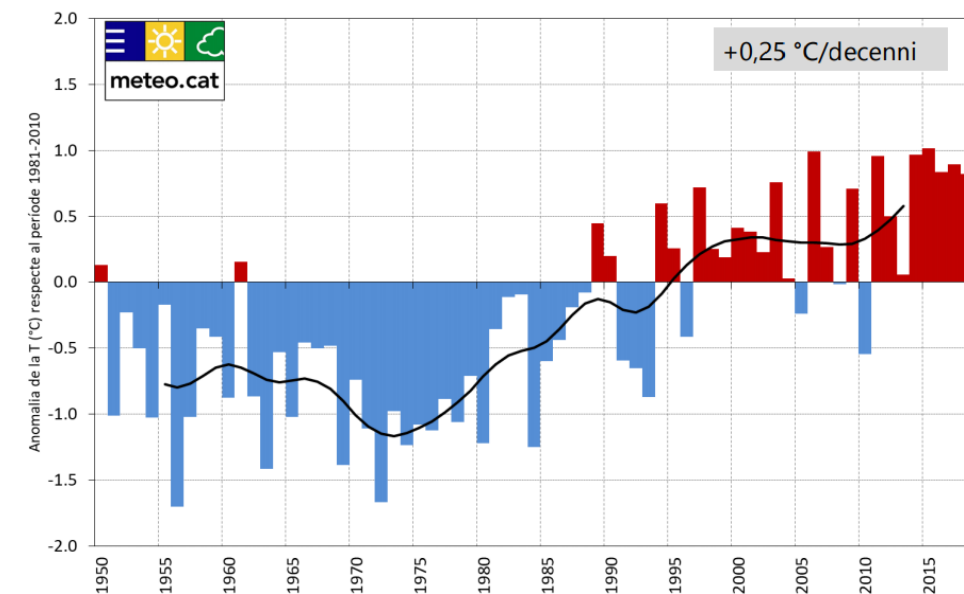
<sup>1</sup> Es consideren GEH els següents compostos: diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>), metà (CH<sub>4</sub>), òxid nitrós (N<sub>2</sub>O), ozó (O<sub>3</sub>), hidrofluorocarburs (HFC), perfluorocarburs (PFC), hexafluorur de sofre (SF<sub>6</sub>) i trifluorur de nitrogen (NF<sub>3</sub>).

Arran de la necessitat de conèixer més sobre el fenomen del canvi climàtic, el Programa de les Nacions Unides sobre Medi Ambient (UNEP) i l'Organització Meteorològica Mundial (WMO) van configurar el Grup Intergovernamental d'Experts sobre Canvi Climàtic (IPCC) el 1988. Es tracta d'una organització internacional que realitza avaluacions periòdiques, objectives i transparents, sobre l'estat dels coneixements científics, tècnics i socioeconòmics relatius al canvi climàtic, així com de les seves conseqüències i les possibles mesures a desenvolupar en matèria d'adaptació i mitigació.

L'IPCC publica periòdicament informes que mostren l'evolució i les prediccions de diferents fenòmens climàtics. El darrer informe (vegeu apartat següent) afirma que, entre d'altres paràmetres, la temperatura mitjana global de la Terra ha augmentat 0,76 °C al llarg del període 1850-2005. A finals de segle (2081-2100), d'acord amb l'escenari menys favorable, s'esperen increments de la temperatura mitjana d'entre 2,6 i 4,8 °C respecte els valors mitjans del període 1986-2005.

Pel que fa a Catalunya, la temperatura mitjana anual ha augmentat en gairebé 1,2 °C en els últims 65 anys, tal i com es mostra a la figura següent.

Figura 1.2. Evolució de la temperatura mitjana anual a Catalunya des de 1950, expressada com a anomalia respecte el període 1981-2010.



Font: SMC (2018). Butlletí anual d'indicadors climàtics (2018).

A banda de l'augment de la temperatura, també s'han constatat –i es preveuen amb més intensitat al llarg de les properes dècades– canvis en el règim de precipitacions, l'increment d'episodis meteorològics extrems (onades de calor, sequeres, pluges torrencials), així com d'altres efectes vinculats com l'ascens del nivell del mar.

Els efectes del canvi climàtic ja s'estan evidenciant a múltiples escales territorials i àmbits sectorials: des dels ecosistemes naturals fins a l'activitat econòmica i la salut i el benestar de les persones. Aquestes alteracions climàtiques també incideixen, de manera directa o indirecta sobre el sistema de mobilitat, tant en termes infraestructurals (afectació física de la infraestructura), com funcionals (mobilitat de persones i mercaderies, tant privada com pública).

En els tres subapartats següents s'exposen qüestions destacades sobre projeccions climàtiques dels darrers informes de referència publicats sobre el canvi climàtic a escala internacional (IPCC), europea (EEA) i catalana (SMC i OCCC).

### 1.1. Cinquè informe de l'IPCC (2014)

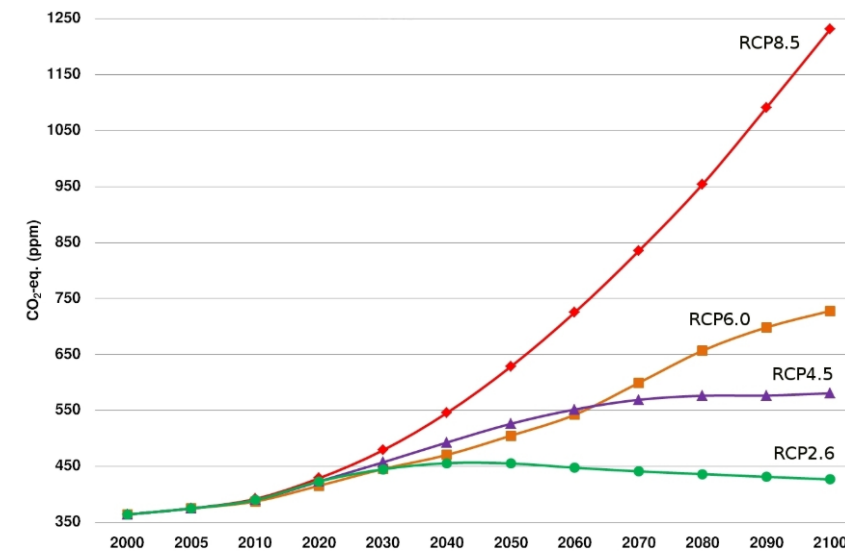
El cinquè informe de l'IPCC–IPCC *Fifth Assessment Report* (AR5)– es va publicar entre el 2013 i el 2014. Actualment ja s'està treballant en l'elaboració del sisè informe, que estarà disponible el 2022. L'AR5 estableix que l'emissió continuada de GEH provocarà un major escalfament del planeta i canvis en tots els components del sistema climàtic, augmentant la probabilitat que els impactes siguin irreversibles, greus i generalitzats sobre els ecosistemes i les persones.

L'IPCC elabora projeccions climàtiques, les quals s'obtenen a partir de models climàtics, és a dir, models numèrics que tenen en compte diferents elements del sistema climàtic. A més, les projeccions també depenen de l'escenari d'emissions de GEH hipotètic que es planteja, el qual s'assumeix en funció de diferents variables relacionades amb el desenvolupament socioeconòmic i tecnològic futur.

L'AR5, com a novetat respecte l'anterior informe, utilitza nous escenaris coneguts com a RCP (*Representative Concentration Pathways*) que, a més dels factors anteriorment esmentats, consideren els efectes derivats de les possibles polítiques d'adaptació i mitigació adoptades. Els escenaris RCP tenen en compte el que es coneix com a forçament radiatiu, és a dir, l'efecte de la variació de la concentració de certs components de l'atmosfera sobre el balanç energètic de la Terra per l'any 2100. Aquests nous escenaris són:

- RCP2,6: escenari de mitigació estricta, caracteritzat per unes concentracions baixes de GEH. Correspon a la trajectòria en la qual el forçament radiatiu assoleix el valor màxim a aproximadament 3 W/m<sup>2</sup> abans de 2100, moment a partir del qual disminueix.
- RCP4,5 i RCP6,0: escenaris intermedis mitjançant l'aplicació d'una sèrie de tecnologies i estratègies per reduir les emissions de GEH –el RCP4,5 considera les reduccions a partir de mitjans de segle i el RCP6,0 a finals de segle–. En aquest cas, s'assumeixen dues trajectòries d'estabilització intermèdies en les quals el forçament radiatiu s'estabilitza a aproximadament 4,5 W/m<sup>2</sup> i 6,0 W/m<sup>2</sup>, respectivament, després de 2100.
- RCP8,5: escenari amb elevades emissions de GEH. Es caracteritza per una trajectòria alta per a la qual el forçament radiatiu arriba a valors superiors a 8,5 W/m<sup>2</sup> a 2100 i segueix augmentant durant un lapse de temps.

Figura 1.3. Evolució de les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera segons els diferents escenaris d'emissions RCP.



Font: SMC ([www.meteo.cat/wpweb/climatologia/el-clima-dema/el-canvi-climatic/](http://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/el-clima-dema/el-canvi-climatic/))

En conseqüència, els escenaris que plantegen mesures per reduir les emissions de GEH a curt i mitjà terminis (RCP2,6 i RCP4,5) estimen augments de la temperatura menors respecte els escenaris més pessimistes (vegeu taules següents).

Taula 1.1. Projecció del canvi en la temperatura mitjana global en superfície i l'augment del nivell mitjà global del mar per a mitjans i finals del segle XXI, respecte el període 1986-2005.

|  | Escenari | 2046-2065 |                             | 2081-2100 |                             |
|--|----------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|
|  |          | Media     | Rango probable <sup>c</sup> | Media     | Rango probable <sup>c</sup> |
| Cambio en la temperatura media global en superficie (en °C) <sup>a</sup> | RCP2,6   | 1,0       | 0,4 a 1,6                   | 1,0       | 0,3 a 1,7                   |
|  | RCP4,5   | 1,4       | 0,9 a 2,0                   | 1,8       | 1,1 a 2,6                   |
|  | RCP6,0   | 1,3       | 0,8 a 1,8                   | 2,2       | 1,4 a 3,1                   |
|  | RCP8,5   | 2,0       | 1,4 a 2,6                   | 3,7       | 2,6 a 4,8                   |
|  | Escenari | 2046-2065 |                             | 2081-2100 |                             |
|  |          | Media     | Rango probable <sup>d</sup> | Media     | Rango probable <sup>d</sup> |
| Elevación del nivel medio global del mar (en metros) <sup>b</sup>        | RCP2,6   | 0,24      | 0,17 a 0,32                 | 0,40      | 0,26 a 0,55                 |
|  | RCP4,5   | 0,26      | 0,19 a 0,33                 | 0,47      | 0,32 a 0,63                 |
|  | RCP6,0   | 0,25      | 0,18 a 0,32                 | 0,48      | 0,33 a 0,63                 |
|  | RCP8,5   | 0,30      | 0,22 a 0,38                 | 0,63      | 0,45 a 0,82                 |

Font: IPCC (2014). Cambio climático 2014. Informe de síntesis.



Taula 1.2. Principals característiques dels nous escenaris climàtics RCP.

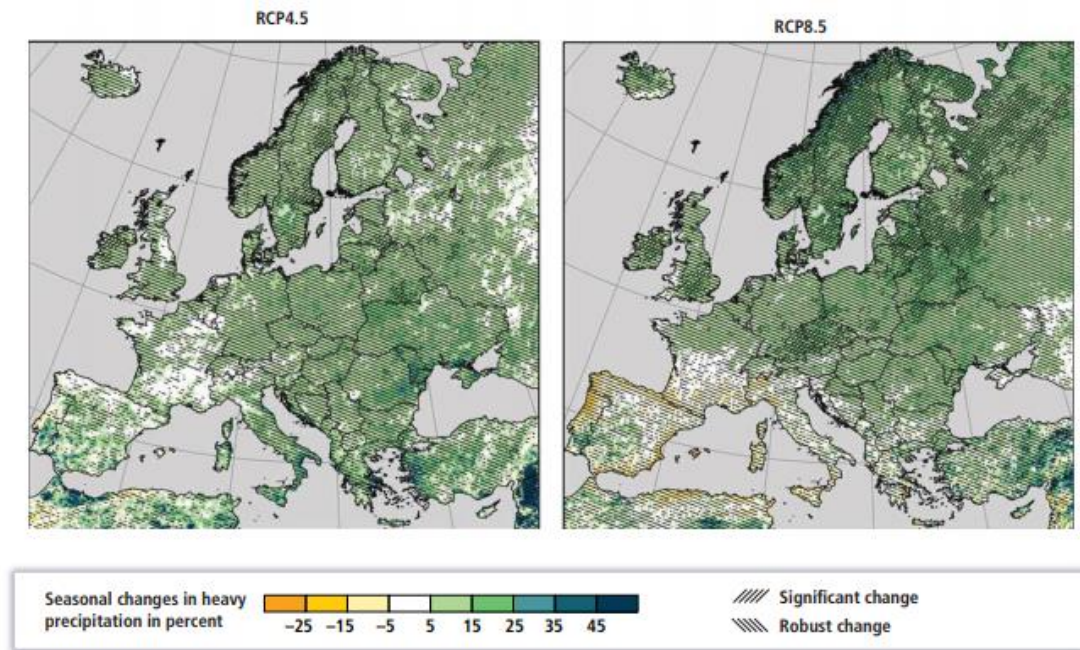
| Concentracions de CO <sub>2</sub> -eq en 2100 (ppm CO <sub>2</sub> -eq) <sup>f</sup><br>Categoría (rango de concentraciones) | Subcategorías   | Posición relativa de las RCP <sup>d</sup> | Cambio en las emisiones de CO <sub>2</sub> -eq en comparación con 2010 (en %) <sup>c</sup> |            | Probabilidad de que no se supere un nivel de temperatura específico a lo largo del siglo XXI (en relación con 1850-1900) <sup>e</sup> |  |                             |          |
|--|---|---|--|------------|---|--|-----------------------------|----------|
|  |   |   | 2050   | 2100       | 1,5 °C  | 2 °C                                     | 3 °C                        | 4 °C     |
| <430   | Los niveles por debajo de las 430 ppm CO <sub>2</sub> -eq solo se han analizado en un escaso número de estudios de modelos <sup>i</sup> |   |  |            |   |  |                             |          |
| 450 (430 a 480)  | Rango total <sup>a,g</sup>  | RCP2,6                                    | -72 a -41  | -118 a -78 | Más improbable que probable   | Probable                                 | Probable                    | Probable |
| 500 (480 a 530)  | Sin sobrepaso de 530 ppm CO <sub>2</sub> -eq  |   | -57 a -42  | -107 a -73 | Improbable  | Más probable que improbable              |                             |          |
|  | Sobrepaso de 530 ppm CO <sub>2</sub> -eq  |   | -55 a -25  | -114 a -90 |   | Tan probable como improbable             |                             |          |
| 550 (530 a 580)  | Sin sobrepaso de 580 ppm CO <sub>2</sub> -eq  |   | -47 a -19  | -81 a -59  |   | Más improbable que probable <sup>i</sup> |                             |          |
|  | Sobrepaso de 580 ppm CO <sub>2</sub> -eq  |   | -16 a 7  | -183 a -86 |   |  |                             |          |
| (580 a 650)  | Rango total   | RCP4,5                                    | -38 a 24   | -134 a -50 | Improbable  | Más probable que improbable              |                             |          |
| (650 a 720)  | Rango total   |   | -11 a 17   | -54 a -21  |   | Más improbable que probable              |                             |          |
| (720 a 1000) <sup>b</sup>  | Rango total   | RCP6,0                                    | 18 a 54  | -7 a 72    | Improbable <sup>h</sup>   | Improbable <sup>h</sup>                  | Más improbable que probable |          |
| >1000 <sup>b</sup>   | Rango total   | RCP8,5                                    | 52 a 95  | 74 a 178   | Improbable <sup>h</sup>   | Improbable                               | Más improbable que probable |          |

Font: IPCC (2014). Cambio climático 2014. Informe de síntesis.

D'acord amb les projeccions, l'informe de l'IPCC determina que el continent europeu es veurà afectat de manera diferent segons cada context regional i les seves peculiaritats, tot i que en general preveu variacions en la temperatura i en el règim de precipitacions. Més específicament a l'àmbit on es troba el SIMMB –inclòs dins la zona sud d'Europa per l'AR5–, la temperatura seguirà augmentant, a l'igual que els episodis de temperatura extrema (dies amb una temperatura molt elevada, onades de calor i nits tropicals). Per contra, la precipitació mitjana anual disminuirà, tot i l'augment dels episodis de pluja intensa; mentre que existeix una incertesa notable quant a la variabilitat en la velocitat del vent.

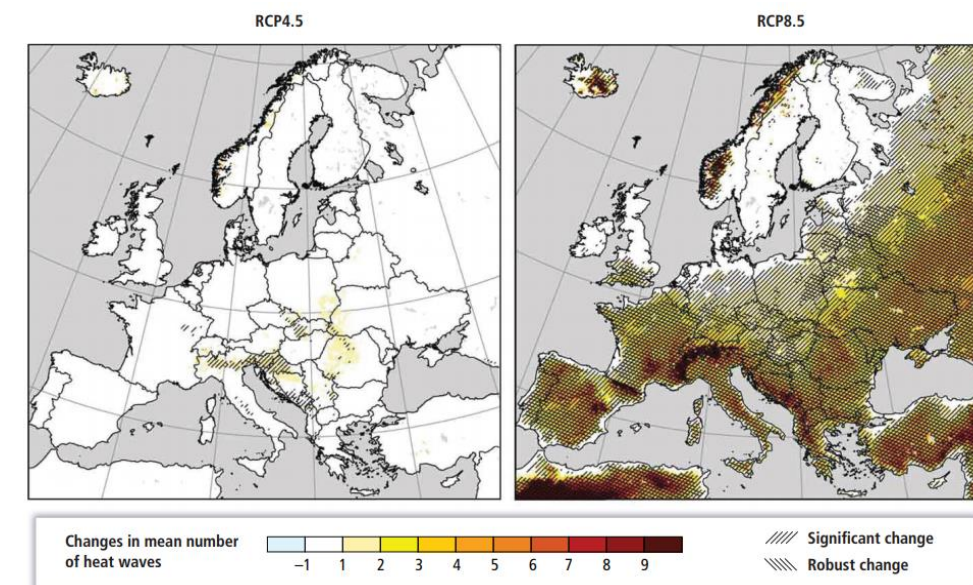
Pel que fa a l'ascens del nivell del mar, l'informe de l'IPCC indica que l'elevació del nivell mig global del mar continuarà al llarg del segle XXI i que és molt probable que s'acceleri respecte el ja observat durant el període 1971 i 2010. Pel període 2081-2100, amb relació a 1986-2005, és probable que l'elevació se situï en un rang de 0,26 a 0,55 m en l'escenari favorable (RCP2,6) i arribi a 0,45-0,82 m per l'escenari desfavorable (RCP 8,5) –amb un nivell de confiança mig–. Amb tot l'elevació del nivell del mar no serà uniforme arreu. És molt probable que, per a finals del segle XXI el nivell del mar s'incrementi en més del 95% de les zones oceàniques i que a l'entorn d'un 70% de les costes d'arreu del món experimentin un canvi de nivell del mar en un interval de ±20% respecte la mitjana global. Les previsions regionalitzades per Europa presenten un nivell d'incertesa més elevat.

Figura 1.4. Variacions (%) en les precipitacions a Europa pel període 2071-2100 en comparació amb el 1971-2000 segons els escenaris RCP4,5 i RCP8,5 entre els mesos de juny i agost (ambdós inclosos).



Font: IPCC (2014). Climate change 2014. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects.

Figura 1.5. Variacions (%) en el nombre d'onades de calor a Europa pel període 2071-2100 en comparació amb el 1971-2000 segons els escenaris RCP4,5 i RCP8,5 entre els mesos de maig i setembre (ambdós inclosos).



Font: IPCC (2014). Climate change 2014. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects.



Els riscos i impactes associats a la variació de cada fenomen climàtic depenen de les característiques del propi fenomen i a d'altres factors, inclosos el context regional i el grau d'implementació de mesures d'adaptació i mitigació. A la següent taula es mostren els principals riscos i les dificultats i perspectives d'adaptació en funció dels diferents factors climàtics.

Taula 1.3. Riscos clau derivats del canvi climàtic i el seu potencial de reducció mitjançant mesures d'adaptació.

| Europe  |   |                  |  |                                 |
|---|---|------------------|--|---------------------------------|
| Key risk  | Adaptation issues & prospects   | Climatic drivers | Timeframe  | Risk & potential for adaptation |
| Increased economic losses and people affected by flooding in river basins and coasts, driven by increasing urbanization, increasing sea levels, coastal erosion, and peak river discharges (high confidence)<br>[23.2-3, 23.7]  | Adaptation can prevent most of the projected damages (high confidence).<br>• Significant experience in hard flood-protection technologies and increasing experience with restoring wetlands<br>• High costs for increasing flood protection<br>• Potential barriers to implementation: demand for land in Europe and environmental and landscape concerns |                  | Present<br>Near term (2030-2040)<br>Long term 2°C (2080-2100)<br>4°C | Very low Medium Very high       |
| Increased water restrictions. Significant reduction in water availability from river abstraction and from groundwater resources, combined with increased water demand (e.g., for irrigation, energy and industry, domestic use) and with reduced water drainage and runoff as a result of increased evaporative demand, particularly in southern Europe (high confidence)<br>[23.4, 23.7] | • Proven adaptation potential from adoption of more water-efficient technologies and of water-saving strategies (e.g., for irrigation, crop species, land cover, industries, domestic use)<br>• Implementation of best practices and governance instruments in river basin management plans and integrated water management                               |                  | Present<br>Near term (2030-2040)<br>Long term 2°C (2080-2100)<br>4°C | Very low Medium Very high       |
| Increased economic losses and people affected by extreme heat events: impacts on health and well-being, labor productivity, crop production, air quality, and increasing risk of wildfires in southern Europe and in Russian boreal region (medium confidence)<br>[23.3-7, Table 23-1]  | • Implementation of warning systems<br>• Adaptation of dwellings and workplaces and of transport and energy infrastructure<br>• Reductions in emissions to improve air quality<br>• Improved wildfire management<br>• Development of insurance products against weather-related yield variations  |                  | Present<br>Near term (2030-2040)<br>Long term 2°C (2080-2100)<br>4°C | Very low Medium Very high       |
| <b>Climate-related drivers of impacts</b><br>   |   |                  | <b>Level of risk &amp; potential for adaptation</b><br>              |                                 |

Font: IPCC (2014). *Climate change 2014. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects.*

Per tal de reduir aquests impactes, l'IPCC indica que la innovació i les inversions en infraestructura i tecnologies ambientalment racionals han de contribuir a millorar les capacitats de mitigació i d'adaptació.

Segons l'AR5, les mesures d'adaptació (i també de mitigació) es van incorporant amb els anys als processos de planificació i, alguns governs, ja estan desenvolupant plans i polítiques d'adaptació (vegeu Annex 2. *Benchmarking de plans i estratègies d'adaptació*) i integrant les consideracions del canvi climàtic en plans de desenvolupament més amplis, malgrat que les emissions de GEH segueixen augmentant. Amb tot, diversos factors limiten l'aplicació de mesures d'adaptació, tal i com s'exposa a la taula següent.

Taula 1.4. Factors limitants a l'aplicació de mesures d'adaptació.

| Factor limitante  | Posibles implicaciones para la adaptación  |
|---|--|
| <b>Externalidades adversas del crecimiento demográfico y la urbanización</b>                  | Aumento de la exposición de las poblaciones humanas a la variabilidad del clima y al cambio climático, así como la demanda de recursos naturales y servicios ambientales, y las presiones sobre estos (GTII 16.3.2.3, recuadro 16-3) |
| <b>Déficits de conocimientos, educación y capital humano</b>                                  | Reducción de las percepciones nacionales, institucionales e individuales de los riesgos que conlleva el cambio climático, así como de los costos y los beneficios de las diferentes opciones de adaptación (GTII 16.3.2.1)           |
| <b>Divergencias en las actitudes, los valores y los comportamientos sociales y culturales</b> | Reducción del consenso social respecto de los riesgos climáticos y, por lo tanto, la demanda de políticas y medidas de adaptación específicas (GTII 16.3.2.7)  |
| <b>Problemas relacionados con arreglos institucionales y de gobernanza</b>                    | Reducción de la capacidad de coordinar las políticas y las medidas de adaptación y fomento de la capacidad de los agentes para planificar y aplicar la adaptación (GTII 16.3.2.8)  |
| <b>Falta de acceso a financiación nacional e internacional en relación con el clima</b>       | Reducción de la escala de la inversión en políticas y medidas de adaptación y, por lo tanto, la eficacia de las mismas (GTII 16.3.2.5)   |
| <b>Tecnología inadecuada</b>  | Reducción de la gama de opciones de adaptación disponibles, así como su eficacia, para reducir o evitar el riesgo de aumento de los índices o las magnitudes del cambio climático (GTII 16.3.2.1)                                    |
| <b>Calidad y/o cantidad insuficiente de recursos naturales</b>                                | Reducción del límite de tolerancia de los agentes, la vulnerabilidad a los factores no climáticos y la competencia potencial por los recursos que aumenta la vulnerabilidad (GTII 16.3.2.3)  |
| <b>Déficits de adaptación y desarrollo</b>  | Aumento de la vulnerabilidad a la variabilidad actual del clima, así como al cambio climático futuro (GTII RT A-1, cuadro RT 5.16.3.2.4)   |
| <b>Desigualdad</b>  | Traslado de los impactos del cambio climático y la carga de la adaptación a los más vulnerables de manera desproporcionada y/o su transferencia a las generaciones futuras (GTII RT B-2, recuadro RT 4, recuadro 13-1, 16.7)         |

Font: IPCC (2014). *Cambio climático 2014. Informe de síntesis.*

L'eficàcia d'aquestes mesures, a més, està condicionada per les inèrcies del desenvolupament econòmic mundial i regional, les emissions de GEH, el consum de recursos, les infraestructures existents, l'evolució demogràfica, la població, el comportament institucional i la tecnologia. Per contrarestar aquests condicionants cal millorar la coordinació en totes les escales de governança, inclosa la cooperació internacional. De fet, la cooperació internacional ha contribuït a facilitar la creació d'estratègies, plans i mesures d'adaptació a nivell nacional, subnacional i local.

Pel que fa a les infraestructures de mobilitat, l'AR5 estableix que l'impacte del canvi climàtic dependrà de la zona geogràfica on es trobi la infraestructura en qüestió, com es pot observar a la taula següent:

Taula 1.5. Impactes que s'espera que afectin a la vulnerabilitat de les infraestructures de transport segons la zona geogràfica. El clima mediterrani forma part de la zona temperada.

| Zona geogràfica | Impactes  |
|-----------------|---|
| Zona temperada  | Intensitat de la precipitació, inundacions, precipitació màxima diària, augment del nivell del mar i tempestes (costaneres) |
| Zona tropical   | Intensitat de la precipitació, inundacions, precipitació màxima diària, augment del nivell del mar i tempestes (costaners)  |
| Zona freda      | Cicles de gelada i desgel, precipitacions, inundacions, augment del nivell del mar i tempestes (costaneres)                 |

Font: elaboració pròpia a partir d'IPCC (2014). *Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.*

Els darrers anys, s'han estudiat una sèrie de mesures d'adaptació per tipus d'infraestructura, des de la proposta d'estratègies tècniques i polítiques, fins a canvis en les especificacions de disseny en construccions noves i existents. No obstant, segons l'IPCC, s'ha de tenir en compte que, als danys estructurals causats per les inundacions, les pluges abundants i les temperatures extremes, entre d'altres fenòmens, s'hi han d'afegir els efectes indirectes, tals com el tall del servei i els retards en els sistemes de mobilitat, o la major incidència a patir accidents de trànsit, per exemple, a causa d'una reducció de la visibilitat durant períodes d'alta intensitat pluviomètrica.

Més informació:

[https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-PartA\\_FINAL.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf)

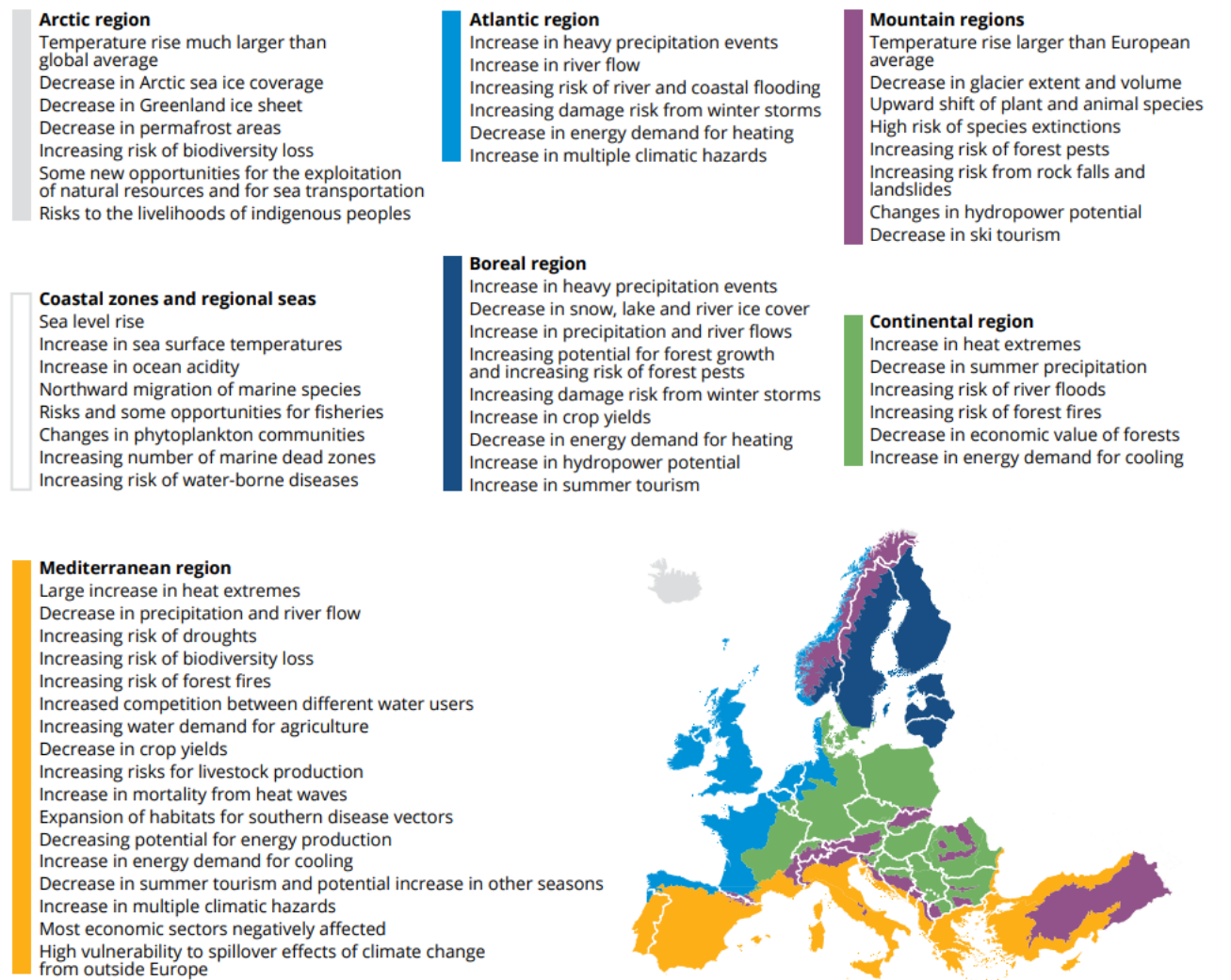
[https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-PartB\\_FINAL.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf)

## 1.2. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report (2016)

El document, publicat el 2016 per l'EEA, és una avaluació basada en indicadors de canvi climàtic passat i previst, així com un estudi dels seus impactes, riscos i vulnerabilitats sobre els ecosistemes i la societat al continent europeu. També estudia la capacitat d'adaptació de la societat en funció del desenvolupament de polítiques per sectors. L'informe del 2016 correspon a la quarta edició del document, que té una periodicitat d'actualització quadriennal.

La informació es presenta segregada per set regions biogeogràfiques: l'àrtica, l'atlàntica, la boreal, les zones costaneres i marítimes, la continental, la mediterrània i la muntanyosa. La regió mediterrània – en la qual s'inclou l'àmbit SIMMB i, per tant, centrà l'anàlisi d'aquest apartat – és la que presenta un nombre superior d'impactes en comparació amb les altres regions, especialment relacionats amb l'augment de la temperatura i la disminució de la precipitació.

Figura 1.6. Principals impactes observats i projectats sobre el canvi climàtic a les principals regions biogeogràfiques d'Europa.



Font: EEA (2016). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report.*

D'acord amb l'EEA, la regió mediterrània ja ha experimentat un augment de la temperatura d'1,5 °C al llarg del període 2006-2015 respecte els valors de l'època preindustrial, i onades de calor extremes, durant els estius dels anys 2003, 2006, 2007, 2010, 2014 i 2015, que se segueixen constatant més enllà de la data de publicació de l'informe. El règim de precipitació també ha variat des de la dècada de 1960: ha disminuït al sud d'Europa, mentre que al nord ha augmentat.

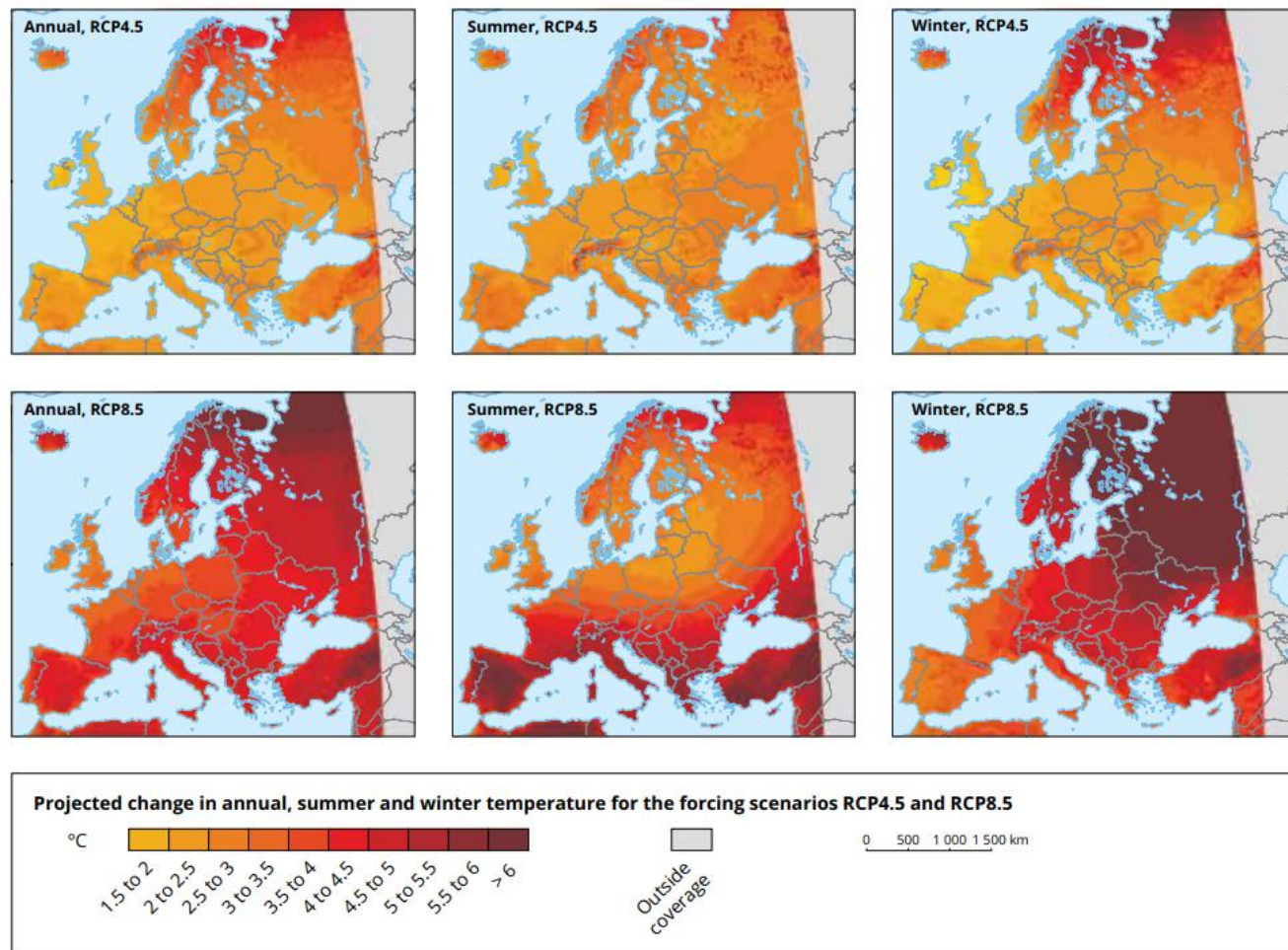
Mitjançant l'eina europea *Copernicus Climate Change Service (C3S)*, que, al seu torn, es basa en models de projeccions climàtiques i observacions *in situ* i de satèl·lit, s'han obtingut projeccions de diferents paràmetres climàtics.



### Temperatura

L'increment de temperatura a Europa, sobretot al nord-est i a Escandinàvia a l'hivern i al sud a l'estiu, s'espera que sigui més alt que la mitjana de la resta del món. En concret, es preveu un augment d'entre 1 i 4,5 °C considerant l'escenari RCP4,5, i d'entre 2,5 i 5,5 °C si es considera el RCP8,5 pel període 2071-2100 en comparació amb el 1971-2000.

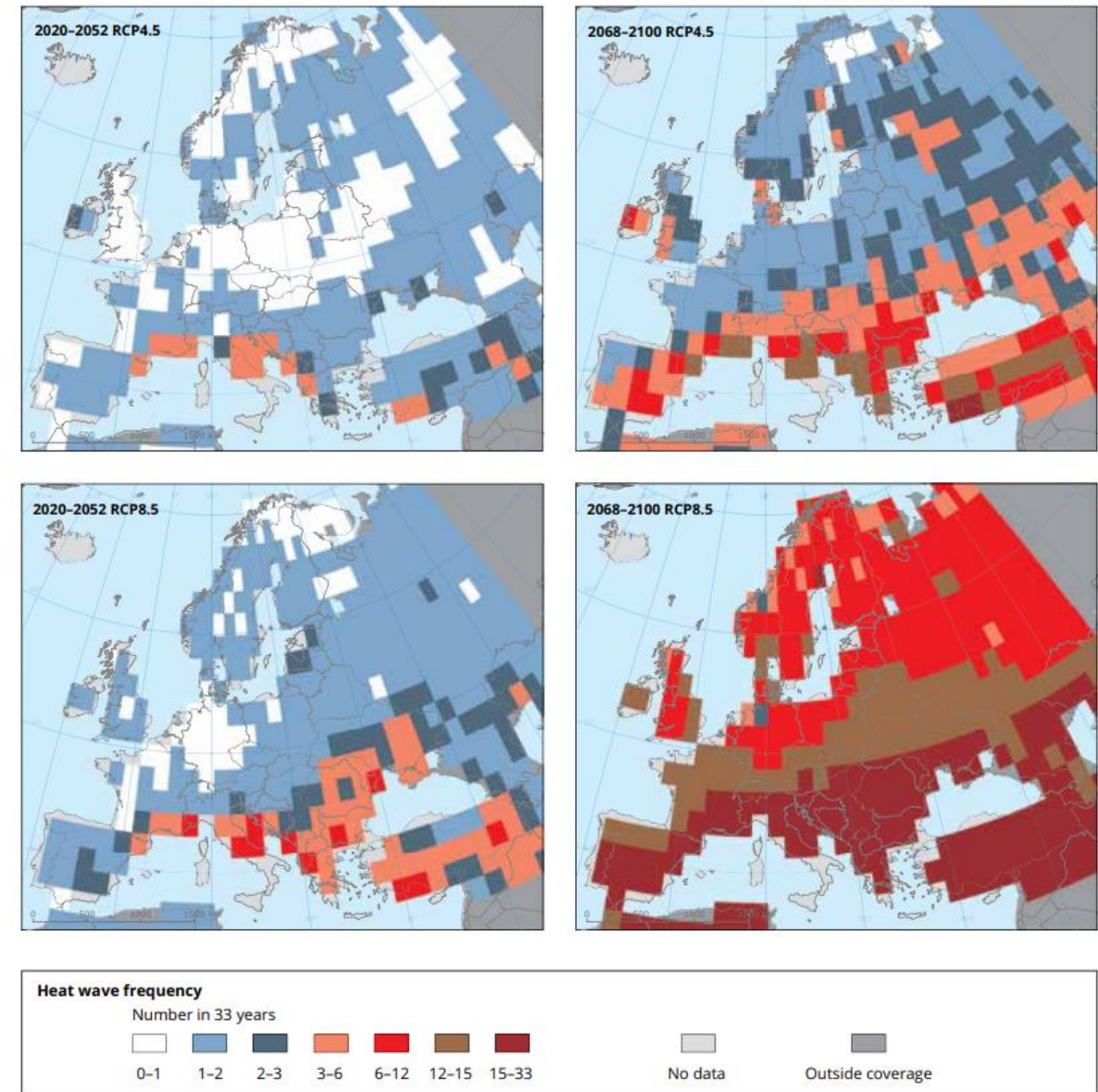
Figura 1.7. Variacions projectades de la temperatura mitjana anual, estival i hivernal pel període 2071-2100 en comparació amb el 1971-2000 per als escenaris climàtics RCP4,5 i RCP8,5.



Font: EEA (2016). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report.*

D'altra banda, es preveu que els períodes d'onada de calor siguin més freqüents i prolongats, especialment al sud i al sud-est d'Europa. Els efectes més significatius es percebran a les conques fluvials de baixa altitud del sud d'Europa i a les zones costaneres mediterrànies, on es troben molts nuclis urbans densament poblats.

Figura 1.8. Freqüència d'onades de calor molt extremes pels períodes 2020-2052 i 2068-2100 per als escenaris climàtics RCP4,5 i RCP8,5.



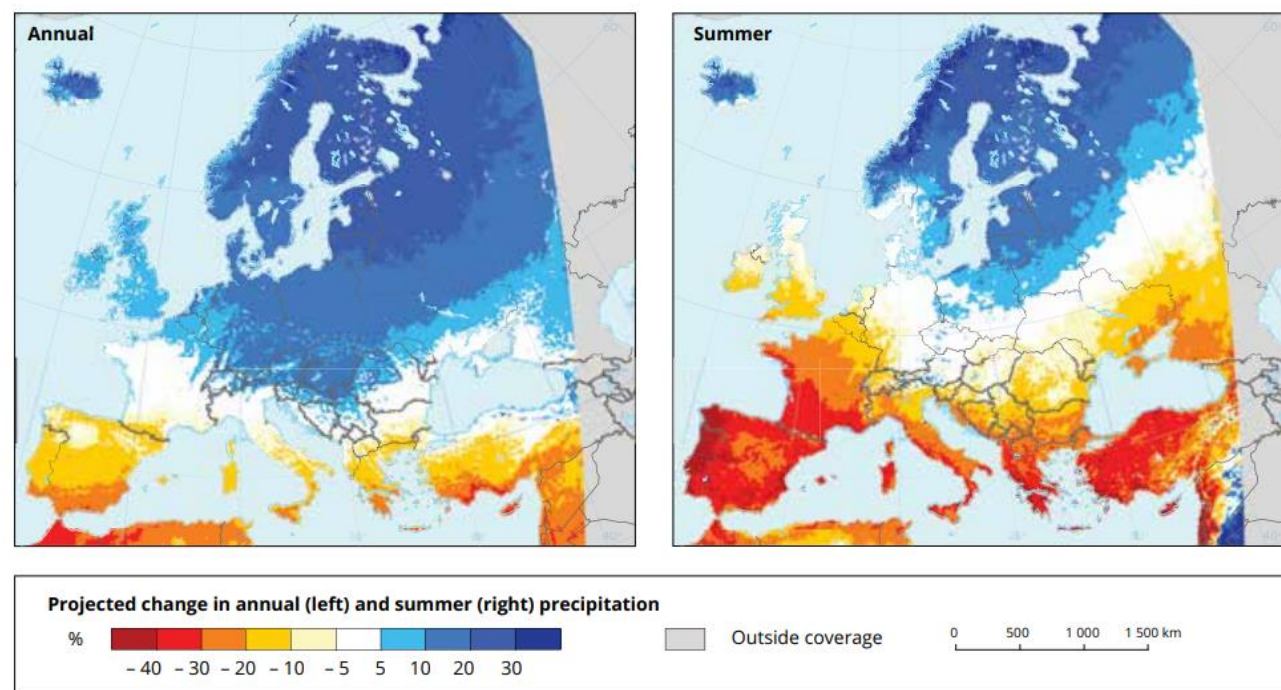
Font: EEA (2016). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report.*



## Precipitació

La precipitació a Europa s'espera que continuï disminuint al sud d'Europa fins a un 40% i que, per contra, augmenti al centre i nord un 30% tenint en compte l'escenari més pessimista. La magnitud de variació es preveu menor considerant el RCP4,5, tot i que s'espera que segueixi el mateix patró.

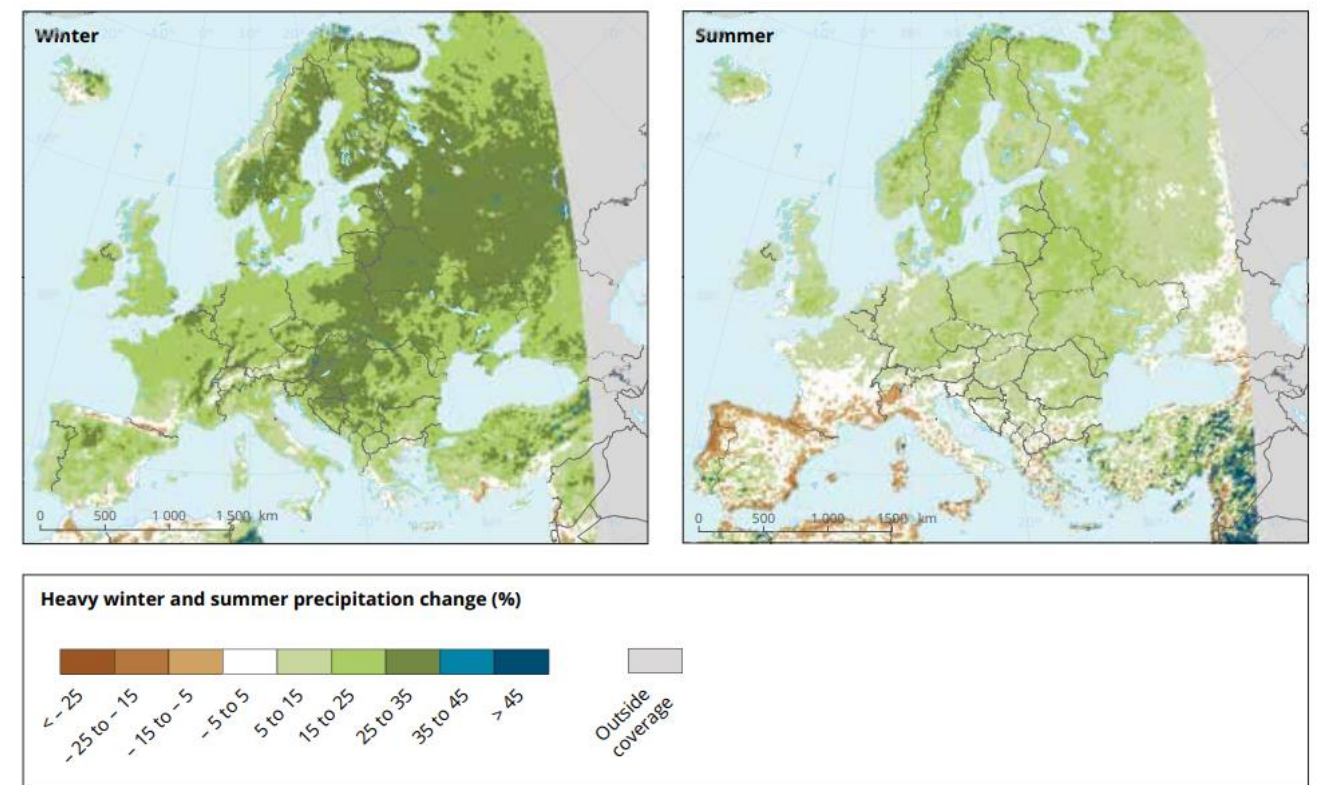
Figura 1.9. Variació en la precipitació mitjana anual i estival pel període 2071-2100 en comparació amb el 1971-2000 per als escenaris climàtics RCP4,5 i RCP8,5.



Font: EEA (2016). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report.*

Pel que fa als episodis de precipitació abundants, s'espera que siguin més freqüents a la majoria del continent, especialment a Escandinàvia i a l'est d'Europa a l'hivern, amb increments de fins a un 30%.

Figura 1.10. Variació en els episodis de precipitació abundant durant l'hivern i l'estiu pel període 2071-2100 en comparació amb el 1971-2000 per als escenaris climàtics RCP4,5 i RCP8,5.



Font: EEA (2016). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report.*

## Temporals de vent

Els diversos estudis de modelització a Europa mostren resultats divergents sobre els canvis en el nombre de temporals de vent, tot i que generalment coincideixen en l'increment dels episodis de tempesta forta, que poden causar un impacte a la majoria de les regions europees, sobretot a l'hivern però també a la tardor, i en particular a l'Atlàntic nord i el nord, nord-oest i centre d'Europa.

## Calamarsa

Les prediccions de calamarsades tenen associades, en general, un elevat grau d'incertesa perquè les tempestes de calamarsa a petita escala no es poden representar directament en els models climàtics globals i regionals. Amb tot, els estudis basats en models per a Europa central demostren un augment de la freqüència en aquesta regió.

Tenint en compte les prediccions en les condicions climàtiques del continent, és d'esperar que els impactes sobre les infraestructures i el servei de mobilitat variïn en funció de la regió d'Europa considerada. En el cas de Catalunya i altres regions del sud-est d'Europa, els principals riscos vindran donats per les onades de calor, les precipitacions abundants i les inundacions, a diferència de regions més nòrdiques, les quals estaran afectades per les onades de fred. A més, aquests impactes variaran en funció del mitjà de transport. A la taula següent, es mostra un resum dels impactes potencials de fenòmens climàtics extrems sobre diversos modes de transport (carretera, ferrocarril, fluvial-marítima i aèria).

D'acord amb l'informe de l'EEA, el servei ferroviari es considera especialment vulnerable com a conseqüència de la seva gran exposició als fenòmens climàtics, especialment de la pluja. A més, es tracta d'un transport amb baixa disponibilitat de rutes alternatives, de manera que una interrupció o incidència al servei pot causar alteracions importants en la mobilitat.

Més informació:

<https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>

Taula 1.6. Vulnerabilitats dels transports als esdeveniments climàtics adversos.

| Extreme weather event   | Impacts on transport modes  |  |   |  |
|---|---|--|---|--|
|   | Road  | Rail   | Water-borne   | Aviation   |
| Heat waves  | Damage to pavements<br>Vehicle failure (tyres)<br>Forest fires<br>Fatigue of drivers  | Rail buckling<br>Material fatigue<br>Increased instability of embankments<br>Overheating of equipment<br>Forest fires causing damage to infrastructure | Low river flow (due to drought), imposing restrictions on loading capacity, navigation problems and speed reduction   | Damage to runway pavement<br>Forest fires reducing visibility<br>Take-off weight limitations   |
| Cold spells   | Reduced surface friction<br>Road maintenance<br>Technical failure of vehicles and infrastructure<br>Deterioration of pavement | Ice on trains and catenary   | Warm and early winters followed by a rapid decrease in air temperature may result in rougher ice cover formation and lead to ice jams and damage to navigation signs and infrastructure | Reduced runway friction<br>Runway maintenance<br>Deterioration of pavement<br>Technical failure of vehicles and infrastructure<br>Icing of aircraft  |
| Heavy precipitation (large-scale systems)                                 | Reduced visibility and surface friction<br>Floods and landslides  | Flooding and landslides damaging infrastructure<br>Scour to structures<br>Increased instability of embankments   | High river flows, resulting in problems for passage of bridges, dike instability (speed limitations) and restrictions to the height of vessels  | Reduced visibility and runway friction<br>Floods<br>Reduction in airport throughput<br>Runway clearance  |
| Snowfall  | Reduced visibility and surface friction<br>Obstacles on roads owing to snowdrift and broken branches                          |  |   | Reduced visibility and runway friction<br>Snowdrift<br>Runway maintenance<br>Icing of aircraft<br>Ground operations affected   |
| Large-scale storms and winds  | Difficult driving conditions due to gusts<br>Obstacles on the road owing to fallen trees and other objects                    | Damage to infrastructure such as signals, catenary, etc. (e.g. owing to falling trees)   | Severe storms and extreme waves may affect maritime navigation  | Increased turbulence with strong wind gusts<br>Obstacles on the runways<br>Safety risks for ground operations<br>Safety regulations (wind threshold may lead to runway closure)<br>Disruption to operations  |
| Thunderstorms (strong wind gusts, lightning, intense precipitation, hail) | Reduced visibility and surface friction<br>Obstacles on roads<br>Failures in transport control systems                        | Reduced visibility and surface friction<br>Obstacles on tracks<br>Failures in transport control systems  | Extreme storm events may lead to devastation of port infrastructure and disruption of traffic flows at ports  | Reduced visibility and runway friction<br>Obstacles on runways<br>Failures in control systems<br>Increased turbulence<br>Safety risks for ground operations<br>Damage to aircraft and equipment<br>Safety regulations (lightning strike may lead to airport closure)<br>Disruption to operations |
| Blizzards (strong wind gusts, intense snowfall)                           | Reduced visibility and surface friction<br>Obstacles on roads<br>Failures in transport control systems                        |  |   | Reduced visibility and runway friction<br>Obstacles on runways<br>Runway maintenance<br>Increased turbulence<br>Safety risks for ground operations<br>Safety regulations (wind threshold may lead to runway closure)<br>Disruption to operations   |
| Fog   | Reduced visibility  |  |   | Reduced visibility   |

Font: EEA (2016). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report.*



### 1.3. Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya (2016)

El tercer informe del canvi climàtic a Catalunya (TICCC) es va publicar el 2017. Amb una periodicitat d'uns 5-6 anys –el dos primers informes es van publicar el 2005 i el 2010–, aquests informes analitzen l'estat del clima a Catalunya i la seva evolució recent i futura. En concret, el TICCC està impulsat pel Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS), l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, el Servei Meteorològic de Catalunya i l'Institut d'Estudis Catalans, amb la col·laboració del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC). A més, compta amb la participació de més de 140 autors i 40 revisors, tots ells científics i experts tècnics rellevants en la matèria procedents dels principals centres de recerca i universitats de Catalunya.

Pel que fa al contingut, el TICCC està estructurat en quatre grans parts:

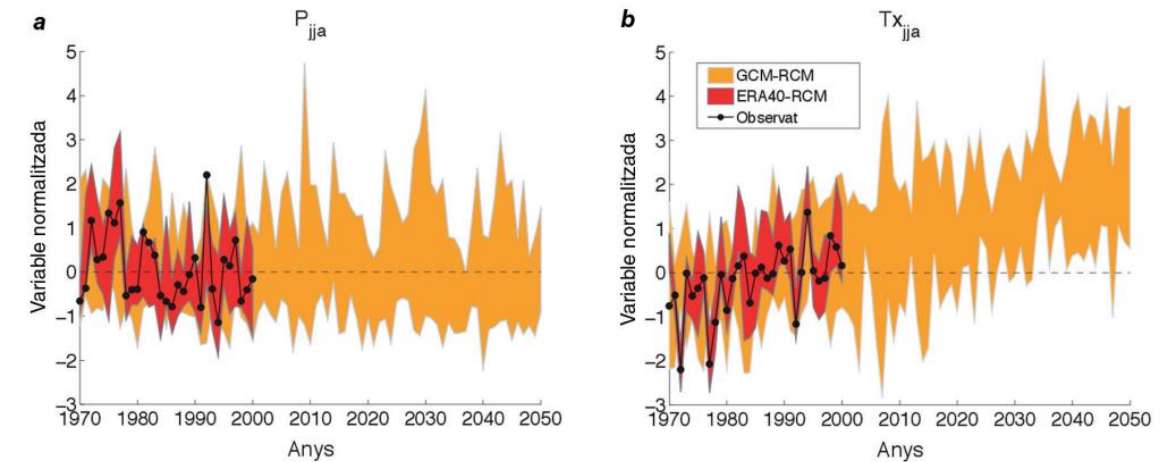
- 1. Anàlisi de les bases científiques del canvi climàtic.** Es descriu el consens científic sobre l'escalfament del planeta, l'evolució recent de les emissions de gasos que el provoquen i les mesures per a pal·liar-ne els efectes. També s'expliquen els sistemes naturals que ajuden a segrestar més quantitat de carboni, s'exposen les variacions del clima a Catalunya des del 1950 i s'analitza l'evolució climàtica durant la primera meitat del segle XXI.
- 2. Sistemes naturals: impactes, vulnerabilitat i adaptació.** S'aprofundeix en els riscos climàtics i els impactes sobre els recursos hídrics, el litoral i els ecosistemes tant terrestres com aquàtics i marins, tot atenent, també, a les particularitats dels sòls.
- 3. Sistemes humans: impactes, vulnerabilitat, adaptació i mitigació.** Es presenten els impactes, la vulnerabilitat i les propostes d'adaptació i mitigació del canvi climàtic en diversos àmbits i sistemes humans de Catalunya (l'agricultura, la ramaderia i la pesca; l'energètic; l'industrial; el turístic; la salut; els residus i els recursos; el transport, la mobilitat i la logística; el territori i l'espai urbà, i la interacció entre els sistemes naturals i els humans a les zones d'alta muntanya).
- 4. Governança i gestió del canvi climàtic.** S'aborden les polítiques i els instruments necessaris, la importància de l'opinió pública, l'estat de la recerca a Catalunya i el procés des de la signatura del Protocol de Kyoto fins a la Cimera de París.

Quant a les referències en matèria de transport i mobilitat de la part 3 de l'informe, es fa molt d'èmfasi en les emissions de GEH associades a aquest sector. Si bé és cert que les emissions s'han reduït a Catalunya en un 20% respecte l'any 2005 durant el quinquenni 2010-2015, el nombre de desplaçaments es manté elevat, majoritàriament a l'àrea metropolitana de Barcelona.

Per tal de reduir les emissions, el TICCC estableix com a necessari fomentar un canvi de les tecnologies de mobilitat i dels models d'ús dels serveis de mobilitat actuals. D'aquesta manera, proposa una sèrie de recomanacions a implementar amb l'objectiu principal de reduir les emissions. Per tant, les mesures exposades a l'informe estan orientades a la mitigació i no pas a l'adaptació.

La implementació de mesures d'adaptació al canvi climàtic a Catalunya és una necessitat atès que les conseqüències del fenomen ja són evidents al territori (vegeu 3. *Clima actual i tendències recents*), tal com estableix el TICCC. Per exemple, s'ha registrat un augment de la temperatura de l'aire mitjana a Catalunya de 0,23 °C durant el període 1950-2014, especialment a l'estiu (+0,33 °C). No obstant, l'augment previst de la temperatura mitjana a Catalunya per al període 2031-2050, respecte del període de referència 1971-2000, és d'1,4 °C. L'estiu és l'estació on es preveu un augment més gran de la temperatura, concretament d'entre 0,60 °C/decenni i 0,80 °C/decenni de mitjana.

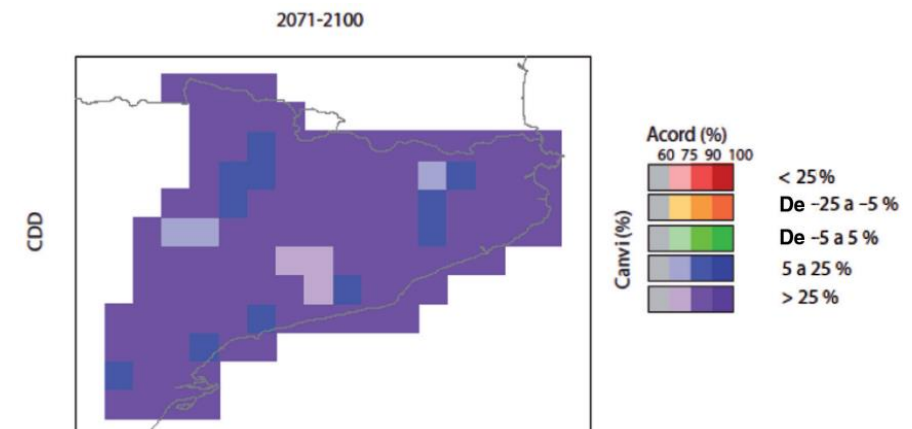
Figura 1.11. Evolució projectada de la precipitació (a) i la temperatura màxima estival (b) de Catalunya, normalitzades respecte al període 1970-2000.



Font: TICCC (2016).

La tendència d'augment o disminució de la precipitació mitjana a Catalunya, a l'igual que les previsions futures, no són tan evidents com les variacions en la temperatura, especialment per l'elevada variabilitat espacial i temporal d'aquest factor (vegeu Figura 1.11). La principal hipòtesi futura, però, contempla un augment de la torrencialitat de la pluja, amb menys episodis però més intensos. D'aquesta manera, també s'espera un increment en la durada de les ratxes seques, a excepció de l'hivern.

Figura 1.12. Projeccions futures de l'índex de dies de ratxes seques (CDD) per al període 2071-2100. S'indica el percentatge de canvi respecte a l'escenari base (1971-2000).



Font: TICCC (2016).

Més informació:

[http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER\\_INFORME\\_CANVI\\_CLIMATIC\\_web.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER_INFORME_CANVI_CLIMATIC_web.pdf)

## 2. El sistema de mobilitat en els plans i estratègies d'adaptació que incideixen sobre l'àmbit SIMMB

En l'actualitat, existeixen una sèrie d'estratègies i plans d'adaptació al canvi climàtic a diferents escales territorials i competencials –europea, espanyola, catalana, metropolitana i municipal– que incideixen sobre l'àmbit SIMMB. Cada un dels documents es caracteritza per un enfocament i un horitzó diferents. A continuació, s'analitzen pel que fa als seus continguts en relació amb el sistema de mobilitat.

### 2.1. Estratègia d'adaptació al canvi climàtic de la UE 2013-2020

Aquesta Estratègia té com a finalitat fer d'Europa un continent més resistent als efectes del canvi climàtic, tot millorant la capacitat de resposta a diferents nivells (local, regional, nacional i de la UE) des d'un plantejament coherent i coordinat.

Per tal d'assolir-ho, planteja tres grans objectius a complir acompanyats d'una sèrie d'accions a executar. Aquests objectius són:

- Donar suport a tots els Estats membres de la UE en l'elaboració d'estratègies d'adaptació al canvi climàtic.
- Adoptar decisions amb millor coneixement de causa. S'estableix que disposar d'una base de coneixement sòlida és important per impulsar la innovació i recerca en matèria de canvi climàtic, temàtica inclosa en el Programa marc de recerca i innovació de la UE Horizon 2020.
- Integrar les mesures d'adaptació en els diferents programes i polítiques de la UE per tal de desenvolupar accions per reduir els efectes del canvi climàtic, especialment dels sectors més vulnerables.

Aquest últim objectiu proposa com a actuació, entre d'altres, garantir l'existència d'infraestructures més resistents al clima, incloent les de transport i les energètiques entre d'altres. S'afegeix que les infraestructures presents i futures han de resistir els efectes del canvi climàtic. Per això, les tasques que es realitzin conjuntament amb les organitzacions de normalització, les institucions financeres i els gestors de projectes hauran d'analitzar en quina mesura cal intensificar les normatives, les especificacions tècniques, els codis i les disposicions de seguretat aplicables a les infraestructures físiques per fer front a situacions extremes i a altres condicions climàtiques.

No obstant, a l'Estratègia no es concreten quines són les actuacions o els àmbits prioritaris ja que no tots els països de la UE estan exposats als mateixos riscos climàtics com a conseqüència de les diferents condicions climàtiques, geogràfiques i socioeconòmiques existents al continent.

Més informació:

<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0216:FIN:ES:PDF>

### 2.2. Pla nacional d'adaptació al canvi climàtic (2006)

El Pla nacional d'adaptació al Canvi Climàtic (PNACC), d'abast estatal, va ser elaborat per l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic (OECC) el 2006 i té com a objectiu integrar les mesures d'adaptació al canvi climàtic basades en el millor coneixement disponible de les polítiques sectorials i de gestió dels elements vulnerables al canvi climàtic, per contribuir al desenvolupament sostenible.

Entre les mesures, activitats i línies de treball previstes per a les avaluacions d'impactes, vulnerabilitat i adaptació relatives al sector transport, cal destacar l'elaboració de cartografia dels impactes previstos per als sectors terrestre, aeri i marítim, relatius a les infraestructures, i a les operacions i seguretat dels transports. Aquesta mesura ve donada per la previsible necessitat de fer modificacions en les infraestructures com a conseqüència del futur increment en la freqüència i intensitat de certs fenòmens climàtics.

El PNACC s'elabora a partir de programes de treball, el primer dels quals va ser desenvolupat el 2006, coincidint amb la data d'aprovació del Pla. L'últim programa de treball, el tercer, va aprovar-se el 2013 i té un horitzó 2014-2020. En aquest programa, s'estableixen els següents àmbits de treball amb incidència sobre la mobilitat:

- Desenvolupament de sistemes d'informació sobre fenòmens adversos associats al canvi climàtic que afecten cada mitjà de transport, incloent la revisió dels sistemes d'alerta primerenca de fenòmens que per efecte del canvi climàtic augmentaran en intensitat i freqüència.
- Revisió dels plans de contingència i procediments d'emergència per integrar la dimensió del canvi climàtic.
- Desenvolupament de projectes d'avaluació d'impactes, vulnerabilitat i adaptació al canvi climàtic en aquelles infraestructures que previsiblement es veuran més afectades pel canvi climàtic, incloent la component d'anàlisi de costos i beneficis dels impactes i l'adaptació.
- Desenvolupament d'una guia metodològica per a la integració de l'adaptació al canvi climàtic en l'estratègia empresarial espanyola del sector transport. Aplicació en empreses pilot.
- Revisió de les normes tècniques de recomanacions de disseny, estàndards, protocols de prevenció, manteniment i vigilància, etc., per cada mitjà de transport.
- Desenvolupament d'indicadors de canvi climàtic en el sector.
- Desenvolupament de línies de recerca en el camp de nous materials de construcció i components de les infraestructures de transport que minimitzin els impactes del canvi climàtic.

El seguiment del desenvolupament del PNACC es realitza a través dels informes de progrés, publicats el 2008, 2011, 2014 i 2018.

En l'actualitat s'està elaborant un nou Pla nacional d'adaptació al canvi climàtic 2021-2030, del qual existeix un esborrany que s'ha sotmès a informació pública (vegeu enllaç adjunt).



Més informació:

[https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pna\\_v3\\_tcm7-12445\\_tcm30-70393.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pna_v3_tcm7-12445_tcm30-70393.pdf)

[https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/3PT-PNACC-enero-2014\\_tcm30-70397.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/3PT-PNACC-enero-2014_tcm30-70397.pdf)

<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/PNACC.aspx>

### 2.3. Estratègia catalana d'adaptació al canvi climàtic i Llei del canvi climàtic 16/2017

L'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic 2013-2020 (ESCACC), aprovada el 2012, sorgeix de la necessitat d'aproximar els riscos climàtics a escala catalana per a determinar els sectors i sistemes més vulnerables del territori als efectes del canvi climàtic. D'acord amb estudis realitzats, es determina que la mobilitat i les infraestructures de transport són un dels àmbits susceptibles a patir els efectes –tant pel que fa al transport viari, ferroviari, aeri, marítim com a les infraestructures costaneres–, juntament amb altres deu sectors com l'energètic, la gestió de l'aigua, la biodiversitat i la salut.

L'Estratègia planteja un seguit d'actuacions genèriques d'adaptació relatives al sistema de mobilitat, majoritàriament orientades a les infraestructures de transport. Aquestes propostes són:

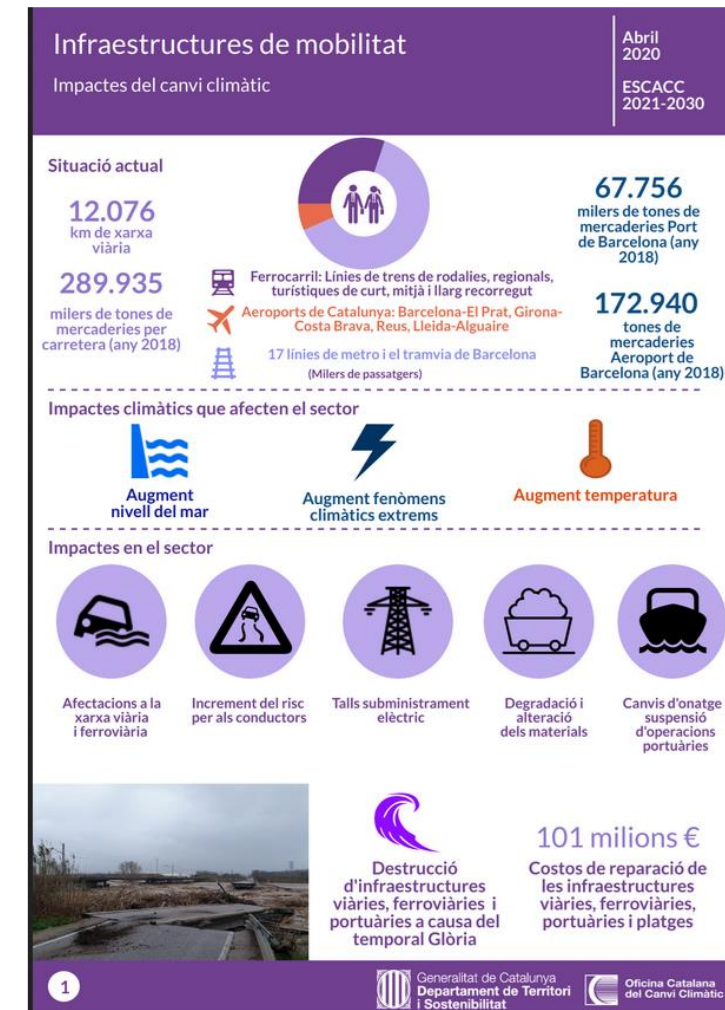
- Definir programes d'actuació específics envers situacions d'emergència en cas de fenòmens meteorològics extrems.
- Apostar per l'execució d'infraestructures ferroviàries estratègiques (per exemple, l'eix mediterrani de mercaderies).
- Impulsar el desenvolupament de les eines d'avaluació específiques per tal de conèixer quines són les infraestructures de transport de Catalunya més vulnerables.
- Incorporar el canvi climàtic i els seus possibles impactes en la futura planificació d'infraestructures de transport i en els projectes executius.
- Incorporar en el disseny d'infraestructures criteris preventius per fer front als impactes definits.
- Impulsar el desenvolupament de sistemes de monitoratge, sistemes de rescat i d'alerta.
- Fomentar la recerca i el coneixement de nous materials de la construcció d'infraestructures més resistents als fenòmens climàtics adversos.

A més, el document incorpora una sèrie de recomanacions en matèria de transport com són el reequilibri de l'actual repartiment modal propiciant mitjans de transport més sostenibles, l'impuls del transport ferroviari de rodalies pel transport de persones i el foment del Pla Estratègic per l'impuls del transport ferroviari de mercaderies (2010-2020).

L'Estratègia també defineix les entitats que han d'impulsar les diverses mesures d'adaptació: Departament d'Interior de la Generalitat de Catalunya (Direcció General de Protecció Civil), Departament de Territori i Sostenibilitat, Institut Català de Trànsit, Servei Meteorològic de Catalunya, Institut Català d'Energia, Administracions locals (Ajuntaments, Consells Comarcals, Diputacions) i Administració General de l'Estat.

Actualment l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic està treballant en l'elaboració d'una nova estratègia d'adaptació al canvi climàtic 2021-2030. En el marc d'aquest procés ha elaborat un seguit d'infografies sobre l'impacte del canvi climàtic sobre els sistemes naturals i els diferents sectors econòmics. La figura següent il·lustra els relatius a la mobilitat.

Figura 2.1. Impactes del canvi climàtic sobre la mobilitat i les infraestructures de transport.



Font: OCCC

[https://canviclimatic.gencat.cat/ca/oficina/publicacions/infografies/infografies\\_impactes\\_canvi\\_climatic/index.html](https://canviclimatic.gencat.cat/ca/oficina/publicacions/infografies/infografies_impactes_canvi_climatic/index.html)



D'altra banda, Catalunya va aprovar el 2017 la Llei 16/2017 de canvi climàtic. Entre les seves finalitats, s'inclou el reforç i l'ampliació de les estratègies i els plans que s'han elaborat durant els darrers anys, així com fer de Catalunya un referent en la investigació i aplicació de noves tecnologies, i assolir la reducció de la dependència energètica del territori sobre els recursos energètics externs.

En matèria d'adaptació, cal destacar la necessitat d'identificar els sistemes i sectors més vulnerables al canvi climàtic i la proposta de mesures per reduir aquesta vulnerabilitat. Així, els instruments de planificació i programació sectorials que s'elaborin han de tenir en compte l'avaluació sistemàtica dels impactes observats i previstos, basada en les projeccions climàtiques a nivell català per a diferents horitzons temporals, elaborades a partir de les projeccions de l'IPCC.

La Llei inclou també un article dedicat exclusivament a les infraestructures (article 21) –modificat pel Decret llei 16/2019, de mesures urgents per a l'emergència climàtica i l'impuls a les energies renovables– on s'estableixen diverses qüestions relacionades amb la mitigació i l'adaptació. A l'epígraf 2, en concret, indica que els promotors de la planificació de l'àmbit del transport i de projectes constructius de transport terrestre, entre d'altres, han d'incorporar, en el marc de l'avaluació ambiental estratègica de plans i en el marc de l'avaluació d'impacte ambiental de projectes una anàlisi de la seva vulnerabilitat davant els impactes del canvi climàtic d'acord amb el coneixement científic actual. A més, els estudis ambientals estratègics dels plans i els estudis d'impacte ambiental dels projectes han de preveure, quan així ho determini l'anàlisi de vulnerabilitat efectuat, mesures d'adaptació als impactes del canvi climàtic així com el seu seguiment i monitoratge.

L'article 24, al seu torn, dedicat al transport i a la mobilitat –i malgrat que majoritàriament tots els continguts fan referència a la mitigació (reducció de les emissions de GEH, foment del transport públic, etc.)– s'esmenta que les mesures que s'adoptin en matèria de transport i mobilitat han d'anar encaminades a reduir la vulnerabilitat al canvi climàtic.

Més informació:

[http://www.urv.cat/media/upload/arxius/catedra-desenvolupament-sostenible/reunion\\_cc/escacc.pdf](http://www.urv.cat/media/upload/arxius/catedra-desenvolupament-sostenible/reunion_cc/escacc.pdf)

[https://canvclimatic.gencat.cat/web/.content/03\\_AMBITS/Llei\\_cc/docs/Llei\\_16\\_2017\\_CC\\_CAT.pdf](https://canvclimatic.gencat.cat/web/.content/03_AMBITS/Llei_cc/docs/Llei_16_2017_CC_CAT.pdf)

<https://web.gencat.cat/ca/detalls/article/El-Govern-declara-formalment-lemergencia-climatica>

## 2.4. Pla d'adaptació al canvi climàtic de l'AMB 2015-2020 i Pla clima i energia 2030

L'Àrea Metropolitana de Barcelona ha elaborat el Pla d'Adaptació al Canvi Climàtic 2015-2020 i el Pla Clima i Energia 2030. El primer document proposa un total de 50 accions d'adaptació al canvi climàtic fruit de la identificació prèvia d'una sèrie de riscos potencials relacionats amb fenòmens climàtics i d'altres vinculats com són les sequeres, les inundacions, els temporals marins, l'increment de la intrusió salina, els incendis forestals, l'evolució d'índexs climàtics extrems i les temperatures extremes.

En relació amb la mobilitat, el Pla identifica com a risc potencial la manca de capacitat d'evacuació de l'aigua a les infraestructures de transport, circumstància que pot col·lapsar els sistemes d'evacuació de l'aigua a les rondes de Barcelona o altres infraestructures, un increment del cost d'exploació i de

les actuacions de prevenció i manteniment, la impossibilitat d'utilitzar els equips de bombament si aquests no disposen de grups electrògens de suport o la necessitat d'utilitzar grups externs de bombament equipats amb grups electrògens per evacuar l'aigua en cas de talls de subministrament, així com talls de trànsit a les zones inundades.

Per tal d'adaptar-se al risc, es proposen les següents actuacions:

- Definir programes d'actuació específics davant de situacions d'emergència en cas de fenòmens meteorològics extrems, coherents els Plans de Protecció Civil aplicables (INUNCAT, TRANSCAT, NEUCAT i ALLAUCAT).
- Completar la col·locació de grups electrògens als punts de bombeig on encara manquen, per tal de facilitar l'evacuació en situacions de tall en el subministrament elèctric.

D'altra banda, el Pla Clima i Energia 2030 és el full de ruta de l'AMB en matèria de canvi climàtic i transició energètica i en el qual es proposen una sèrie de mesures per incrementar la resiliència del territori metropolità envers els impactes del canvi climàtic. L'objectiu principal del Pla és reduir en un 43 % les emissions dels serveis prestats per l'AMB amb relació a l'any 2005 i es basa en quatre eixos d'actuació principal, els quals tenen associats una sèrie de mesures, tant d'adaptació com de mitigació i transició.

Pel que fa a mesures d'adaptació amb relació als serveis de mobilitat i les infraestructures de transport, proposa adaptar les infraestructures metropolitanes a les condicions extremes, analitzant prèviament a quins impactes estan exposades com a conseqüència del canvi climàtic. No obstant, com a mesura de transició proposa el foment d'una mobilitat sostenible i de baixes emissions a l'àmbit metropolità.

Més informació:

[http://www3.amb.cat/repositori/PUBLICACIONS/SOSTENIBILITAT/Pla\\_adaptacio.pdf](http://www3.amb.cat/repositori/PUBLICACIONS/SOSTENIBILITAT/Pla_adaptacio.pdf)

<http://www.amb.cat/web/medi-ambient/actualitat/publicacions/detall/-/publicacio/pla-clima-i-energia-2030/7155151/11818>

## 2.5. Pla clima 2030 de l'Ajuntament de Barcelona

A escala municipal dins l'àmbit SIMMB, cal destacar el Pla Clima de l'Ajuntament de Barcelona 2018-2030. El Pla Clima és el document resultant del compromís de la ciutat amb l'establert a la COP21 –la 21a Conferència de les Parts de la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic– celebrada a París l'any 2015 i en el marc del Compromís Ciutadà per la Sostenibilitat. El Pla proposa una sèrie de mesures i estratègies d'adaptació i resiliència, mitigació, justícia climàtica i impuls a l'acció ciutadana amb els objectius finals de reduir un 40% les emissions de CO<sub>2</sub> equivalent per càpita respecte als valors del 2005 i incrementar el verd urbà en 1,6 km<sup>2</sup>.

En matèria de mobilitat, s'ha establert que cal una reducció en el transport privat motoritzat del 20% i, així, fomentar un model de ciutat i de mobilitat més sostenible on el vianant esdevingui l'actor principal. Perquè això sigui possible, es proposen una sèrie d'accions. Aquestes accions, però, estan

principalment orientades a la mitigació, ja que fan referència a la reducció en les emissions derivades del sector del transport.

- A curt termini (2018-2020), per exemple, destaca el foment de la bicicleta i la progressiva electrificació de la flota municipal, però també altres accions com la consolidació permanent de les zones de baixes emissions i el model de superilla, així com posar en pràctica el ja redactat Pla de mobilitat urbana de l'Ajuntament de Barcelona.
- A mitjà i llarg terminis (fins el 2030), se segueix en la línia de reduir el nombre de vehicles, millorar l'eficiència i facilitar el transvasament cap als mitjans més sostenibles. Es proposa també elaborar plans de mobilitat sostenible a les empreses.

Altrament, el Pla estableix la necessitat d'adaptar les infraestructures de transport existents a la ciutat, alhora que es determina que es poden veure afectades en un futur, sobretot per l'augment dels riscos d'inundació o d'incendis. En conseqüència, el Pla proposa com a acció l'aprofundiment dels coneixements respecte els impactes que el canvi climàtic podria tenir sobre aquestes infraestructures.

Més informació:

[http://lameva.barcelona.cat/barcelona-pel-clima/sites/default/files/documents/pla\\_clima\\_cat\\_maig\\_ok.pdf](http://lameva.barcelona.cat/barcelona-pel-clima/sites/default/files/documents/pla_clima_cat_maig_ok.pdf)

### 3. Clima actual i tendències recents

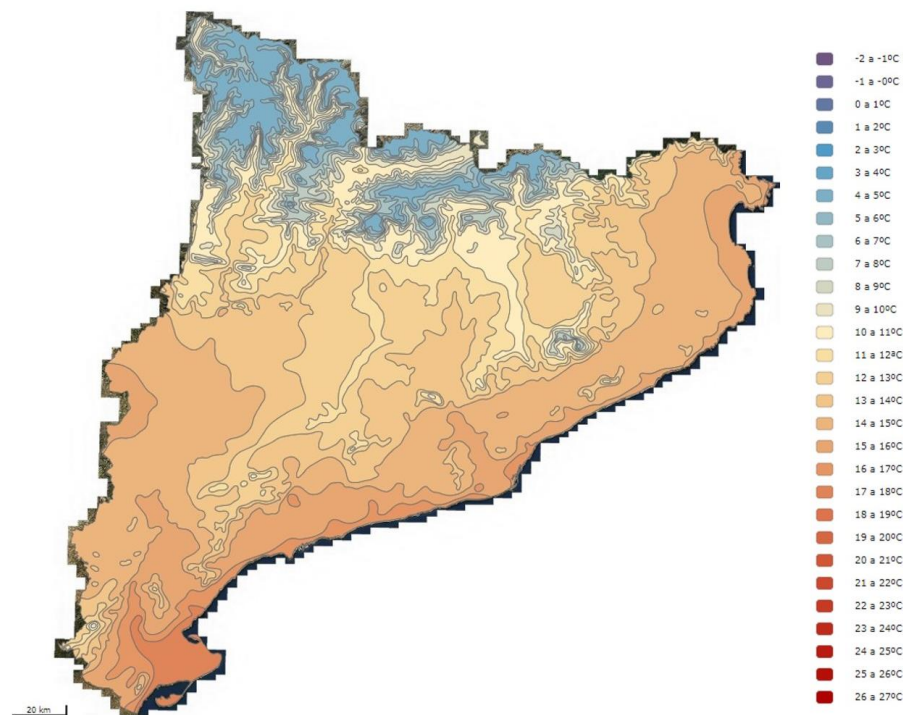
En el present apartat, s'analitza el clima actual i les tendències observades en els darrers anys a l'àmbit SIMMB. Per tal de definir el clima a l'actualitat, s'ha utilitzat l'Atles Climàtic de Catalunya (ACC) (versió del 2008), creat pel SMC, que analitza les variables mitjanes termopluriométriques i de radiació solar durant el període 1961-1990. Altrament, per conèixer la tendència i evolució d'aquestes variables fins a l'actualitat, s'ha consultat l'últim Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics (BAIC) disponible, del 2018 i també publicat pel SMC.

Pel que fa a les modelitzacions d'escenaris climàtics futurs que són rellevants per a l'àmbit SIMMB vegeu 4.1. *Variabls climàtiques rellevants i l'Annex 1. Escenaris climàtics a l'àmbit SIMMB.*

#### 3.1. Temperatura

Actualment, la temperatura mitjana anual varia al llarg del territori de forma gradual: les temperatures més elevades es troben a les àrees costaneres i disminueixen de sud a nord, fins a registrar els mínims a les zones prepirinenques. Així, els municipis més propers a la costa presenten una temperatura mitjana anual d'entre 14 i 17 °C, els municipis d'interior d'entre 10 i 14 °C i, finalment, els del nord, poden arribar a registrar els 4 °C de mitjana, tot i que l'habitual és que els valors rondin els 9-10 °C.

Figura 3.1. Temperatura mitjana anual a Catalunya durant el període 1961-1990.

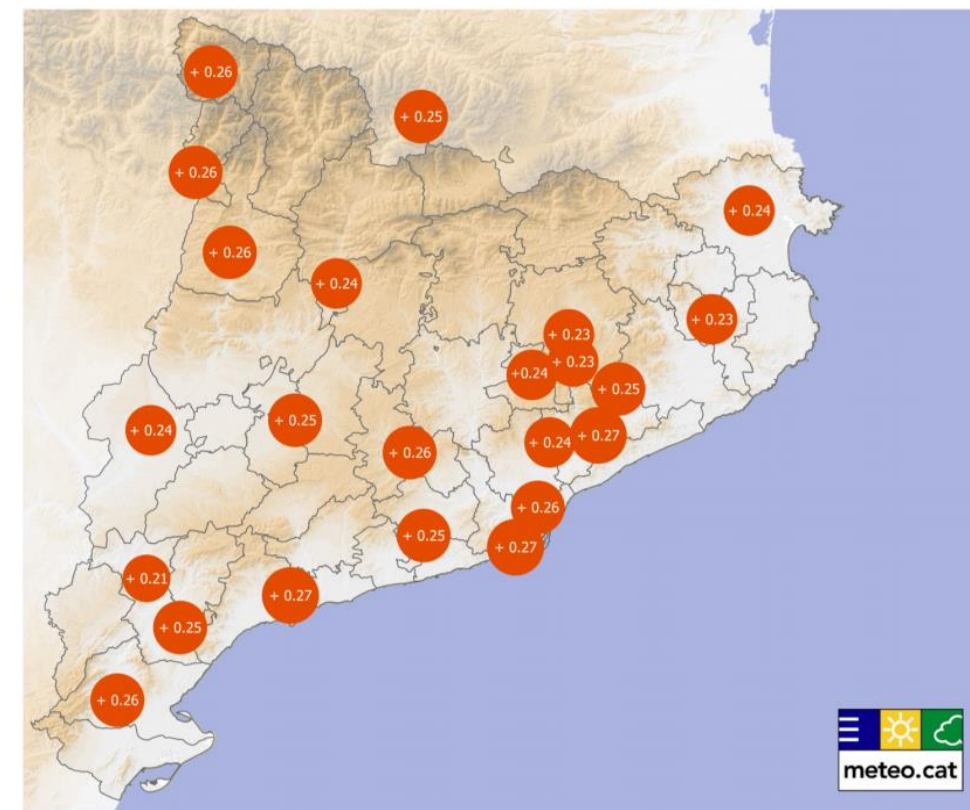


Font: Atles Climàtic de Catalunya.

D'acord amb les previsions futures resumides anteriorment (vegeu 1. *Efectes del canvi climàtic i implicacions sobre el sistema de mobilitat*), la temperatura mitjana ha incrementat globalment. Com és d'esperar, doncs, aquest augment també s'ha registrat a l'àrea SIMMB i a tota Catalunya, concretament de 0,25 °C/decenni de mitjana.

Malgrat que l'augment d'aquesta variable no segueix un patró espacial tan marcat com el cas anterior, en aquests darrers anys l'increment màxim de la temperatura s'ha registrat a les àrees properes a la costa (fins a 0,27 °C) en comparació amb les zones d'interiors (0,23 °C). No obstant, aquests valors són força homogenis arreu del territori.

Figura 3.2. Tendència espacial de la temperatura mitjana anual a Catalunya considerant el període 1950-2018, expressada en °C/decenni. L'àrea dels cercles és proporcional al valor de la tendència decennal. El cercle sòlid indica que l'increment és estadísticament significatiu, segons el test de Mann-Kendall (p-valor < 0,05).

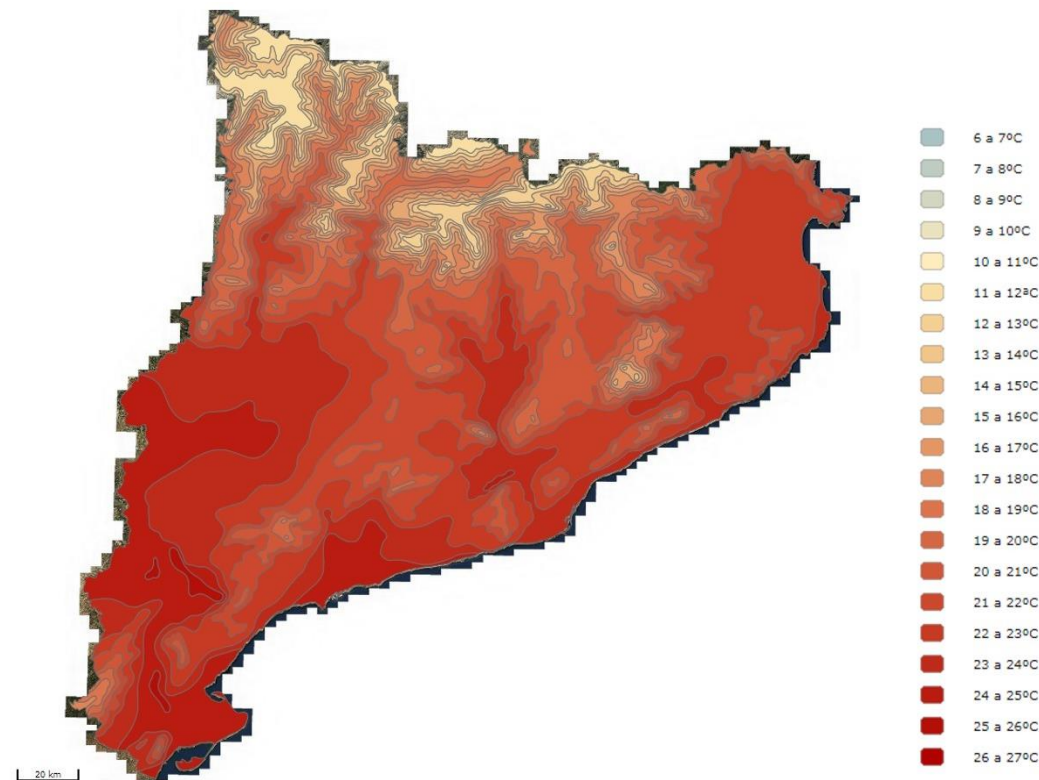


Font: SMC (2018). Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics.



Pel que fa a la temperatura mitjana del mes d'agost, un dels més calorosos de l'any, i malgrat els efectes termoreguladors del mar, els valors de temperatura tornen a ser més elevats a les zones costaneres de l'àmbit SIMMB –d'entre 20 i 24 °C/decenni– en comparació amb els municipis del nord, els quals presenten temperatures que van dels 12 als 18 °C/decenni. Tot i així, l'increment de temperatura no té un gradient latitudinal marcat i, així, algunes zones d'interior registren valors semblants als propers a la costa.

Figura 3.3. Temperatura mitjana del mes d'agost a Catalunya durant el període 1961-1990.

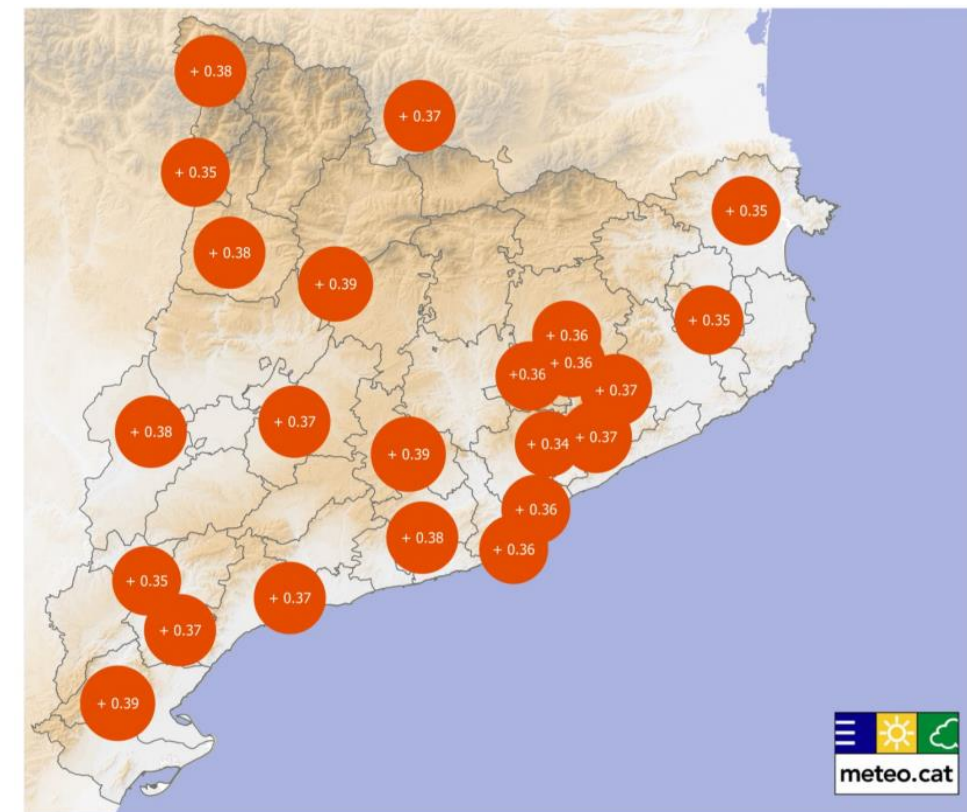


Font: *Atles Climàtic de Catalunya*.

Tal i com es pot veure a la figura següent, la temperatura considerant tots els mesos d'estiu ha augmentat de forma uniforme arreu del territori, amb valors superiors als 0,34 °C/decenni des de l'any 1950. Els increments de temperatura fins i tot arriben als 0,39 °C/decenni a les zones interiors. Així, la temperatura dels mesos d'estiu és actualment 2,5 °C més elevada que la segona meitat del segle passat.

A més, d'acord amb el BAIC, l'estiu és l'estació de l'any que presenta una major diferència entre la tendència experimentada per la temperatura màxima i la mínima, arribant a ser de més del doble en alguns casos. Concretament, la temperatura màxima –que pot entendre's com la diürna– s'incrementa a un ritme de 0,47 °C/decenni i la temperatura mínima –o nocturna– en 0,26 °C/decenni, sense mostrar cap patró espacial clar.

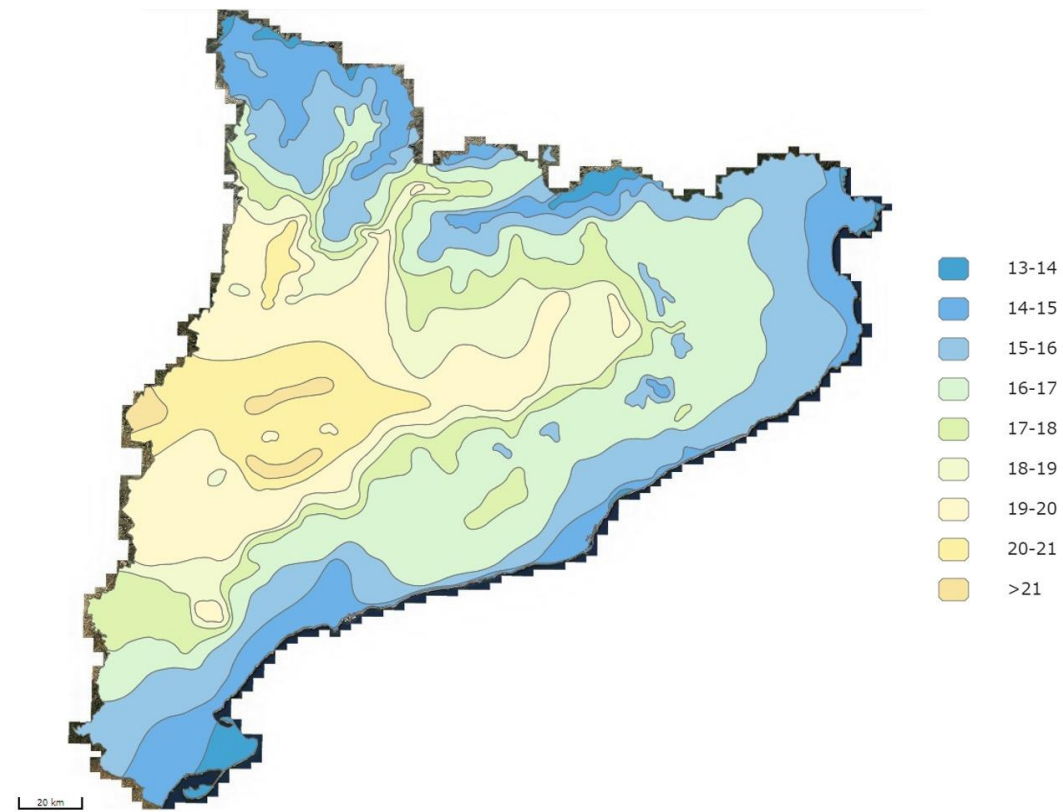
Figura 3.4. Tendència espacial de la temperatura mitjana a l'estiu a Catalunya considerant el període 1950-2018, expressada en °C/decenni. L'àrea dels cercles és proporcional al valor de la tendència decenal. El cercle sòlid indica que l'increment és estadísticament significatiu, segons el test de Mann-Kendall (p-valor < 0,05).



Font: SMC (2018). *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics*.

Tenint en compte totes les estacions de l'any, la mitjana anual de la diferència entre la temperatura màxima i mínima –terme conegut com a amplitud tèrmica anual– és superior a les zones interiors, amb diferències que poden arribar fins als 19-20 °C. Les zones del nord –caracteritzades per temperatures més baixes durant tot l'any– i les properes a la costa –amb temperatures anuals suaus– mostren diferències menors en la temperatura màxima i mínima, tal i com es pot veure a la figura presentada a continuació, d'entre 15 i 16 °C.

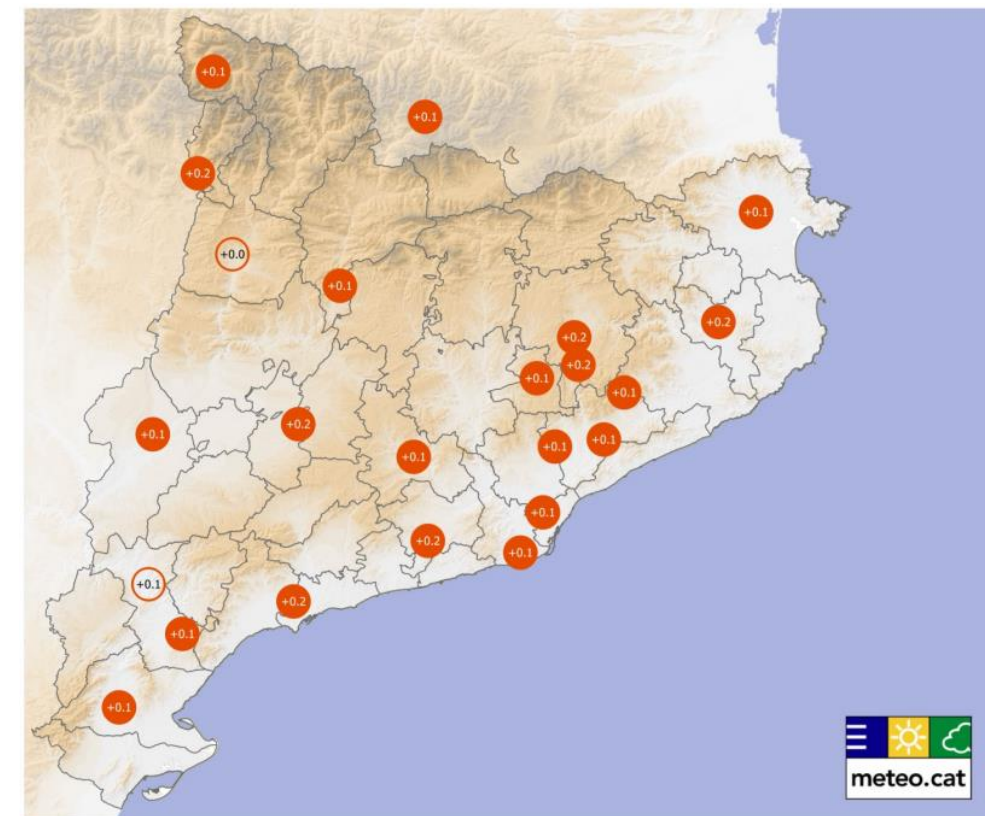
Figura 3.5. Amplitud tèrmica mitjana anual a Catalunya durant el període 1961-1990.



Font: Atles Climàtic de Catalunya.

En els darrers anys però, i segons es pot observar a la Figura 3.6, l'amplitud tèrmica anual mostra un augment lleuger d'entre 0,1 i 0,2 °C/decenni arreu del territori SIMMB de manera estadísticament significativa. Així doncs, no s'observen diferències significatives entre diferents punts del territori

Figura 3.6. Tendència espacial de l'amplitud tèrmica anual de Catalunya considerant el període 1950-2018, expressada en °C per decenni. El diàmetre és proporcional a la magnitud del canvi obtingut. El cercle indica que la variació és estadísticament significativa ( $p$ -valor $<0,05$ ) i la circumferència indica manca de significació estadística.



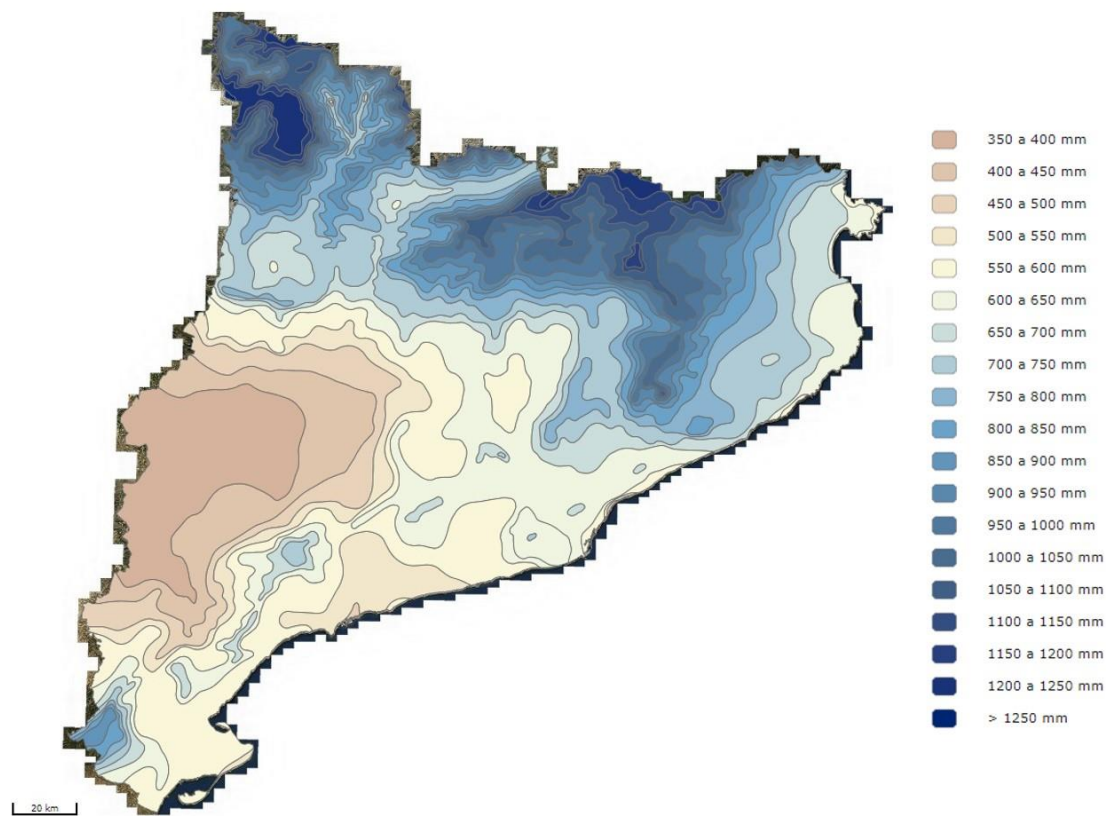
Font: SMC (2018). Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics.



### 3.2. Precipitació

Pel que fa a la precipitació mitjana anual, l'àmbit SIMMB es divideix entre una àrea més plujosa, on la precipitació mitjana arriba fins els 1.000 mm anuals, corresponent als municipis localitzats a la zona prepirinenca, i una àrea més seca. Aquesta última, localitzada a la zona de la costa i de l'interior, es caracteritza per una precipitació d'uns 650 mm anuals. En aquest cas es torna a observar un patró gradual arreu de l'àrea SIMMB.

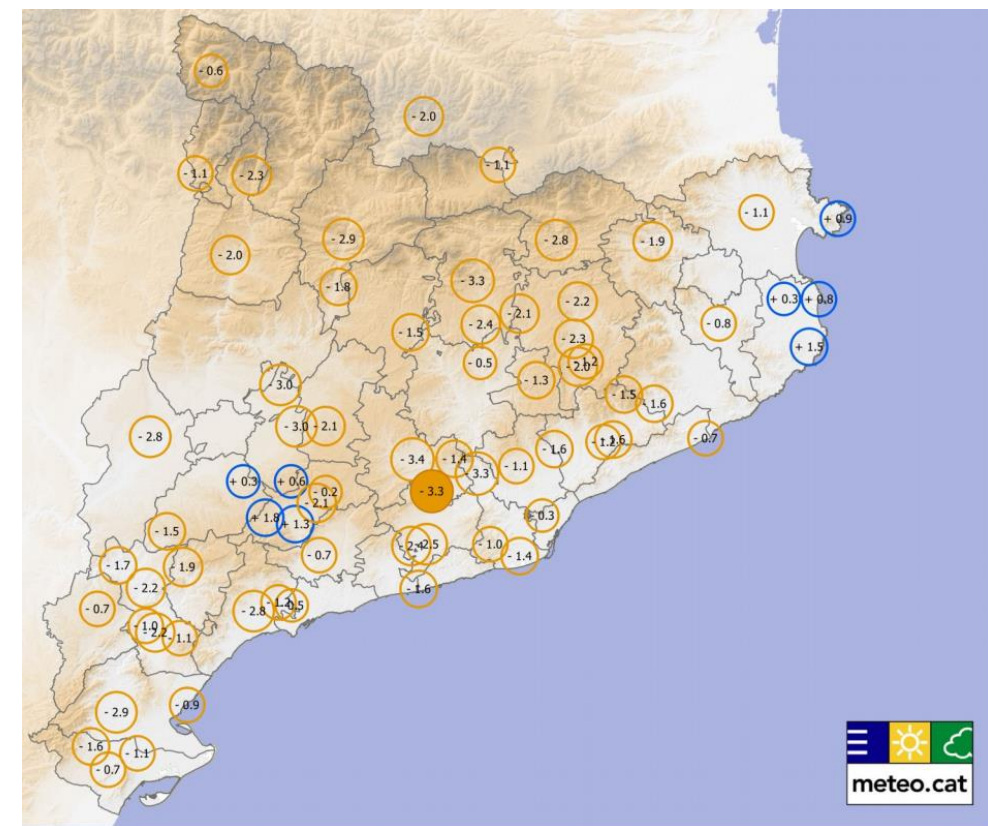
Figura 3.7. Precipitació mitjana anual a Catalunya durant el període 1961-1990.



Font: Atles Climàtic de Catalunya.

Tot i que de forma no significativa per l'elevada incertesa associada a la precipitació, aquesta variable ha disminuït de forma generalitzada amb els anys a tot l'àmbit SIMMB. Concretament, aquesta disminució ha estat d'un 1,4%/decenni des de l'any 1950 fins a l'actualitat. Segons dades del BAIC, l'estació que ha registrat una disminució mitjana superior en la precipitació és l'estiu (5,7%/decenni, valor estadísticament significatiu), seguida per l'hivern (2,6%/decenni), mentre que la primavera i la tardor han registrat augments lleugers, de 0,3%/decenni.

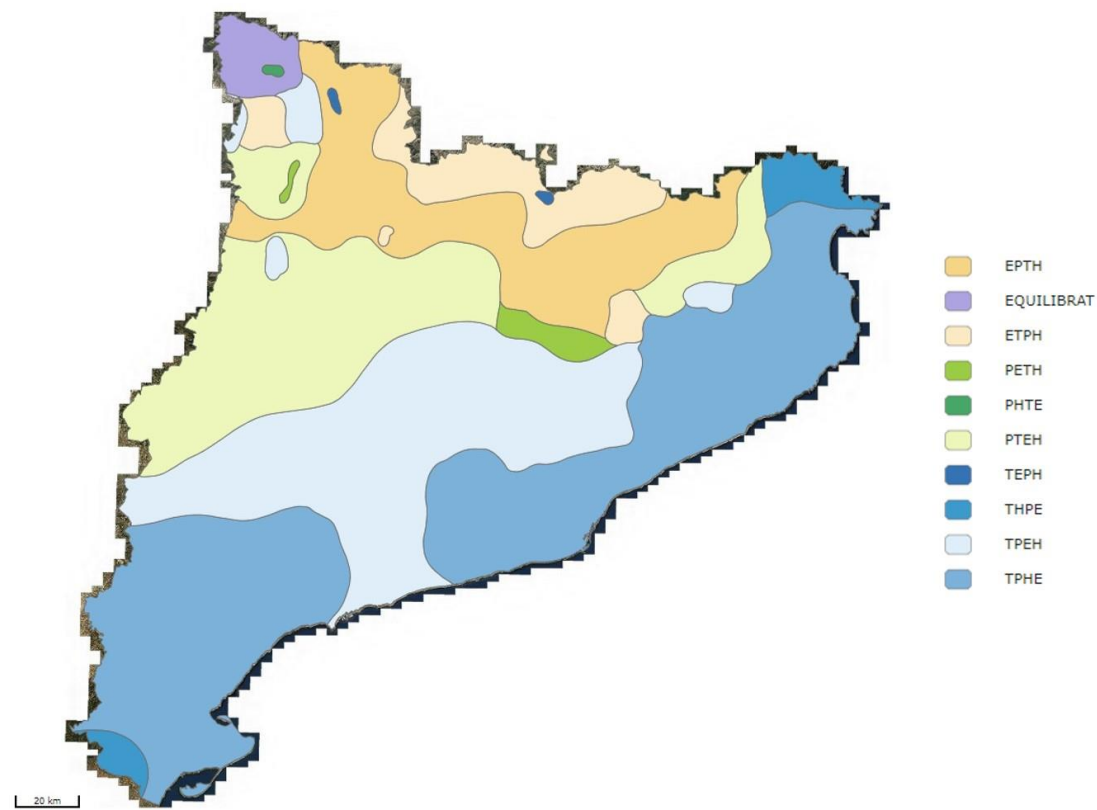
Figura 3.8. Tendència de la precipitació mitjana anual de Catalunya considerant el període 1950-2018, expressada en %/decenni, a partir de les 70 sèries analitzades. L'àrea dels cercles és proporcional al valor de la tendència decennal. El cercle sòlid indica que l'increment és estadísticament significatiu, segons el test de Mann-Kendall (p-valor < 0,05).



Font: SMC (2018). Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics.

El règim pluviomètric estacional permet ordenar les quatre estacions de la més plujosa a la més seca. Aquest ordre difereix arreu del territori. L'estació més plujosa als indrets de l'àmbit SIMMB localitzats a la meitat sud de Catalunya és la tardor, seguida per la primavera. A la meitat nord, per contra, l'estiu és també una de les estacions més plujoses de l'any degut a la major freqüència de les tempestes en aquesta època de l'any. En cap dels casos, però, l'hivern es caracteritza per la seva elevada precipitació.

Figura 3.9. Mitjana del règim pluviomètric estacional a Catalunya durant el període 1961-1990.

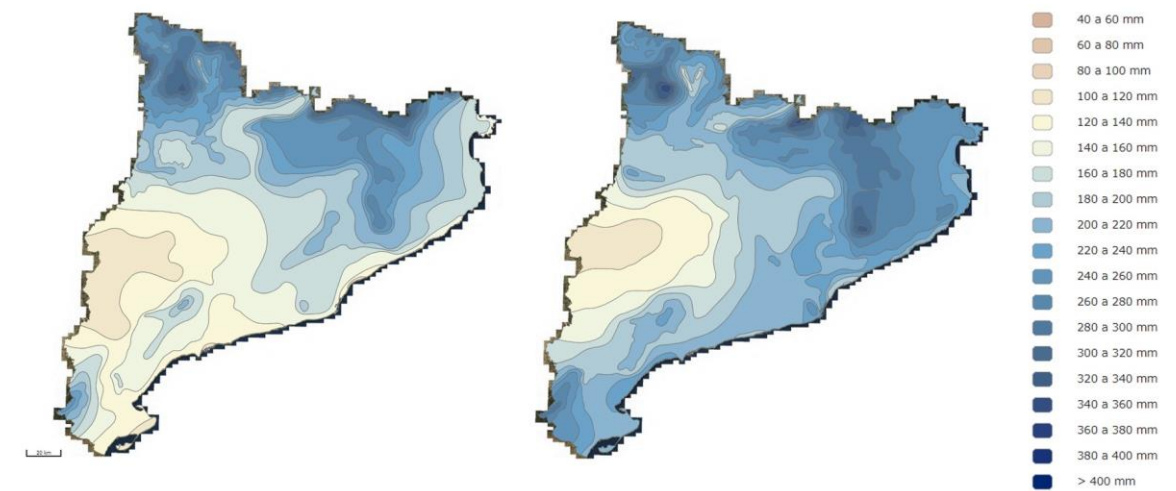


Font: Atles Climàtic de Catalunya.

Mitjançant la comparació dels valors de precipitació mitjana a la primavera i la tardor, s'obtenen uns resultats similars als representats a la Figura 3.9. En termes generals, la tardor és l'estació més plujosa de l'àrea d'estudi. És en aquesta estació en la qual les zones properes a la costa presenten els seus màxims de precipitació, d'entre 180 i 220 mm de mitjana. Aquests valors s'assemblen als registrats a les zones del Prepirineu.

Pel que fa a la primavera, l'àrea prepirinenca presenta una precipitació similar –tot i que lleugerament inferior– en comparació amb la tardor. Per contra, les zones costaneres, i algunes d'interior, registren de mitjana precipitacions força menors, d'aproximadament 180 mm com a valor màxim.

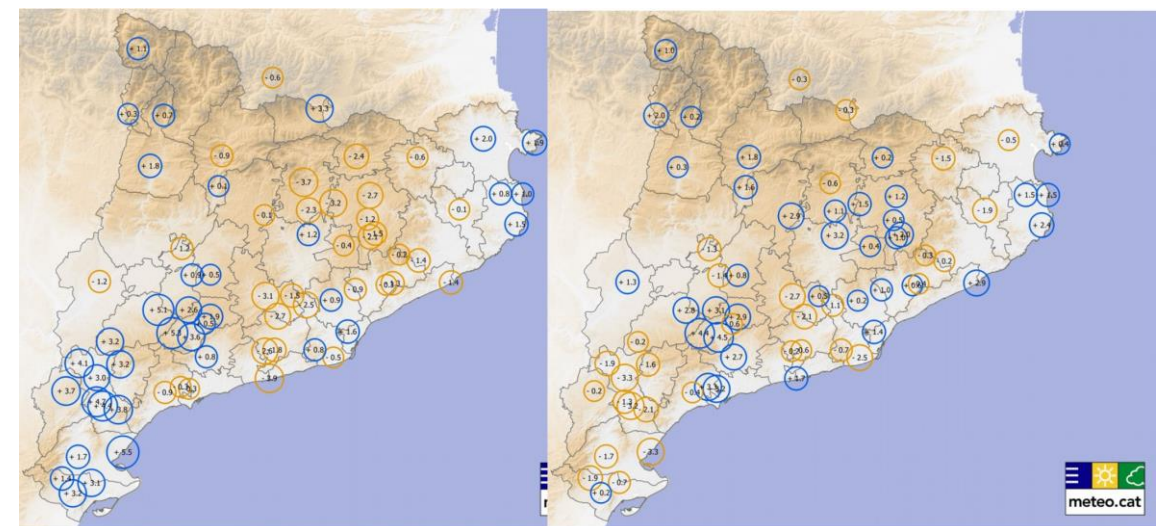
Figura 3.10. Precipitació mitjana anual a la primavera (esquerra) i tardor (dreta) a Catalunya durant el període 1961-1990.



Font: Atles Climàtic de Catalunya.

Per últim, tal i com es pot veure als mapes a continuació, de manera general, la precipitació ha tendit a disminuir arreu del territori de l'àmbit SIMMB i a augmentar a la tardor, amb algunes excepcions. En cap cas, però, de forma significativament estadística. El principal creixement en els nivells de precipitació es troba localitzat a la franja nord de l'àrea, tant en les zones costaneres com d'interior.

Figura 3.11. Tendència de la precipitació mitjana a la primavera (esquerra) i a la tardor (dreta) a Catalunya considerant el període 1950-2018, expressada en %/decenni. L'àrea dels cercles és proporcional al valor de la tendència decennal. El cercle sòlid indica que l'increment és estadísticament significatiu, segons el test de Mann-Kendall (p-valor < 0,05).



Font: SMC (2018). Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics.



### 3.3. Altres fenòmens meteorològics

A banda de la temperatura i la precipitació, sens dubte les variables més estudiades, cal considerar-ne d'altres sobre les quals es disposa de menys informació.

#### 3.3.1. Nuvolositat, humitat relativa i innivació

A continuació, es fa un recull de tota la informació que, majoritàriament, es tracta al TICCC (vegeu 1.3. *Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya*),:

- Humitat relativa, la qual ha disminuït en un 1,0 %/decenni de mitjana anual a la península ibèrica per al període 1961-2011.
- Nuvolositat, per la qual s'identifica un augment del 0,4 %/decenni en la nuvolositat total anual al nord-est peninsular entre 1913 i 2010, tot i que amb un clar decreixement des del decenni de 1960 (-1,1 %/decenni).
- Dies de neu, paràmetre respecte el qual no s'ha observat cap variabilitat significativa a l'àrea pirinenca, tot i que sí s'ha observat una tendència envers el descens del gruix de neu a la primavera.

De manera específica, a l'Observatori Fabra, que disposa de dades meteorològiques des de 1914, s'ha detectat un descens de 0,10 dies de neu/decenni pel període 1919-2014. Al mateix observatori, s'ha registrat una lleugera disminució dels dies de boira, de 2,57 dies de boira/decenni pel període 1919-2014 però no una tendència remarcable dels episodis de tempesta (1917-2012).

#### 3.3.2. Ciclons, temporals i tornados

El TICCC també analitza l'evolució i les tendències de determinats riscos climàtics a partir dels índexs d'extrems definits pel Grup d'Experts en Detecció del Canvi Climàtic i Índexs –*Expert Team on Climate Change Detection and Indices, ETCCDI*– de la WMO. A més, inclou escenaris climàtics futurs a una resolució de 20 x 20 km gràcies a l'aplicació d'un mètode de disminució d'escala o *downscaling* estadístic (MOS) a partir de deu models climàtics regionals (RCM) generats en el context del projecte europeu ENSEMBLES. Els RCM-ENSEMBLES s'han nodrit amb les observacions proporcionades per la reanàlisi europea ERA-40 i per les projeccions dels models climàtics globals (GCM).

Els escenaris preveuen, a la regió mediterrània un augment de la dimensió dels ciclons tot i que la intensitat, el cicle de vida i el recorregut serien similars als actuals. En tot cas, si es descarten els episodis de curta durada i trajectòria, els escenaris apunten cap a una disminució del nombre de ciclons intensos i de les trajectòries més llargues. Amb tot, el TICCC afegeix que els ciclons mediterranis més intensos no necessàriament són els que s'associen amb fenòmens meteorològics més adversos, ja que, per exemple, la gran majoria dels temporals de vent a la regió són produïts per ciclons febles o moderats.

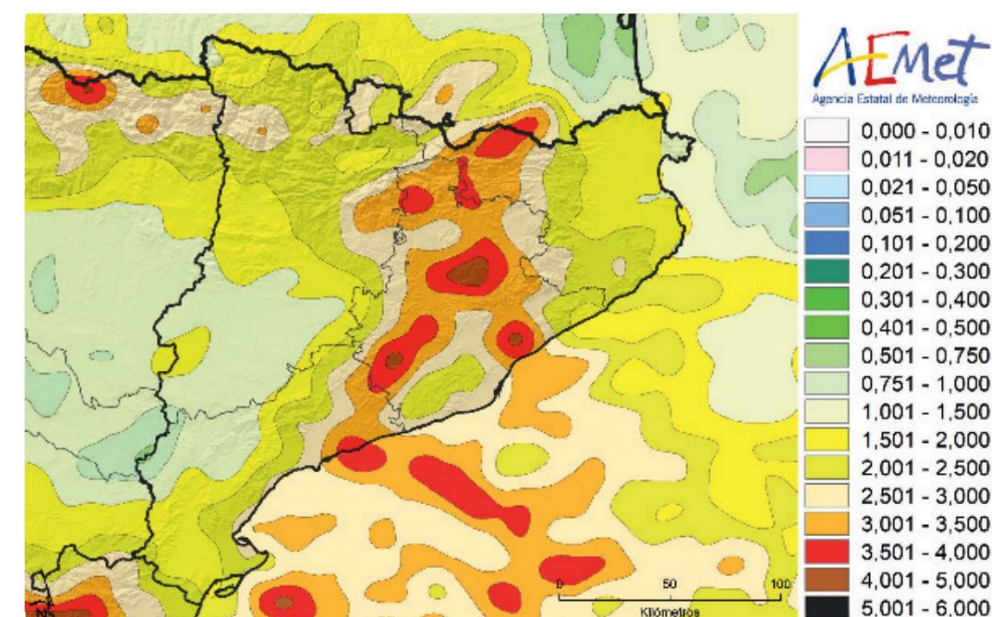
Pel que fa als temporals de vent, els temporals marítims, els tornados i els petits huracans mediterranis no hi ha previsions concloents com a conseqüència de l'elevada incertesa dels escenaris pel que fa al vent i la poca robustesa de les evidències a causa de la curta durada i l'heterogeneïtat de les sèries d'observació. En el cas específic dels tornados, diversos estudis citats al TICCC (*Tornadoes and waterspouts in Catalonia* (1950-2009), 2011; Els fiblons a Espanya: Climatologia i catàleg de tornados i trombes, 2015) indiquen que l'augment detectat en la seva ocurrencia no vindria donat tant per un increment real com per la millora en la seva detecció i observació.

Aquests fenòmens varen ser àmpliament estudiats al Segon Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya (SICCC), publicat el 2010. A l'informe es remarcava l'elevada freqüència dels temporals de vent a Catalunya, que poden causar danys significatius. Per contra, els huracans mediterranis –sovint coneguts com a medicans (minihuracans mediterranis)– són molt poc freqüents, motiu pel qual es troben entre els riscos de menys impacte a Catalunya. Tot i l'elevada incertesa de les prediccions futures, l'informe defineix com a hipòtesi l'augment futur de tornados, medicans i temporals de vent a causa de l'augment de la temperatura de l'aire i de l'aigua de mar, per bé que la relació no sigui lineal.

#### 3.3.3. Descàrregues elèctriques

Pel que fa als llamps, l'AEMET i el SMC disposen de registres de densitat de descàrregues elèctriques per períodes temporals parcialment equivalents, bé que evidencien diferències significatives<sup>2</sup>. La informació del SMC mostra que la densitat màxima anual de llamps se situa al Prepirineu, especialment a les comarques del Solsonès, Berguedà i Ripollès, considerant la mitjana del període 2004-2017, seguint un gradient que arriba al seu valor mínim a la zona costanera. L'AEMET té en compte el període 2007-2016, però, a diferència del SMC, localitza més d'un punt de densitat màxima repartit arreu de la província de Barcelona. A més, en general, els valors de densitat són superiors als del SMC.

Figura 3.12. Densitat anual mitjana de llamps a Catalunya pel període 2007-2016 segons l'AEMET.

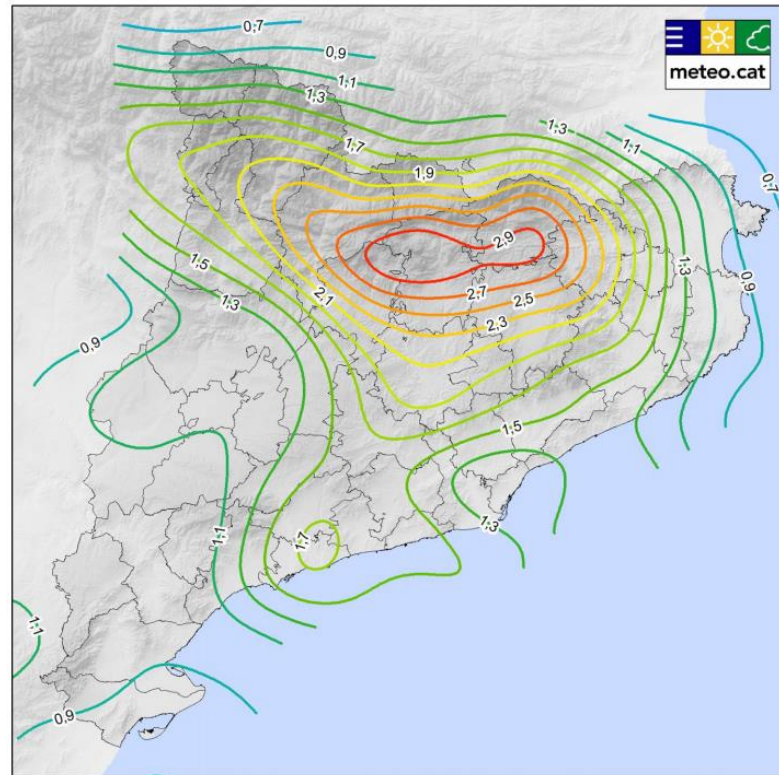


Font: AEMET (2019). Climatología de descargas eléctricas y de días de tormenta en España.

<sup>2</sup> Part de les diferències és atribuïble al fet que s'analitzen dos períodes no coincidents (2004-2017 i 2007-2016) –més encara considerant que entre 2004 i 2006 es va detectar un nombre de llamps molt superior a la mitjana– i una altra part a diferències metodològiques i grau de resolució escalar.



Figura 3.13. Densitat anual mitjana de llamps a Catalunya pel període 2004-2017 segons SMC.



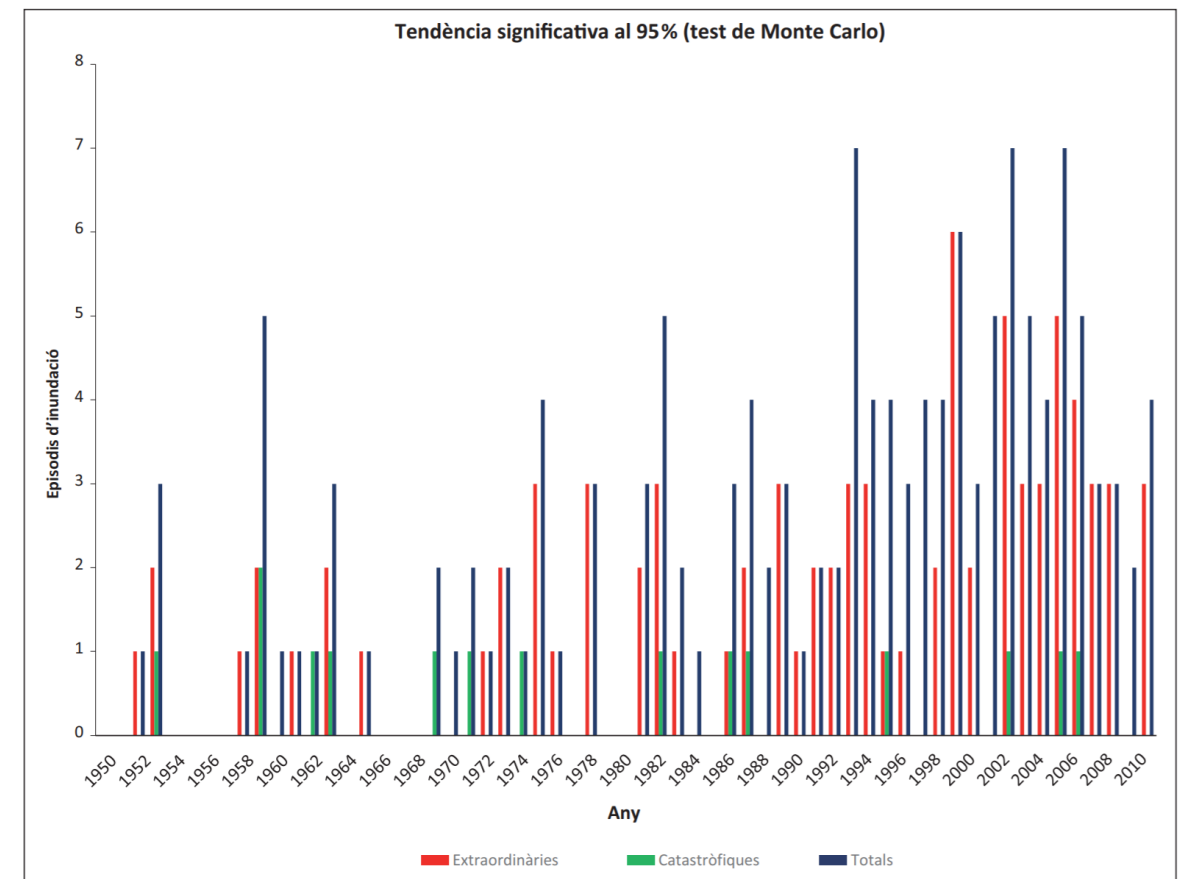
Font: SMC (2017). Xarxa de detecció de descàrregues elèctriques atmosfèriques del Servei Meteorològic de Catalunya. Informe resum de l'any 2017.

### 3.4. Riscos indirectes associats a fenòmens meteorològics

#### 3.4.1. Inundacions i esllavissades

Entre els principals riscos associats als factors meteorològics que exposa el TICCC, s'espera un increment significatiu del risc d'inundacions provocat per un augment de la torrencialitat de les pluges i de la freqüència dels dies amb pluges molt intenses. Les darreres dècades (1981-2010) s'ha observat un augment d'un episodi d'inundació/decenni amb una confiança del 95%, sobretot com a conseqüència de l'augment de les inundacions extraordinàries. Cal tenir en compte que, la major part dels municipis catalans que presenten un risc d'inundació alt o molt alt (més del 40% del total), es troben en zones costaneres.

Figura 3.14. Evolució temporal del nombre d'episodis d'inundació a Catalunya, tant extraordinàries com catastròfiques, pel període 1950-2010. Es constata un augment dels episodis des de la dècada de 1980.



Font: TICCC (2016).

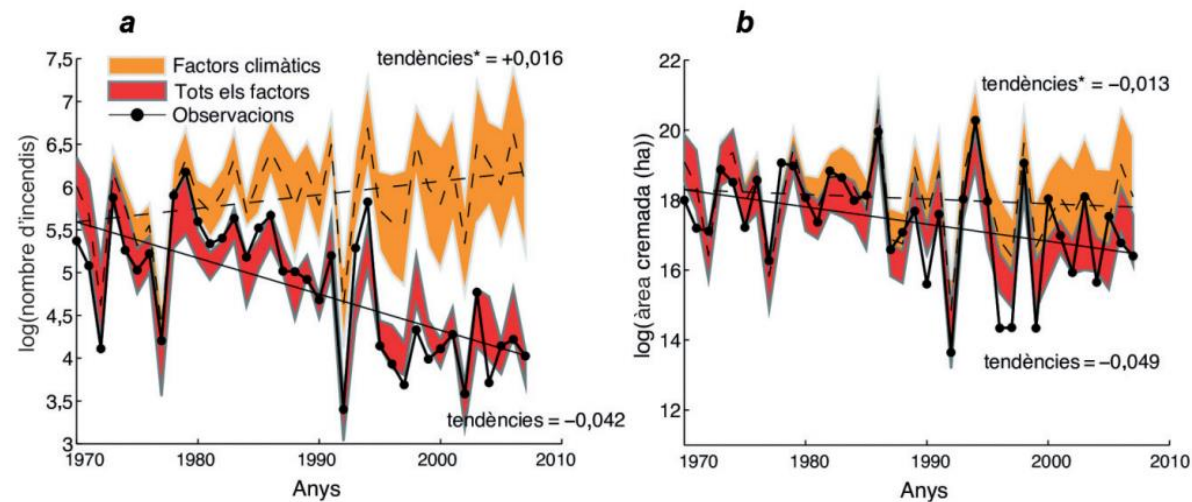
Aquesta torrencialitat també pot comportar un augment en l'ocurrència d'esllavissades, especialment per la naturalesa poc permeable dels materials, sovint argil·lites o pissarres. No obstant, a Catalunya no es disposa de suficients registres que permetin analitzar l'evolució interanual i la tendència dels moviments de terra.

### 3.4.2. Sequeres i incendis forestals

Pel que fa a les sequeres, estan augmentant en freqüència i intensitat. En un futur, aquesta tendència es preveu que segueixi en augment com a causa de l'augment de la temperatura, l'increment de períodes d'estrès hídric i el retrocés de la coberta de neu. Aquest fet, a més de tenir afectacions sobre la disponibilitat d'aigua, també n'afectarà la seva qualitat.

Les sequeres i altres efectes del canvi climàtic –com l'augment de temperatura– poden incrementar l'ocurrència d'incendis forestals. No obstant, tal i com es pot veure a la figura següent, el nombre d'incendis així com la superfície cremada ha disminuït amb els anys, principalment com a conseqüència que l'increment de risc es contraresta amb la millora en la prevenció i la gestió. En aquest sentit, un estudi citat al TICCC (*Climate change impacts on wildfires in a Mediterranean environment*, 2014) indica que la tendència a patir incendis –expressada en escala logarítmica i obtinguda com la mitjana de mil simulacions– en els darrers anys hagués estat de +0,016 incendis/any a conseqüència del forçament climàtic, però va ser de -0,042 incendis/any.

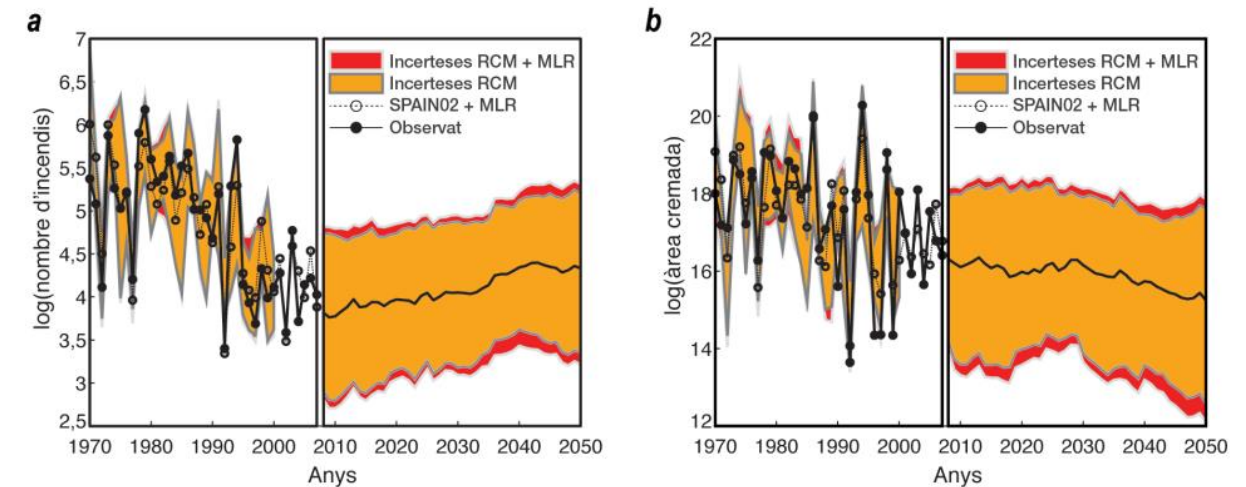
Figura 3.15. Evolució del nombre d'incendis forestals (a) i de l'àrea cremada (b) considerant solament la influència dels factors climàtics (banda taronja) i de tots els factors (banda vermella).



Font: TICCC (2016).

En un futur i considerant les mateixes mesures de prevenció i de gestió de l'emergència actuals, a partir d'un procés de *downscaling* de models regionals i assumint un escenari moderat, es preveu un augment en el nombre d'incendis forestals, per bé que amb un grau d'incertesa alt. L'informe estableix que cal considerar també el desenvolupament de nous tipus d'episodis, ja sigui en zones on ara són poc habituals (com ara els incendis de muntanya) o bé fora del període estival.

Figura 3.16. Evolució present i futura del nombre d'incendis (a) i de l'àrea cremada (b) a Catalunya.



Font: TICCC (2016).

### 3.4.3. Ascens del nivell del mar i canvis en el règim d'onatge

Altres riscos a considerar, que poden afectar les infraestructures de mobilitat situades en zones costaneres són l'ascens del nivell del mar i canvis en el règim d'onatge. A l'AR5, exposat anteriorment (vegeu 1.1. Cinquè informe de l'IPCC), s'estableix que la taxa mitjana global d'elevació del nivell del mar hagi estat probablement de +2,0 [+1,7/+2,3] mm/any en el període 1971-2010, i que hagi augmentat fins a +3,2 [+2,8/+3,6] mm/any entre el 1993 i el 2010. L'últim valor és coherent amb el ritme d'ascens registrat a l'Estartit, de +3,9 [+2,6/+5,2] cm/decenni des de 1990.

Aquest mateix informe indica increments del nivell del mar globals que van des dels 26 cm als 82 cm considerant els diferents escenaris futurs. Tot i així, l'informe determina que l'increment del nivell del mar no és uniforme a tot el món a causa de diversos factors, com ara la circulació oceànica o canvis atmosfèrics. A partir de projeccions de Med-CORDEX, s'han obtingut estimacions que situen l'increment del nivell mitjà del mar Mediterrani entre els valors globals i 10 cm per sobre degut a la sobrelevació de l'Atlàntic nord-est.

Pel que fa a l'onatge, el TICCC recull un estudi del 2013 (*Projected future wave climate in the NW Mediterranean Sea*) que, mitjançant una combinació de models regionals i globals de circulació atmosfèrica, va estimar una reducció de la mediana de l'altura de l'onada significant a la major part de la regió mediterrània com a conseqüència d'una disminució de la velocitat del vent a gran part de la mediterrània occidental, tot i que hi hauria diferències entre l'hivern i l'estiu. Altres estudis (*The Mediterranean surface wave climate inferred from future scenario simulations*, 2018) determinen que les projeccions obtingudes per a l'escenari A1B (moderat) a la costa catalana, estan al voltant del ±10 % per a condicions mitjanes i del ± 20 % en episodis de clima extrem.

#### 3.4.4. Allaus de neu

Pel que fa a les allaus de neu, el TICC estableix que estudis recents mostren una tendència temporal positiva anual, estadísticament significativa, en l'ocurrència de grans allaus als Pirineus de Catalunya.

Tot i que depèn de la tipologia de les allaus, la majoria han ocorregut com a conseqüència de dies freds i secs alhora, previs a nevades poc intenses. Malgrat això, hi ha una gran incertesa amb relació a les previsions d'allaus futures, ja que depenen de factors relacionats amb la circulació atmosfèrica.

Concretament, en els darrers anys s'ha observat una certa correlació negativa als Pirineus entre l'ocurrència de cicles de grans allaus i les fases negatives de l'índex d'oscil·lació de l'Atlàntic Nord – NAO per les sigles en anglès, *North Atlantic Oscillation*–, sobretot a la regió del Pirineu oriental però no a la regió més occidental. D'aquesta manera, d'acord amb el TICCC, projeccions futures del comportament de la NAO poden indicar un possible augment o disminució de l'activitat de grans allaus depenent de la regió.

Més informació:

[http://territori.gencat.cat/ca/01\\_departament/12\\_cartografia\\_i\\_toponimia/bases\\_cartografiques/medi\\_ambient\\_i\\_sostenibilitat/atles-climatic/](http://territori.gencat.cat/ca/01_departament/12_cartografia_i_toponimia/bases_cartografiques/medi_ambient_i_sostenibilitat/atles-climatic/)

<https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/el-clima-ara/butlleti-anual/>

[http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER\\_INFORME\\_CANVI\\_CLIMATIC\\_web.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER_INFORME_CANVI_CLIMATIC_web.pdf)



## B. VULNERABILITAT DE LES INFRAESTRUCTURES I CARACTERITZACIÓ DE RISCOS

## 4. Paràmetres i variables climàtiques considerades

En el present apartat, es defineixen els paràmetres i les variables climàtiques més rellevants a considerar per l'àmbit territorial del Sistema Integrat de Mobilitat Metropolitana de Barcelona (SIMMB), ja que d'aquestes en depèn l'ocurrència dels riscos relacionats amb els perills meteorològics.

### 4.1. Variables climàtiques rellevants

En funció de la informació climàtica compilada a la primera fase del projecte (vegeu *Annex 1. Escenaris climàtics a l'àmbit SIMMB*), 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 especialment 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:

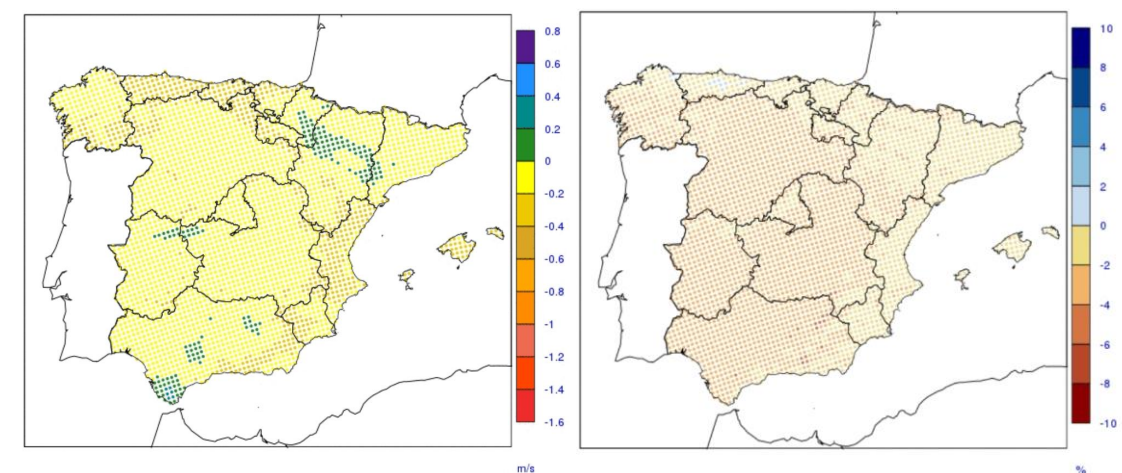
- Temperatura: temperatura mitjana anual, temperatura mitjana màxima a l'estiu, nombre anual de dies i nits tòrrids, nombre anual de dies càlids i nits tropicals, durada de les onades de calor diürnes i nocturnes i nombre anual de dies de glaçada.
- Precipitació: precipitació mitjana anual, nombre anual 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

A la taula de les pàgines següents es recull, de manera sintètica, la informació disponible relativa a les projeccions futures de cada paràmetre i/o variable climàtica analitzada per diferents organismes i institucions, tant nacionals com internacionals i a diferents escales territorials: AMB, demarcació de Barcelona, Catalunya, Espanya i Europa. Les principals fonts d'informació utilitzades han estat les següents:

- SMC-BSC-CNS (2012). Generació d'escenaris climàtics regionalitzats a alta resolució per a Catalunya durant el segle XXI. Període: 2011-2012 (Projecte ESCAT).
- IPCC (2014). Cinquè informe d'avaluació.
- AMB (2015). Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona (Informe METROBS).
- Generalitat de Catalunya i Institut d'Estudis Catalans (2016). Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya (TICCC).
- European Environmental Agency (2016). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report.*
- AMB (2017). Generació d'escenaris climàtics futurs regionalitzats a molt alta resolució (1 km) per a l'àrea metropolitana de Barcelona (Projecte ESAMB).
- MedECC (2019). *Risks associated to climate and environmental changes in the mediterranean region. A Preliminary Assessment by the MedECC network.*
- Projeccions climàtiques pel segle XXI de l'Agència Estatal de Meteorologia, AEMET.

La informació està endreçada per àmbits 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 (vegeu figura següent).

Figura 4.1. Variació en el valor mitjà de ratxa màxima anual del vent (m/s) a 10 m (esquerra) i de la nuvolositat (dreta) per l'escenari climàtic RCP8,5 al període 2046-2065.



Font: AEMET ([http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat/result\\_graficos](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos)).

Les variables climàtiques que han estat més estudiades, especialment des de l'escala metropolitana i catalana, són les relacionades amb la temperatura i la precipitació. No obstant, les associades a temperatura són les que presenten una tendència més clara, homogènia i consensuada entre els diferents models i projeccions: es preveu un augment més o menys gran en funció de l'escenari climàtic i horitzó temporal considerat.

La precipitació, per contra, té una incertesa associada més elevada pel que fa a les seves prediccions, malgrat que ha estat àmpliament analitzada a diferents escales territorials. Tot i així, sí que es preveu un augment d'episodis extrems (pluges torrencials), per bé que la precipitació mitjana al llarg de l'any pot disminuir, fet que converteix aquest fenomen en una variable clau pels riscos associats a episodis d'acumulació i/o intensitat de pluja forta en períodes de 24 h o inferiors.

L'augment del nivell del mar també ha estat estudiat a escala catalana i constitueix una variable a tenir en compte, sobretot pel que fa a l'adequació de les infraestructures localitzades a la vora de la costa, tant les de nova construcció com les existents. Malgrat això, només es disposa de dades pel període temporal més allunyat pel qual es fan projeccions (2081-2100), mentre que manquen estudis centrats en horitzons temporals més propers.

Per contra, la resta de paràmetres i variables recollits a la taula han estat molt menys, o gens, estudiats, en bona part degut a la manca de metodologies establertes i a la complexitat d'anàlisi. És el cas de la precipitació en forma de neu, la pedra i la calamarsa, el vent, les tempestes elèctriques i la boira. En algun d'aquests casos, es disposa de recopilacions més o menys sistemàtiques de dades històriques – com les descàrregues elèctriques a Catalunya al llarg del període 2004-2017– però no de projeccions d'escenaris futurs.



Taula 4.1. Síntesi de projeccions climàtiques per diferents variables i àmbits escalars. Per cada projecció s'indica l'escenari temporal a que fa referència, així com la font de les dades. Les projeccions de la demarcació de Barcelona provenen d'escenaris regionalitzats d'AEMET. En el cas de les projeccions d'aquest mateix organisme a escala estatal es diferencia, si s'escau, entre diferents modelitzacions: (1) fa referència a la tècnica de regionalització estadística per anàlegs, (2) a la regionalització estadística per regressió lineal i (3) a la regionalització dinàmica. La informació detallada sobre escenaris climàtics a escala catalana i de l'àmbit SIMMB s'exposa en forma d'annex (vegeu Annex 1. Escenaris climàtics a l'àmbit SIMMB). En particular, a l'apartat 2.3. Darreres projeccions climàtiques per Catalunya de l'Annex I es detallen les darreres conclusions sobre escenaris climàtics a escala catalana en el marc del projecte ESCAT-2020).

| Paràmetre       | Variable climàtica                  | Àmbits territorials  |   |  |  |   |
|-----------------|-------------------------------------|--|---|--|--|---|
|                 |                                     | AMB  | Demarcació de Barcelona   | Catalunya  | Espanya  | Europa  |
| Temperatura (T) | T mitjana anual (°C)                | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 2050: RCP4,5 augment d'1,7 °C; RCP8,5 augment de 2,1 °C (ESAMB).</li> <li>· 2100: RCP4,5 augment d'1,9 °C; RCP8,5 augments d'entre 3,4 i 4 °C (ESAMB).</li> </ul>   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2001-2050 (respecte el 1971-2000): augment d'entre 1,5 i 2 °C --&gt; Pirineus: 1,5 °C en 50 anys; interior: 1,3 °C; litoral-prelitoral: 1,2 °C (P. ESCAT).</li> <li>· Període 2031-2050 (respecte el 1971-2000): augment d'1,4 °C a tot Catalunya --&gt; Pirineus: +1,6 °C; interior: +1,4°C; litoral-prelitoral: +1,4 °C (TICCC).</li> </ul>   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2071-2100 (respecte el 1971-2000): RCP4,5 augments d'entre 1 i 4,5 °C; RCP8,5 augments d'entre 2,5 i 5,5 °C --&gt; a Europa en general (EEA).</li> <li>· Període 2046-2065: RCP4,5 augments de 0,9 a 2 °C; RCP8,5 augments d'1,4 a 2,6 °C --&gt; global (IPCC).</li> </ul> |
|                 | T mitjana màxima a l'estiu (°C)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2041-2070 (respecte el 1971-2000): augments de la T superior quan més desfavorables són els escenaris climàtics. RCP4,5 augments d'1,36 °C i 2,2 °C als municipis més interiors; RCP8,5 augments superiors als 2,2 °C a tota l'AMB, i de 3 °C als més interiors (VISOR AMB).</li> </ul>                                   | <p>Canvis en la T. max:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 2025: tenint en compte tots els escenaris i models, (1) 1,76 °C, (2) 1,97 °C, (3) 1,03 °C (AEMET).</li> <li>· 2030: tenint en compte tots els escenaris i models, (1) 2 °C, (2) 2,36 °C, (3) 1,55 °C (AEMET).</li> <li>· 2050: tenint en compte tots els escenaris i models, (1) 2,63 °C, (2) 3,21 °C, (3) 2,39 °C (AEMET).</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2001-2050 (respecte el 1971-2000): augments superiors als 2,5 °C als Pirineus (P. ESCAT).</li> <li>· A Catalunya, en general, la variació màxima de T s'assoleix a l'estiu i la variació mínima seria a l'hivern, mentre que la tardor i la primavera són estacions intermèdies (P. ESCAT).</li> <li>· Període 2031-2050 (respecte el 1971-2000): augment de fins a 2 °C als Pirineus (TICCC).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2046-2065: RCP4,5 (1) augments de 2 a 3 °C, (2) augments de 2 a 3 °C, (3) augments de 2 °C; RCP8,5 (1) augments de 3 a 4 °C, (2) augments de 3 a 5 °C, (3) augments de 2 a 3 °C (AEMET).</li> </ul> |   |
|                 | nº anual de dies càlids (TX>30 °C)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 2050: RCP4,5 augments de 26,5 dies càlids/any; RCP8,5 augments de 35,1 dies càlids/any (ESAMB).</li> <li>· 2100: RCP4,5 augments de 31,9 dies càlids/any; RCP8,5 augments de 58,3 dies càlids/any (ESAMB).</li> <li>· Els majors increments es preveuen als municipis més interiors (ESAMB).</li> </ul>                           | <p>Canvis en els dies càlids (%):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 2025: tenint en compte tots els escenaris i models, (1) +9,84%, (2) +15,32%, (3) +9,75% (AEMET).</li> <li>· 2030: tenint en compte tots els escenaris i models, (1) +10,64%, (2) +17,20%, (3) +8,9% (AEMET).</li> <li>· 2050: tenint en compte tots els escenaris i models, (1) +17,74%, (2) +27,9%, (3) +14,67% (AEMET).</li> </ul> |  |  |   |
|                 | nº anual de dies tòrrids (TX>35 °C) | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2041-2700: RCP4,5 augments de 3,2 dies tòrrids/any; RCP8,5 augments de 5,5 dies tòrrids/any (ESAMB).</li> <li>· Període 2071-2100: RCP4,5 augments de 4,1 dies tòrrids/any; RCP8,5 augments de 9,8 dies tòrrids/any (ESAMB).</li> <li>· Els majors increments es preveuen als municipis més interiors (ESAMB).</li> </ul> |   |  |  |   |

| Paràmetre | Variable climàtica                    | Àmbits territorials  |                         |           |  |   |
|-----------|---------------------------------------|--|-------------------------|-----------|--|---|
|           |                                       | AMB  | Demarcació de Barcelona | Catalunya | Espanya  | Europa  |
|           | nº anual de nits tropicals (TN>20 °C) | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 2050: RCP4,5 augments de 22,6 nits/any; RCP8,5 augments de 29,4 nits/any (ESAMB).</li> <li>· 2100: RCP4,5 augments de 25,5 nits/any; RCP8,5 augments de 44,3 nits/any (ESAMB).</li> <li>· Els majors increments es preveuen als municipis de la franja litoral (ESAMB).</li> </ul>        |                         |           | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2001-2050 (respecte el 1971-2000): augments de fins al 7% de mitjana, especialment a la zona litoral i prelitoral (màxims de 20-30 nits/any) (P. ESCAT).</li> </ul> |   |
|           | nº anual de nits tòrrides (TN>30 °C)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 2040-2071: RCP4,5 cap canvi respecte les mitjanes actuals; RCP8,5: augments de 0,7 nits/any (ESAMB).</li> <li>· 2071-2100: RCP4,5 només augments a la zona del Port de Barcelona i la franja litoral en general, de 0,6 nits/any; RCP8,5 augments de 1,3 nits/any (ESAMB).</li> </ul>     |                         |           |  |   |
|           | Onada de calor diürna                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· A partir del 2050: no es projecten anys sense ocurrència d'onades de calor (ESAMB).</li> <li>· La freqüència als municipis litorals tindrà un augment menys elevat (respecte als d'interior), però es projecta una intensitat més rellevant i de longitud més elevada (ESAMB).</li> </ul> |                         |           |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 2100: RCP8,5 augment de la freqüència i la durada de les onades de calor, especialment al sud i sud-est d'Europa (EEA).</li> </ul> |
|           | Onada de calor nocturna (TN>23 °C)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>· A l'àmbit litoral es projecten els augments més intensos, tant en longitud com en intensitat (ESAMB).</li> <li>· 2100: RCP8,5 hi podria haver augments de fins a 1,5 ratxes anuals als municipis interiors (ESAMB).</li> </ul>  |                         |           |  |   |
|           | nº anual de dies de glaçada (T=<0 °C) | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2040-2071 (respecte el 1971-2000): pels tres escenaris, la majoria del territori preveu 3 dies, tot i que per l'ideal, també 9 en municipis de l'interior.</li> </ul>   |                         |           | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2001-2050 (respecte el 1971-2000): disminució d'un 5%, sobretot a l'interior i, especialment, als Pirineus (màxims de 30-40 dies/any) (P. ESCAT).</li> </ul>        |   |

| Paràmetre        | Variable climàtica                            | Àmbits territorials   |   |   |  |  |
|------------------|---|---|---|---|--|--|
|                  |   | AMB   | Demarcació de Barcelona   | Catalunya   | Espanya  | Europa   |
| Precipitació (P) | P mitjana anual (% o mm)                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 2050: RCP4,5 no s'observen canvis; RCP8,5 disminucions del 8% (- 48 mm) respecte l'actual (ESAMB).</li> <li>· 2100: RCP4,5 no s'observen canvis; RCP8,5 disminucions del 19% (- 115 mm) respecte l'actual (ESAMB).</li> </ul>  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Variable que genera força incertesa. Molt dependent de l'escenari d'emissions considerat i de la zona geogràfica.</li> <li>· El rang de variació més probable és entre -10% i +5%. No obstant, en zones del litoral podria arribar a augmentar, sobretot al litoral nord. (P. ESCAT).</li> <li>· Període 2001-2050 (respecte el 1971-2000): major variabilitat interanual, sobretot a la zona prelitoral-litoral (P. ESCAT).</li> <li>· Període 2001-2050 (respecte el 1971-2000): P acumulada als Pirineus entre -25% i +50%; litoral i prelitoral: -75% i +120% (P. ESCAT).</li> <li>· Període 2031-2050 (respecte el 1971-2000): disminució del 6,8% a tot Catalunya --&gt; Pirineus: -5,3%; interior: -6,5%, litoral-prelitoral: -8,3% (TICCC).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2046-2065: RCP4,5 (1) disminució de fins el 20%, (2) disminució de fins el 20% i augments de fins el 10% (zones més interiors), (3) disminució de fins el 10%; RCP8,5 (1) disminució de fins el 20% (sobretot litoral), (2) variació nul·la o augments del 20% (zona interior), (3) disminució de fins el 20% (AEMET).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2071-2100 (respecte 1971-2000): RCP8,5 disminució del 40%, especialment a l'estiu (EEA).</li> </ul> |
|                  | nº anual de dies amb P > 50 mm                | <ul style="list-style-type: none"> <li>· En general es preveu un augment gairebé independent de l'RCP i període considerat, sobretot centrat a la zona del Baix Llobregat. Concretament, els augments màxims per al període 2041-2070 s'esperen de gairebé un dia, i a finals de segle d'aproximadament 0,5 dies (ESAMB).</li> <li>· Les zones planeres són les que es veurien menys afectades per aquest canvi, amb una mitjana de 0 dies/any (ESAMB).</li> <li>· La zona de Begues, i tot el marge dret del corredor del Llobregat, és on s'experimentarà un lleuger augment de P (ESAMB).</li> </ul> |   |   |  |  |
|                  | nº anual de dies amb P intensa (percentil 95) |   | <p>Canvis en el nombre de dies amb P superior al percentil 95 (%):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 2025: tenint en compte tots els escenaris i models, (1) -0,13%, (2) +1,47%, (3) +0,8% (AEMET).</li> <li>· 2030: tenint en compte tots els escenaris i models, (1) -1,21%, (2) +0,38%, (3) +2,6% (AEMET).</li> <li>· 2050: tenint en compte tots els escenaris i models, (1) -2,14%, (2) +1,76%, (3) +3,6% (AEMET).</li> </ul> |   |  |  |



| Paràmetre         | Variable climàtica  | Àmbits territorials  |   |   |  |   |
|-------------------|---|--|---|---|--|---|
|                   |   | AMB  | Demarcació de Barcelona   | Catalunya   | Espanya  | Europa  |
|                   | nº anual de dies amb P<5 mm                                 | · Període 2041-2070 (respecte el 1971-2000): la disminució més gran (7 dies) es dona en l'episodi més pessimista. En els altres casos, aquesta disminució és d'entre 1 i 5 dies (VISOR AMB). |   |   |  |   |
|                   | nº anual de dies amb P<1 mm / longitud màxima de ratxa seca |  |   | · Període 2001-2050 (respecte el 1971-2000): increment del 7,6% de la ratxa seca --> valor mitjà de 71 dies. Aquest augment seria més marcat a la zona Litoral i Prelitoral, amb valors força superiors als 100 dies.   |  | · Sequera: tendències cap a sequeres més intenses i més llargues, però segueixen sent inconsistents (IPCC). |
| Neu               |   |  |   | · Període 2001-2050 (respecte el 1971-2000): disminució de la precipitació en forma de neu, sobretot als escenaris A2 i A1B i a les cotes més baixes dels Pirineus. Per contra, l'escenari B1 fins i tot preveu lleugers augments d'innivació al Pirineu Oriental (P. ESCAT).<br>· Cap tendència clara als Pirineus. Només s'afirma una tendència envers el descens del gruix de neu a la primavera (TICCC).  |  |   |
| Pedra i calamarsa |   |  | · Cap tendència remarcable (TICCC).   |   |  | · Alt grau d'incertesa (EEA).   |
| Vent              | Velocitat mitjana del vent (anual)                          |  | · 2025: (3) tenint en compte tots els escenaris i models, el canvi de v del vent és 0,03 m/s (AEMET).<br>· 2030: (3) tenint en compte tots els escenaris i models, el canvi de v del vent és 0,005 m/s (AEMET).<br>· 2050: (3) tenint en compte tots els escenaris i models, el canvi de v del vent és -0,04 m/s (AEMET). | · Període 2001-2050 (respecte el 1971-2000): disminució de 2,7% --> Pirineus: 3,3%; litoral-prelitoral 2% (P. ESCAT).<br>· Un augment de la variabilitat interanual de la velocitat del vent mitjana anual (respecte del període 1971-2000) més marcada als Pirineus i a la Catalunya interior, i menys a la zona Litoral – Prelitoral (P. ESCAT).<br>· Període 2031-2050 (respecte el 1981-2000): reduccions de fins el 8,5% (Gonçalves-Ageitos et al., 2014). | · Període 2046-2065: (3) RCP4,5 i RCP8,5 disminució de fins a 0,1 m/s (AEMET). | · Alt grau d'incertesa però decreixement (IPCC).  |

| Paràmetre                 | Variable climàtica   | Àmbits territorials |   |  |  |   |
|---------------------------|--|---------------------|---|--|--|---|
|                           |  | AMB                 | Demarcació de Barcelona   | Catalunya  | Espanya  | Europa  |
|                           | Velocitat màxima del vent (diària)   |                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 2025: (3) tenint en compte tots els escenaris i models, el canvi de ratxa màxima diària V és 0,055 m/s (AEMET).</li> <li>· 2030: (3) tenint en compte tots els escenaris i models, el canvi de ratxa màxima diària és -0,03 m/s (AEMET).</li> <li>· 2050: (3) tenint en compte tots els escenaris i models, el canvi de ratxa màxima diària és -0,05 m/s (AEMET).</li> </ul> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2046-2065: (3) RCP4,5 i RCP8,5 disminució de fins a 0,2 m/s (AEMET).</li> </ul>   |   |
|                           | Ciclons, temporals de vent, temporals marítims, tornados i medicans (ocurrència) |                     |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Ciclons: augment de la dimensió tot i que la intensitat, el cicle de vida i el recorregut serien similars als actuals (TICCC).</li> <li>· Alt grau d'incertesa associat a la predicció de TV, TM, T i M (TICCC).</li> </ul>   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Temporals de vent: resultats divergents segons els models utilitzats --&gt; en general, un increment a la tardor i hivern, especialment, però, en zones que no corresponen amb l'àmbit SIMMB (EEA).</li> </ul> |
| Tempesta elèctrica/llamps |  |                     |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Cap tendència remarcable a l'Observatori Fabra (TICCC).</li> </ul>  |  |   |
| Boira                     |  |                     |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Lleugera tendència al descens, només significativa pel cas de l'Observatori Fabra (-2,57 dies de boira/decenni, 1919-2014) (TICCC).</li> <li>· Altres dades disponibles: Lleida, -0,59 dies de boira/decenni, 1941-2014; Ebre, -0,23 dies de boira/decenni, 1919-2014 (TICCC).</li> </ul> |  |   |
| Nuvolositat               |  |                     |   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Període 2046-2065: (3) RCP4,5 i RCP8,5 disminució de 2% (AEMET).</li> <li>· Augment del +0,4 %/decenni en la nuvolositat total anual al nord-est peninsular entre 1913 i 2010 però amb un descens marcat des del decenni de 1960 (-1,1 %/decenni) (TICCC).</li> </ul> |   |

| Paràmetre                 | Variable climàtica | Àmbits territorials   |                         |  |         |   |
|---------------------------|--------------------|---|-------------------------|--|---------|---|
|                           |                    | AMB   | Demarcació de Barcelona | Catalunya  | Espanya | Europa  |
| Augment del nivell de mar |                    | <p>· Període 2081-2100 (respecte el 1986-2005): segons l'informe METROBS (Efectes del CC al Litoral de Barcelona) d'acord amb les estimacions realitzades per l'IPCC (2013) i adaptades al Mediterrani (reducció de l'ordre del 10% en relació a la mitjana global), s'estableixen diferents escenaris: (i) Escenari 0: Condicions actuals, (ii) Escenari 1: RCP4,5 (escenari 0 + 0.47 m), (iii) Escenari 2: RCP8,5 (escenari 0 + 0.88 m) i (iv) Escenari 3: Escenari extrem HES (escenari 0 + 1.80 m) (METROBS).</p> |                         | <p>· Per a un escenari relativament benigne de l'AR5 (RCP2.6), les projeccions indiquen increments de 26 cm a 55 cm per al període 2081-2100 respecte al període 1986-2005, que representen pujades entre 2,7 mm/any i 5,8 mm/any. En el pitjor escenari actual (RCP8,5), les pujades projectades varien entre els 45 cm i els 82 cm, fet que significa augments de 4,7 mm/any a 8,6 mm/any (TICCC).</p> <p>· Les projeccions per a la Mediterrània mostren pujades lleugerament inferiors a les mitjanes globals, de fins a un 10% de diferència (TICCC).</p> <p>· Malgrat això, i a partir de les dades del Med-CORDEX, s'han obtingut estimacions que situen el nivell mitjà del mar Mediterrani entre els valors globals i 10 cm per sobre, a causa de la sobreelevació de l'Atlàntic NE, cosa que forçaria, per mitjà d'intercanvis de massa amb el Mediterrani, aquesta diferència relativa a la mitjana global (TICCC).</p> |         | <p>· Període 2081-2100 (respecte el 1986-2005): RCP2,6 increments de 0,26 a 0,55 m; RCP8,5 increments de 0,45 a 0,82 m (IPCC).</p> <p>· Elevat grau d'incertesa a les projeccions regionalitzades europees: les projeccions per a la Mediterrània mostren pujades lleugerament inferiors a les mitjanes globals, de fins a un 10% de diferència (IPCC).</p> <p>· Les projeccions regionals de canvis relatius al nivell del mar són més incerts que les projeccions mundials, a causa de les capacitats reduïdes dels models mundials i les interaccions entre l'Atlàntic i el Mediterrani (MedECC).</p> <p>· A més, els patrons de circulació a la Mediterrània també es poden modificar i generar canvis de nivells regionals sobre el nivell del mar, amb diferències locals en l'altura de la superfície del mar fins a 10 cm (MedECC).</p> <p>· Període 2070-2099: augments de 34 a 49 cm a la Mediterrània, tot i que, si a més dels canvis en la temperatura es tenen en compte altres components, com el desgel o l'halostèric, els augments poden ser de 49 a 79 cm (Fanny Adloff et. al, 2014).</p> |

Font: elaboració pròpia a partir de diverses fonts.



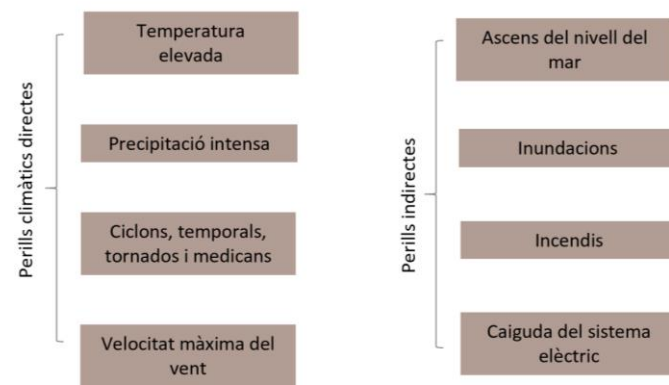
## 4.2. Identificació dels principals perills climàtics

Com s'ha explicat a l'apartat anterior, si bé existeixen nombroses variables climàtiques d'interès pels objectius del projecte només algunes disposen de projeccions d'escenaris climàtics futurs i encara menys d'escenaris regionalitzats a una escala adequada per l'àmbit SIMMB.

Assumint aquest premissa –però sense renunciar a variables rellevants per la mobilitat– s'han seleccionat un nombre acotat de perills climàtics amb elevada incidència potencial sobre el sistema de mobilitat, per tal de garantir una adequada anàlisi de la vulnerabilitat (vegeu 5.3 *Anàlisi de vulnerabilitats*).

Per a l'anàlisi es diferencien perills climàtics directes –temperatures elevades, precipitacions intenses, temporals i vents forts– de perills indirectes associats a fenòmens meteorològics extrems: augment del nivell del mar, inundacions, incendis, caiguda del sistema elèctric.

Figura 4.2. Principals perills climàtics directes i indirectes considerats a l'informe.



Font: elaboració pròpia.

En els perills directes existeix una correlació elevada entre la magnitud del fenomen meteorològic en una zona determinada del territori i l'afectació sobre el sistema de mobilitat en el mateix àmbit.

En els indirectes es poden produir una o més de les següents circumstàncies:

- El fenomen meteorològic es pot produir en una àrea poc o molt allunyada d'on es constaten els efectes pel sistema de mobilitat. Per exemple en el cas de llamps que provoquin un incendi forestal que es propagui pel territori o que afectin la xarxa de transport o distribució elèctrica i que deixin sense servei àmplies zones del territori. També en el cas de precipitacions intenses a la capçalera d'una conca hidrogràfica que provoquin inundacions aigües avall i, per descomptat, en el cas del desgel de les zones polars que deriva en l'ascens del nivell del mar a diferents punts del planeta.
- La relació del fenomen meteorològic amb el perill, amb independència de si es produeix prop o lluny de la zona d'afectació, no té una correlació tant directa amb la magnitud del risc. Així, per

exemple, un incendi forestal no causat per un llamp sinó d'origen antròpic es pot veure afavorit per elevades temperatures –que redueixen la humitat de l'aire–, vents forts –que propaguen l'incendi a gran velocitat– o períodes perllongats de sequera –que augmenten la inflamabilitat de la vegetació–.

A continuació, s'exposen els perills climàtics considerats i la vinculació potencial que presenten amb el sistema de mobilitat.

### 4.2.1. Perills climàtics directes

- Temperatura elevada

Catalunya pot experimentar el 2050 un increment de la temperatura anual de fins a 2 °C respecte el període de referència considerant l'escenari més pessimista, sent l'estiu l'estació de l'any amb un augment més significatiu. De fet, el nombre de dies tòrrids també es preveu que augmenti, així com la durada i freqüència de les onades de calor, fenòmens que molt previsiblement es donaran a l'estiu.

Aquestes altes temperatures poden afectar directament el confort dels usuaris, però també la infraestructura física (paviments de carreteres a la xarxa viària i rails i catenàries en els cas del mode ferroviari), així com també els circuits electrònics en armaris tècnics i centres de control.

- Precipitació intensa

Si bé és cert que, com s'ha comentat anteriorment, la precipitació és un paràmetre que té associat un elevat grau d'incertesa, l'ocurrència de pluges torrencials tendirà a augmentar. D'altra banda, si més no en algunes zones de l'àmbit SIMMB, el nombre anual de dies amb precipitació superior a 50 mm també s'incrementa.

Els problemes directes d'una precipitació intensa en un curt període de temps –a banda de la reducció de la visibilitat– tenen a veure amb l'acumulació d'aigua *in situ* per la incapacitat dels sistemes de drenatge a evacuar-la, tot arribant a impedir la circulació de vehicles, així com la inundació d'infraestructures subterrànies (com les estacions de metro). Els efectes d'una precipitació intensa s'accentuen en entorn urbans, on predominen els paviments impermeables, que faciliten un ràpid escolament de l'aigua i una taxa d'infiltració molt baixa.

A més, les pluges torrencials poden provocar moltes altres afectacions: desbordament de rius i rieres, danys estructurals per socavació i erosió, desestabilització de talussos, despreniments i esllavissades, etc.

- Ciclons, temporals, tornados i medicans, i velocitat màxima del vent

Malgrat que aquestes variables també presenten un alt grau d'incertesa associat i no es disposa de projeccions específiques, formen part d'un conjunt de fenòmens meteorològics extrems que els diferents models climàtics indiquen que veuran augmentada la seva freqüència i/o intensitat.

Tots ells poden afectar notablement la mobilitat i, en funció de la magnitud, fins i tot interrompre els serveis de transport i provocar danys físics a la infraestructura: caiguda d'elements propis de la infraestructura (rètols, senyals, catenàries, tancaments perimetrals), despeniment d'elements externs sobre la via (roques, materials diversos enduts pel vent), així com d'altres equivalents als ja indicats en cas de precipitació intensa.

#### 4.2.2. Perills climàtics indirectes

- Ascens del nivell del mar

L'augment de la temperatura global comportarà un augment del nivell del mar que afectarà les zones costaneres amb intensitat variable en funció de la cota del terreny i les mesures preventives existents. Tal i com s'ha indicat a la taula-resum, aquest ascens pot assolir fins 1,8 m a l'AMB si es considera l'escenari més pessimista.

Les infraestructures situades prop de la línia de costa –com la línia R1 de Rodalies al seu pas pel Maresme– que ja en l'actualitat es veuen afectades per episodis de llevantades, poden incrementar el nivell d'afectació com a conseqüència d'aquest fenomen. A més, en general totes les infraestructures situades en una franja costanera, d'amplada variable segons la cota del terreny, incrementaran la seva exposició. Cal remarcar també que una presència més continuada i freqüent d'aigua salada sobre les infraestructures pot accelerar processos de corrosió dels materials, com ara els rails.

- Inundacions

Tal i com s'ha exposat, les inundacions poden considerar-se un efecte indirecte derivat de precipitacions intenses en d'altres punts de la conca hidrogràfica, però que acaben acumulant-se a les cotes baixes i no necessàriament vinculades a cursos fluvials (rius, rieres, torrents). Així, per exemple, és freqüent la inundació de passos inferiors.

Els efectes d'aquestes inundacions són anàlegs als exposats en el cas de precipitacions intenses.

- Incendis

Com s'ha indicat, existeixen diversos factors meteorològics que poden afavorir l'origen i la propagació d'un incendi, més enllà de les causes directes. A l'augment de les temperatures acompanyat d'un major nombre i durada d'episodis de sequera o ratxes de vent fort, cal afegir-hi altres efectes a més llarg termini, com ara els canvis en la tipologia de la vegetació, atès que els canvis en les condicions climàtiques afavoreixen l'expansió d'espècies termòfiles mediterrànies, moltes de les quals tenen caràcter piròfit, com el pi blanc.

- Caiguda del sistema elèctric

El sistema elèctric funciona com una gran xarxa interconnectada entre els centres de generació i els punts de consum final, amb una xarxa de transport a llarga distància que s'incardina amb una xarxa de distribució a escala més local. Tot i el creixent mallat de la xarxa, que permet compensar incidències en determinats punts en temps real, es poden produir interrupcions del servei en zones poc o molt allunyades dels punts d'afectació.

La caiguda del servei pot estar provocada per danys estructurals en les infraestructures elèctriques (línies de transport o distribució, subestacions), que poden ser causats per múltiples factors directament o indirecta relacionats amb fenòmens meteorològics: ratxes fortes de vent, grans temporals, medicans (minihuracans mediterranis), incendis o inundacions.

Les conseqüències d'un tall elèctric sobre el sistema de mobilitat són molt directes i evidents en el cas del sistema ferroviari (tren, metro, tramvia) i comporten la interrupció del servei. De manera més indirecta també poden afectar la mobilitat en general com a conseqüència de la fallada dels sistemes de senyalització elèctrics (semàfors, rètols lluminosos, etc.) o fins i tot dels diversos elements de gestió i control basats en components electrònics (armaris tècnics, centres de control). Cal remarcar que els problemes es poden produir no només per una interrupció del subministrament, sinó per alteracions en els seus paràmetres, com ara sobretensions que poden inutilitzar components electrònics.

## 5. Avaluació de les afectacions del canvi climàtic sobre el sistema de mobilitat

### 5.1. 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 envers 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:

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

### 5.2. Identificació i caracterització de riscos sobre el sistema de mobilitat

Els riscos potencials sobre el sistema de mobilitat derivats de fenòmens meteorològics (directes o indirectes) i, per extensió vinculats als efectes del canvi climàtic són nombrosos i poden incidir a diferents nivells del sistema, tant en termes infraestructurals com operacionals. A més, part dels riscos són específics de determinats elements d'una infraestructura (com ara ferm a la xarxa viària, raïls i catenàries a la xarxa ferroviària) i, per tant cal una anàlisi transversal i integradora de les peculiaritats dels diferents mitjans de transport.

Per dur a terme aquesta anàlisi s'ha dut a terme un treball intern previ d'identificació i valoració dels diferents riscos a escala de l'àmbit SIMMB, a partir d'una compilació més extensa de riscos potencials obtinguda d'un *benchmarking* a escala europea. Les principals fonts consultades per establir aquesta caracterització preliminar de riscos potencials són les següents:

- Ministeri de Foment i d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient, ADIF, RENFE, Ports de l'Estat, Aena, INECO, CEDEX, OECC i AEMET (2013). Necessitats d'adaptació al canvi climàtic de la xarxa troncal d'infraestructures de transport a Espanya.



- Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient, la Fundació Biodiversitat i l'OECC (2014). Integració de l'adaptació al canvi climàtic a l'estratègia empresarial. Guia metodològica per a l'avaluació dels impactes i la vulnerabilitat en el sector privat. Cas pilot: Renfe.
- EEA (2017). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report*.
- Doll, C., et al. (2011). *Adaptation Strategies in the Transport Sector. Deliverable 4 of the research project WEATHER*.

A partir d'aquesta anàlisi prèvia, els riscos seleccionats amb possibles afectacions sobre les infraestructures són:

- **Deformació i/o esquerdat del paviment**

Les elevades temperatures són el principal motiu pel qual el paviment pot experimentar deformacions. Si la temperatura supera els 45 °C, l'asfalt pot deformar-se i, en cas que no es repari immediatament, si plou, la infiltració de l'aigua pot comprometre la seva rigidesa, resultant en esqueraments. A més, les esquerdes a l'asfalt també poden ser provocades per excessiu enduriment com a conseqüència de la incidència d'alts índexs de raigs UV i una elevada oxidació provocades per onades de calor.

- **Deformació dels rails**

Les temperatures elevades extremes poden causar deformacions als rails de la xarxa ferroviària pel fenomen tèrmic de la dilatació. Cal tenir en compte que, una temperatura ambient alta (superior als 30 °C) acompanyada d'una exposició solar directa i prolongada, pot suposar que la temperatura dels rails arribi a ser fins a 20 °C més elevada que a l'aire ambient. Aquest fenomen condueix a la desalineació lateral de les vies i pot provocar descarrilaments.

- **Deformació de la catenària**

Amb relació a l'aspecte anterior, els cables de la catenària també poden patir dilatacions tèrmiques, tot afectant el subministrament elèctric i provocant, en conseqüència, l'alteració del servei ferroviari.

- **Crioclàstia del paviment**

Per contra, les baixes temperatures també poden afectar les infraestructures de transport. En aquest cas, aquest fenomen, conegut també amb el nom de gelifracció, provoca fragmentacions al paviment degut a les tensions produïdes per la congelació de l'aigua que hagi pogut quedar infiltrada a l'interior. No obstant, aquest fenomen no és comú a l'àmbit SIMMB ateses les condicions climàtiques imperants a la major part d'aquest territori. D'altra banda, tenint en compte les projeccions climàtiques que contempen un augment de la temperatura mitjana –també els mesos d'hivern– aquest fenomen es preveu que tendeixi a disminuir respecte la situació actual.

- **Capacitat insuficient dels sistemes de drenatge i inundacions a la via, túnels o ponts**

Els sistemes de drenatge de les infraestructures de transport poden arribar a col·lapsar si la seva capacitat és insuficient i/o si aquests elements es troben obturats o obstaculitzats per elements

que la pròpia precipitació hagi pogut arrossegar (sediments, restes de vegetació i fullaraca, materials antròpics, etc.).

Cal tenir en compte també que els criteris de disseny dels sistemes de drenatge (amb els càlculs hidrològics associats) d'acord amb la normativa vigent, poden resultar insuficients –ja en l'actualitat i més encara per escenaris futurs– atenent a l'increment de freqüència i intensitat dels fenòmens meteorològics extrems, en particular pluges torrencials, que preveuen els models climàtics.

- **Inundacions a les estacions subterrànies**

Amb relació al risc anterior, les elevades precipitacions acompanyades per un sistema de drenatge insuficient o inadequat, poden comportar que les infraestructures soterrades (estacions, xarxa de metro) s'inundin, quedant així inoperatives i causant afectacions al servei.

- **Danys a la via per desprendiments, esllavissades i/o caiguda d'altres elements (arbres, etc.)**

Plugues intenses i vents forts poden afavorir la caiguda de materials i vegetació sobre el traçat de la xarxa viària i ferroviària, especialment en aquells casos on la via està construïda en terrabuit o en fons de vall. En funció de la magnitud del fenomen es poden produir danys directes sobre el ferm o les vies i, en qualsevol cas, es genera una alteració del normal funcionament de la mobilitat i fins i tot provocar-ne l'aturada completa.

- **Desestabilització de talussos**

La desestabilització dels talussos sobre els que estiguin construïts en terraplè elements de la xarxa viària i ferroviària també poden comportar afectacions infraestructurals i operacionals, de manera anàloga a l'exposat en el cas anterior.

- **Danys estructurals per socavacions i erosió**

Les elevades precipitacions sovint acompanyades d'inundacions produïdes, per exemple, per desbordaments de rius i rieres, poden causar afectacions sobre les infraestructures de transport, com ara les bases dels pilars dels ponts o els materials situats sobre la volta dels túnels.

- **Afectació als sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació**

En cas que es produeixin avaries a la xarxa elèctrica per diferents motius tals com incendis o tempestes elèctriques, el sistema de senyalització, comunicació i il·luminació pot patir afectacions. Aquestes, depenent del tipus i llargària del tram afectat, poden causar més o menys afectacions de diferent calibre.

- **Afectació als sistemes de tancament (tanques de carreteres i ferrocarril)**

Les ratxes fortes de vent poden afectar els sistemes de tancament i de protecció si no es troben ben ancorats al terra o estan descalçats per afectacions prèvies (inundacions, erosió).

- **Congelació de la catenària**

Tal i com succeeix amb el fenomen de la crioclàstia, la congelació de la catenària, tot i ser un fenomen documentat, no es considera que sigui rellevant de cara a escenaris climàtics futurs. De manera anàloga al que s'ha indicat en el cas de la crioclàstia, tots els models climàtics

apunten que serà un fenomen menys freqüent per l'ascens de les temperatures mitjanes, també els mesos d'hivern.

- **Bloqueig de les agulles**

Les baixes temperatures i la presència de gel i neu a les vies també pot provocar una congelació de les agulles a les vies ferroviàries. Novament, la previsió d'aquest perill climàtic a l'àmbit SIMMB apunta a una disminució en la freqüència del fenomen.

D'altra banda, els riscos relacionats amb l'operació i els serveis de mobilitat són:

- **Reducció de la fricció superficial i eficàcia dels sistemes de frenada**

En cas d'elevades precipitacions o presència de gel i/o neu a la calçada, la fricció superficial dels vehicles rodats pot veure's afectada, esdevenint un perill i augmentant la possibilitat de sinistralitat. En el context SIMMB aquest risc estarà associat fonamentalment a precipitacions intenses i inundació de les zones de trànsit, tant en infraestructures viàries com ferroviàries.

- **Disminució de l'eficàcia del sistema d'arrancada**

En casos de temperatures molt baixes, s'han registrat afectacions al servei ferroviari a causa de l'afectació al sistema d'arrancada, fet que pot provocar alteracions del servei. Com en els casos anteriors, no es preveu que sigui un impacte significatiu en el futur, atès l'augment de la temperatura.

- **Aturada dels combois per pèrdues en el subministrament elèctric**

Les avaries a les infraestructures del sistema elèctric causades per diferents motius, com s'ha indicat (vegeu 5.2. *Identificació i caracterització de riscos*), poden afectar el subministrament elèctric dels combois ferroviaris –i també a dispositius de gestió i control del trànsit–, tot provocant interrupcions, cancel·lacions o retards significatius, depenent de la magnitud de la incidència.

- **Sobreescalfament de motors i avaries en vehicles**

Les elevades temperatures –acompanyades d'una exposició solar directa i prolongada– poden afectar el correcte funcionament i operació dels vehicles, tant viaris com ferroviaris, degut a un sobreescalfament dels motors i/o d'altres elements essencials dels vehicles.

- **Alteració dels elements estructurals i/o de l'estabilitat dels vehicles**

Fenòmens meteorològics tals com la neu o la calamarsa poden causar danys estructurals sobre els vehicles, de més o menys importància, en funció de la seva magnitud i intensitat. A més, altres fenòmens com els mencionats o les fortes ratxes de vent poden posar en perill l'estabilitat dels vehicles, sobretot d'aquells de més alçada, arribant inclús a bolcar.

- **Reducció de la visibilitat**

L'ocurrència de certs fenòmens meteorològics adversos com les pluges torrencials o la boira poden disminuir la seguretat de la conducció com a conseqüència de la reducció de la visibilitat.

- **Disminució del confort climàtic**

Les elevades temperatures ambientals, especialment a l'estiu, poden comprometre el confort climàtic de passatgers i treballadors, fet que es pot agreujar en cas d'exposició solar directa o situacions especials, com les andanes del metro. A més, pot esdevenir un factor de risc en la conducció, tot augmentant la fatiga i la possibilitat de patir un accident.

### 5.3. Anàlisi de vulnerabilitats

#### 5.3.1. Consideracions metodològiques

Un cop es disposa de la informació relativa als principals perills climàtics i els riscos potencials sobre les infraestructures i el sistema de mobilitat a l'àmbit SIMMB, cal analitzar la vulnerabilitat dels diferents elements del sistema.

Idealment, aquesta anàlisi s'hauria d'abordar de manera quantitativa, avaluant per cada tipologia d'element infraestructural i tipus de perill climàtic en cada punt del territori quina és la vulnerabilitat i/o la resiliència teòrica. És evident, però, que aquesta anàlisi és impossible d'abordar a la pràctica, atès que requeriria d'un coneixement precís dels elements constructius emprats arreu, dels llindars de sensibilitat dels diferents materials i mesclures usats a determinats paràmetres climàtics –com ara les mesclures bituminoses respecte la temperatura o del dimensionament dels drenatges respecte la precipitació–, així com de projeccions a molt alta resolució pels diferents perills climàtics.

Una manera d'aproximar-se a aquesta anàlisi consistiria en disposar de llindars crítics genèrics pels diferents perills climàtics, és a dir, valors de les variables climàtiques a partir dels quals es constaten problemàtiques concretes sobre les infraestructures: per exemple, temperatura de l'aire a partir de la qual es poden generar deformacions sobre els ferms, els rails o les catenàries. Aquesta aproximació – que presenta el gran inconvenient de no tenir en compte que les característiques intrínseques dels materials constructius varien tant en l'espai com en el temps– és la que es va contemplar en el projecte europeu EWENT (vegeu Annex 2, apartat 1.2. Projectes singulars de la UE). A l'informe corresponent a la fase I del projecte es van establir una sèrie de llindars, a partir dels quals diferents variables meteorològiques podrien generar riscos pel sistema de mobilitat. D'acord amb la informació disponible del projecte EWENT, aquests llindars es van establir mitjançant la compilació bibliogràfica de diversos informes i estudis, tot i que no es disposa d'una relació dels mateixos.

Les dues taules següents, una relativa a la xarxa viària i l'altra a la xarxa ferroviària, sintetitzen –i adapten, en algun cas– informació relativa als efectes associats a diversos llindars de temperatura i precipitació d'acord amb el projecte EWENT. Als efectes del present informe s'han inclòs únicament llindars específicament referenciats per la regió mediterrània (per bé que, en molts casos, compartits per d'altres regions europees).

Taula 5.1. Impactes i conseqüències sobre la xarxa viària associats a determinats llindars de variables climàtiques establerts en el marc del projecte europeu EWENT.

| Límit                      | Impactes  | Conseqüències sobre les infraestructures | Conseqüències sobre la operativitat                                   | Regió afectada                        |
|----------------------------|---|--|---|---------------------------------------|
| <b>Temperatura elevada</b> |   |  |   |                                       |
| > 25°C                     | Augment de la fatiga dels conductors.                                     | –  | Possibilitat d'increment en la col·lisió.                             | Mediterrània, temperada i escandinava |
| > 32 °C                    | Danys al paviment (p. ex. deformació) i restriccions en les actuacions de | –  | Increment en la taxa de sinistralitat, els retards i les desviacions. | Mediterrània i temperada              |

| Límit                       | Impactes  | Conseqüències sobre les infraestructures   | Conseqüències sobre la operativitat   | Regió afectada  |
|-----------------------------|---|--|---|---|
|                             | manteniment i construcció.  |  |   |   |
| > 43°C                      | Esgotament produït per la calor.  | –  | Increment de la sinistralitat, els retards i les desviacions.   | Mediterrània i temperada                                |
| <b>Precipitació intensa</b> |   |  |   |   |
| ≥ 50 mm / 24h               | Inundació de les carreteres, reducció de la fricció superficial.  | Danys a les carreteres secundàries sense asfaltar, increment del risc de col·lisió.  | –   | Mediterrània, temperada, escandinava, alpina i marítima |
| 100 mm / 48h                | Esllavissades, erosió, superfície de la carretera lliscant, baixa visibilitat. Col·lapse del sistema de drenatge: inundació dels carrers i dels passos subterranis.   | Erosió dels materials de construcció i danys al paviment, col·lapse del sistema de drenatge. Afectacions al trànsit i costos de reconstrucció significatius.   | Reducció en la velocitat de circulació (embussos → retards), afectacions a l'accessibilitat i canvis en la qualitat del servei.   | Mediterrània, temperada, escandinava, alpina i marítima |
| 150 mm / 24h                | Inundacions, erosió de les infraestructures, moviment de terres, afectacions al sistema de senyalització i de subministrament elèctric, visibilitat baixa. Afectacions majors en les carreteres sense asfaltar. | Presència d'aigua a les carreteres i als sistemes soterrats, destrucció de les infraestructures, desestabilització de talussos i terraplens. Tancament de les carreteres i alts costos econòmics de reconstrucció. | Reducció en la velocitat de circulació (embussos → retards), afectacions a l'accessibilitat i canvis en la qualitat del servei. Danys als vehicles, als equipaments i a les infraestructures. | Mediterrània, temperada, escandinava, alpina i marítima |

Font: adaptació a partir del projecte EWENT.

Taula 5.2. Impactes i conseqüències sobre la xarxa ferroviària associats als llindars crítics de diferents variables climàtiques en funció de la regió europea.

| Límit                      | Impactes   | Conseqüències sobre les infraestructures   | Conseqüències sobre la operativitat                               | Regió afectada |
|----------------------------|--|--|---|----------------|
| <b>Temperatura elevada</b> |  |  |   |                |
| > 25°C                     | Calor, canvis sobtats en la temperatura, incendis. | Sobreescalfament de les infraestructures i dels materials, canvis sobtats en la temperatura. | Fatiga dels conductors i afectacions al sistema de senyalització. | Mediterrània   |
| > 32 °C                    | Sequera i tempestes de sorra.                      | -  | Disminució del confort climàtic dels passatgers i del personal.   | Mediterrània   |



| Límit                       | Impactes  | Conseqüències sobre les infraestructures  | Conseqüències sobre la operativitat   | Regió afectada  |
|-----------------------------|---|---|---|---|
| > 43°C                      | Calor extrema i baix nivell de l'aigua subterrània.   | Danys a la via (expansió tèrmica), a d'altres infraestructures i instal·lacions.  | Increment en la taxa de sinistralitat, els retards i les desviacions.   | Mediterrània  |
| <b>Precipitació intensa</b> |   |   |   |   |
| ≥ 50 mm / 24h               | Inundació i erosió del sòl.   | Erosió dels materials de construcció i danys a la via, als equipaments i a altres infraestructures. Col·lapse del sistema de drenatge (inundació de les vies i altres estructures soterrades).                            | Pèrdua d'eficiència dels sistemes d'arrancada (menys velocitat → retards), afectacions a l'accessibilitat i canvis en la qualitat del servei (cancel·lacions i interrupcions del servei). Danys als vehicles, als equipaments i a les infraestructures. | Mediterrània, temperada, marítima i alpina              |
| 100 mm / 24h                | -   | Col·lapse al sistema de drenatge i inundació als passos soterranis.   | Compromís de la seguretat del personal que duu a terme treballs d'inspecció i de reparació.   | Mediterrània, temperada, marítima i alpina              |
| 150 mm / 24h                | Moviment de terres i caiguda de roques.   | Inundació a les vies, afectacions al sistema de metro i caiguda d'elements a la via.  | Retards al sistema ferroviari i tancament de les vies.  | Mediterrània, temperada, marítima i alpina              |
| <b>Ratxa de vent</b>        |   |   |   |   |
| ≥ 17 m/s                    | Inundació per l'ascens del nivell del mar. Danys a la via i a altra infraestructura com els cables. Pèrdua d'electricitat | Danys a les infraestructures (p. ex. soscavació de les bases dels ponts), materials i equipaments. Afectacions al sistema de subministrament elèctric. Increment del lliscament degut a la caiguda de fulles dels arbres. | Retards, cancel·lacions i interrupcions al servei ferroviari. Increment de la possibilitat de sinistralitat. Afectacions als sistemes d'arrencada i frenada. Afectacions als sistemes de climatització, il·luminació i informatius.                     | Mediterrània, temperada, escandinava, alpina i marítima |
| ≥ 25 m/s                    | Caiguda d'arbres a la via i afectacions al sistema de subministrament elèctric  | Talls subministrament elèctric significatius.   | Retards i cancel·lacions al servei ferroviari.  | Mediterrània, temperada, escandinava, alpina i marítima |
| ≥ 32 m/s                    | Caiguda d'arbres a la via i afectacions al sistema de subministrament elèctric  | Danys materials significatius   | En cas de torb, el servei queda interromput.  | Mediterrània, temperada, escandinava, alpina i marítima |

Font: adaptació a partir del projecte EWENT.

Com ja s'ha apuntat abans, però, no es considera que aquests líndars siguin extrapolables als objectius del present informe –tot i que han estat tinguts en compte– considerant els següents factors:

- L'enfocament metodològic i abast territorial europeu del projecte EWENT (per exemple, inclou tota la península ibèrica dins de la regió mediterrània).
- El fet que no contempla les diferències de normatives i reglaments en matèria d'obra civil dels diferents països. Per exemple, al Regne Unit ja s'han constatat diversos episodis de deformació de rails atès que la normativa sobre aquests elements constructius és més laxa que l'espanyola, que ja d'entrada considera rangs de temperatura més elevats.
- L'elevada heterogeneïtat dels elements infraestructurals existents en l'actualitat –construïts en diferents períodes temporals i sota diferents regulacions i normatives, amb eventuais canvis al llarg del seu cicle de vida derivats d'operacions de manteniment, ampliacions, etc.– no permet establir un líndar genèric únic a partir del qual es produeixen efectes. Per exemple, danys al paviment amb temperatures superiors a 32 °C com indica la taula 2.1. D'altra banda, els danys al paviment, tot i estar relacionats amb la temperatura de l'aire ambient, depenen fonamentalment de la temperatura assolida pel propi paviment (més elevada que la temperatura ambient) i del període de temps durant el qual es troben efectivament sotmesos a aquest sobreescalfament.

Així doncs, als efectes del present projecte, l'anàlisi de vulnerabilitat 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.

De fet, 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.

### 5.3.2. Matriu d'impactes potencials

A continuació s'adjunten les matrius d'impactes potencials resultants a partir de la metodologia exposada a l'apartat anterior: 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 5.3. 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 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 |
| 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 5.4. 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 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 |
| Ascens del nivell del mar  |  |                       |                            |                          | 🚗🚆   |  |   | 🚗🚆  | 🚗🚆  |   |   |                            |                         |
| Altres inundacions (acumulació d'aigua procedent d'altres zones) |  |                       |                            |                          | 🚗🚆   |  | 🚗🚆  |   | 🚗🚆  |   |   |                            |                         |
| Caiguda del sistema elèctric                                     |  |                       |                            |                          |  |  |   |   |   | 🚗🚆  |   |                            |                         |
| Incendis   | 🚗  | 🚗🚆                    | 🚗🚆                         |                          |  |  | 🚗🚆  |   |   | 🚗🚆  | 🚗🚆  |                            |                         |

Font: elaboració pròpia.



Taula 5.5. 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 | Sobreescaufament 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.

## 5.4. Priorització dels riscos

La multiplicitat de variables i paràmetres a considerar –climàtics i de mobilitat– requereix una priorització que permeti identificar els riscos clau en l'àmbit SIMMB, per tal de focalitzar els esforços preventius i adaptatius en un nombre acotat de temàtiques. Així, d'acord amb els resultats de les matrius d'impacte potencial, s'han prioritzat aquells riscos que poden tenir una incidència més elevada bé sigui per una alta probabilitat d'ocurrència, per la magnitud de les conseqüències o bé per una combinació d'ambdós factors.

Com a resultat de la valoració realitzada s'han identificat, a partir dels perills climàtics rellevants, un seguit de riscos d'atenció prioritària agrupats en dues categories principals: riscos sobre la infraestructura i sobre l'operació.

### 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 soscavacions i erosió
- Deformació i/o esquerdat del ferm
- Deformació dels raïls 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

Tal i com mostra l'esquema adjunt, cada perill climàtic (directe o indirecte) pot ser la causa de més d'un risc i, a l'inrevés, cada risc identificat pot estar vinculat a més d'un perill, de manera que es constata l'existència de múltiples interaccions i efectes creuats entre els diferents riscos.

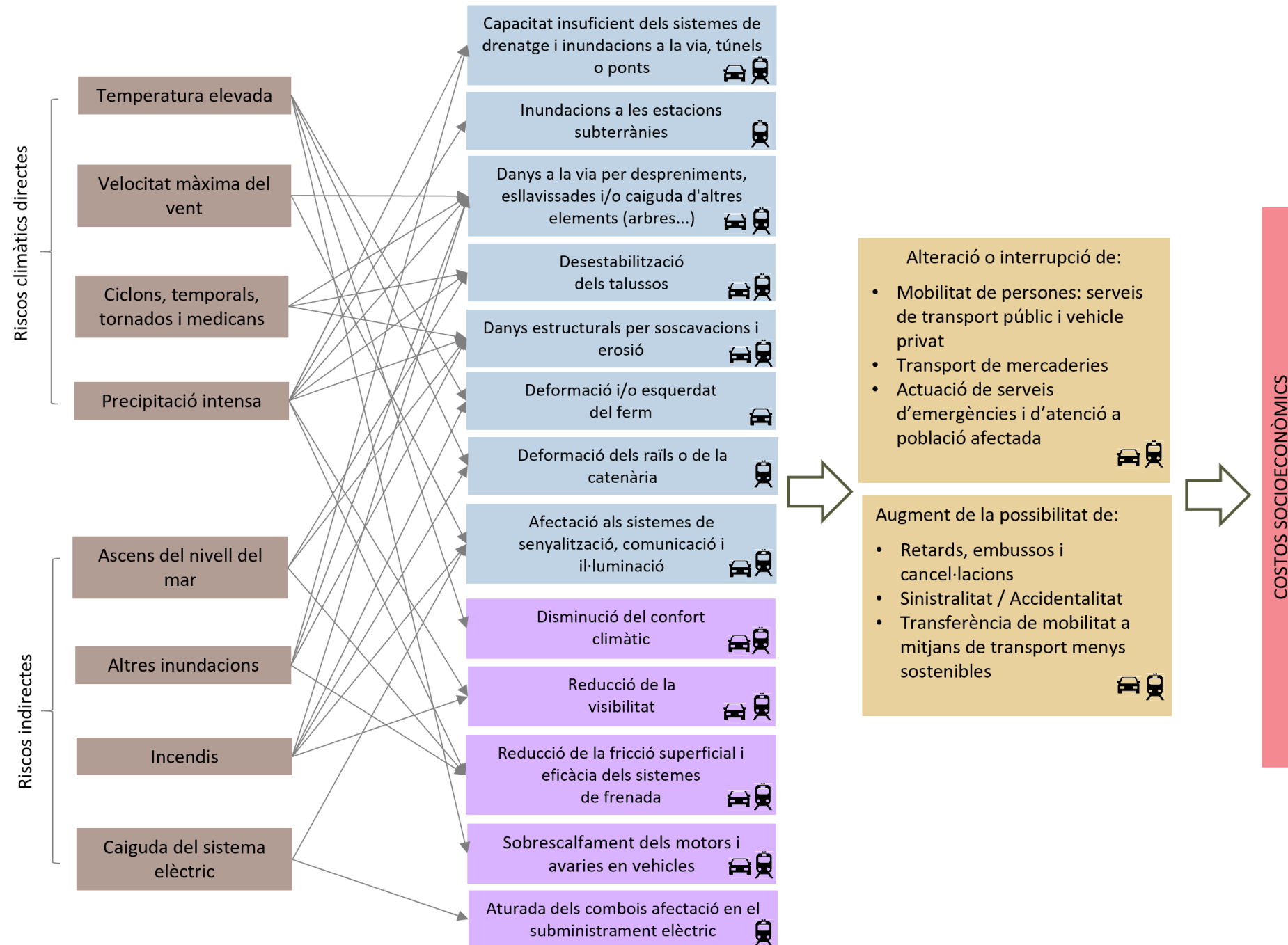
Més enllà del seu efecte directe sobre la infraestructura i/o l'operació del sistema de mobilitat, la materialització d'un o més riscos dels descrits provoca, com a efectes derivats:

- 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 modes 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. En aquest sentit cal remarcar que existeixen eines per avaluar els costos econòmics de les externalitats del sistema de mobilitat (retards, accidents, etc.), entre els quals cal destacar el Sistema d'avaluació d'Inversions en Transport (SAIT) del DTS<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Més informació a: [https://territori.gencat.cat/ca/03\\_infraestructures\\_i\\_mobilitat/carreteres/SAIT/](https://territori.gencat.cat/ca/03_infraestructures_i_mobilitat/carreteres/SAIT/)

Figura 5.1. 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 (🚗🚆).



Font: elaboració pròpia.



Molts d'aquests riscos responen a fenòmens que ja s'han observat els últims anys a l'àmbit SIMMB de manera més o menys habitual. Cal remarcar que aquests fenòmens, atribuïbles de manera directa o indirecta a esdeveniments meteorològics, no són necessàriament categoritzables com a efectes del canvi climàtic, tot i que en la major part de casos sí que es pot afirmar que la seva intensitat o freqüència s'ha accentuat els darrers anys com a conseqüència de canvis en el clima que ja s'estan constatant i que s'accentuaran al llarg de les properes dècades.

A títol d'exemple, cal destacar episodis recents com els següents:

- Afectacions i retards sobre la xarxa ferroviària en superfície derivats de temporals i pluges intenses que, en ocasions provoquen també desprendiments o caiguda d'arbres sobre les vies provocant la interrupció del servei. Un cas habitual d'aquests fenòmens es produeix a la línia R1 de Rodalies al seu pas pel Maresme, atès que per la seva localització registra retards significatius –ja que els trens han de reduir la seva velocitat de circulació per seguretat– o interrupcions del servei quan hi ha llevantedes.
- Diverses incidències per inundació a les estacions subterrànies del metro de Barcelona, forçant, en alguns casos, el seu tancament i/o la interrupció del servei. Per exemple, les estacions de Tetuan i Sant Roc, de la línia 2; Arc de Triomf, Urgell i Espanya, de la línia 1; Joanic, de la línia 3 i Lesseps, de la línia 4, durant les pluges registrades el 4 de desembre de 2019.

Figura 5.2. Temporal marítim vora el tram de Rodalies entre Mataró i Vilassar (esquerra) i inundació de l'estació de Verdaguier com a conseqüència de precipitacions torrencials (dreta).

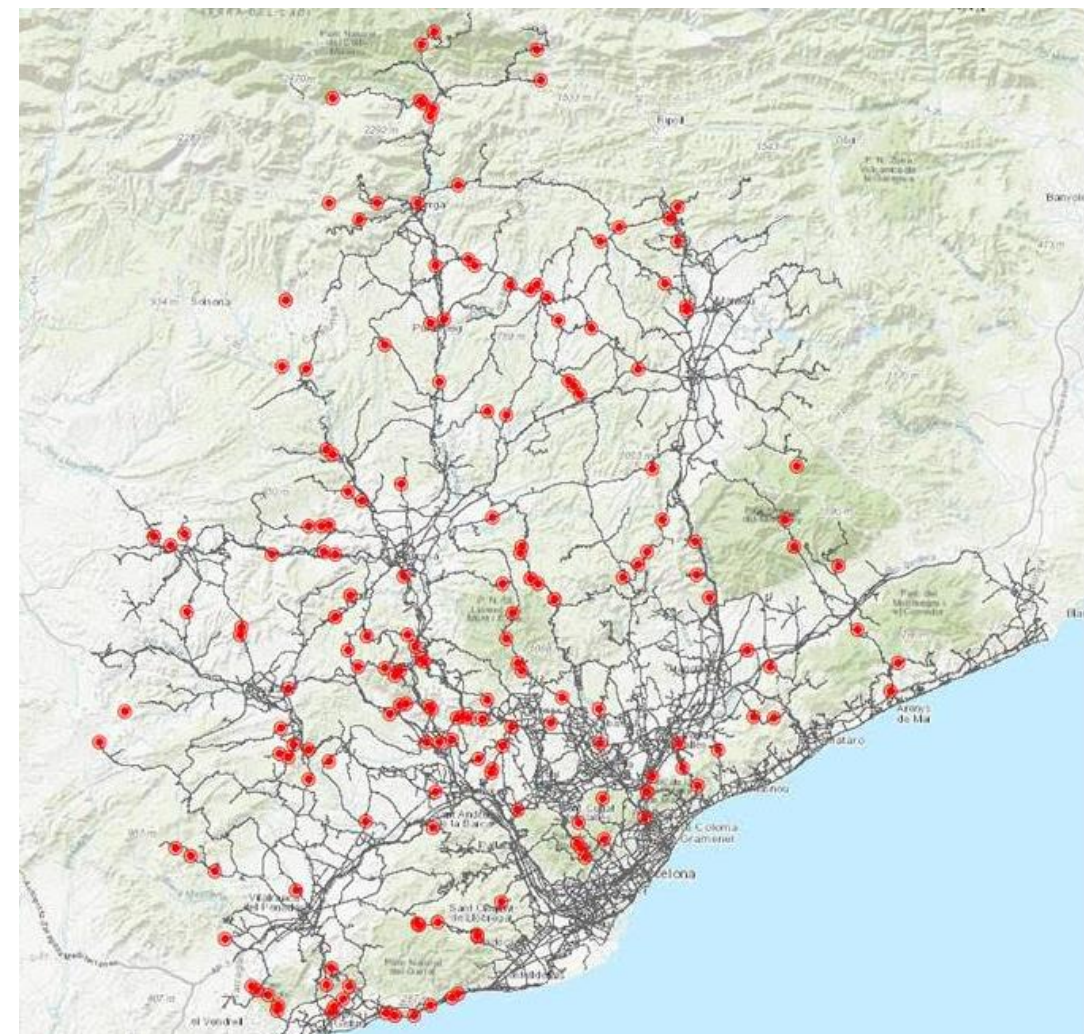


Font: [https://www.capgros.com/mataro/mobilitat/les-rodalies-del-maresme-col-lapsades-a-causa-del-temporal-de-pluja-i-vent\\_721492\\_102.html](https://www.capgros.com/mataro/mobilitat/les-rodalies-del-maresme-col-lapsades-a-causa-del-temporal-de-pluja-i-vent_721492_102.html)

[https://www.metropoliabierta.com/el-pulso-de-la-ciudad/metro-verdaguer-sagrada-familia-inudada-lluvia\\_18588\\_102.html](https://www.metropoliabierta.com/el-pulso-de-la-ciudad/metro-verdaguer-sagrada-familia-inudada-lluvia_18588_102.html)

- La xarxa viària també pateix incidències com a conseqüència de les fortes precipitacions. Per exemple, el setembre de 2019 van provocar el tall de trànsit en els dos sentits de la C-17 al seu pas pel municipi de Mollet del Vallès durant diverses hores com a conseqüència de la inundació dels túnels.
- D'altra banda, segons dades de Protecció Civil, l'any 2018 i 2019 es van registrar nombroses incidències a la xarxa viària relacionades amb esllavissades, desprendiments i danys a la via de major o menor magnitud. En alguns casos, aquests fets obliguen a tallar la via totalment o parcialment. Concretament, durant el període del 6 d'abril al 21 de setembre del 2019, es van registrar un total de 64 incidències a l'àmbit SIMMB de diferents magnituds.

Figura 5.3. Incidències per esllavissades i desprendiments a la xarxa viària de la demarcació de Barcelona registrades per Protecció Civil entre el període comprès entre l'abril de 2018 i el setembre de 2019.



Font: elaboració pròpia a partir d'informació proporcionada per la DG de protecció Civil (Departament d'Interior).



- Fora de l'àmbit SIMMB, però a escala catalana, la gota freda del 22 i la matinada del 23 d'octubre de 2019 va provocar greus danys a la Conca de Barberà, en particular als municipis de l'Espluga de Francolí i Montblanc, incloent la pèrdua de vides humanes. Les fortes pluges a la capçalera de la conca hidrogràfica del Francolí –a les muntanyes de Prades es van comptabilitzar més de 260 mm de pluja en menys de 24 h– van provocar l'increment del cabal del riu en un factor X1000, assolint-se un cabal punta de 1.230 m<sup>3</sup>/s. La riuada va causar, entre molts d'altres danys i desperfectes més enllà de l'àmbit de la mobilitat, la pèrdua de subministrament elèctric en diverses poblacions, la inutilització de diversos ponts i passos que creuaven el riu (alguns completament destrossats), va fer descarrillar un tren a Vinaixa i va provocar una esllavissada d'un tram de via a les Garrigues.

Altrament, alguns dels impactes principals de la calor sobre la mobilitat fan referència al confort climàtic. Per exemple, el juny de 2017, un tren de Rodalies que oferia servei entre Manresa i Vilafranca del Penedès, va ser aturat fins a dues ocasions pels passatgers degut a les elevades temperatures experimentades dins dels combois. En aquest cas, el servei de refrigeració presentava una averia puntual, fet que va comportar l'assoliment de fins a 40 °C i el conseqüent malestar per part dels usuaris (marejos, episodis d'ansietat, etc.).

Les afectacions sobre el subministrament elèctric i els sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació també poden generar retards importants. L'agost del 2019, la combinació d'aquests dos fets va provocar retards d'entre 30 i 150 minuts que van afectar 250 trens de diferents línies de Rodalies i més de 100.000 usuaris.

Figura 5.4. Imatges representatives de l'afectació de la gota freda del 22 d'octubre de 2019 sobre el sistema de mobilitat a les Garrigues i la Conca de Barberà.



Font: <https://www.ccma.cat/324/imatges-de-la-devastacio-a-les-poblacions-inundades-pel-desbordament-del-francoli/noticia/2957775/>

## C. PROPOSTES D'ACTUACIÓ PER A INCREMENTAR LA RESILIÈNCIA AL CANVI CLIMÀTIC DEL SISTEMA DE MOBILITAT A L'ÀMBIT SIMMB

## 6. Mesures per incrementar la resiliència del sistema de mobilitat

En total es proposen 15 mesures d'actuació 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– dividides en 24 accions.

Les mesures s'exposen, de manera sintètica en un format de taula 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.
- 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.

A continuació s'expliquen les diferents tipologies de solució considerades:

- 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.





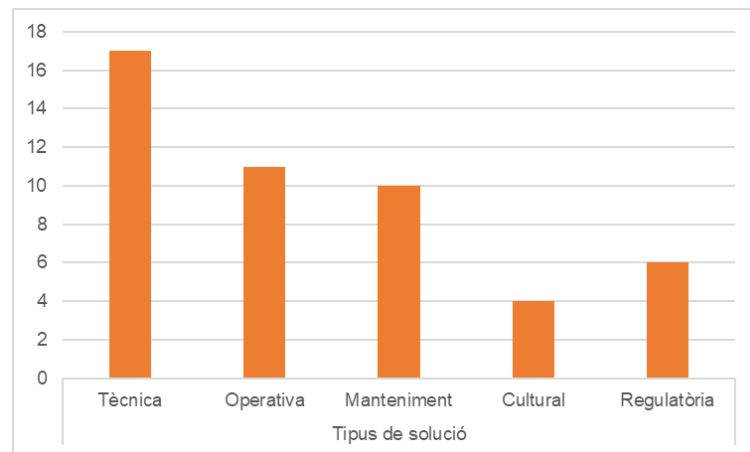






Com es pot observar a la següent figura, una part significativa de les accions proposades (17 de 25) s'adscriuen a la categoria de solució tècnica, tot i que també és remarcable el nombre d'accions tipificades com a solucions operatives (11) i de manteniment (10). Les solucions de tipus regulatori (6)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

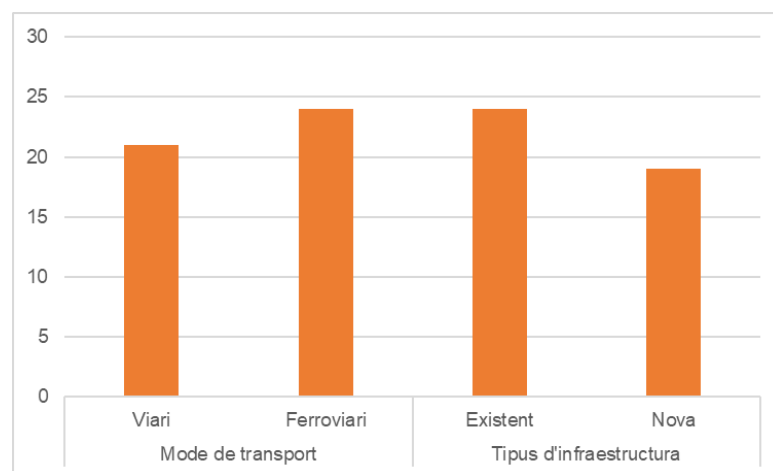
Figura 6.1. Nombre d'accions per tipologia de solució. Cal tenir en compte que una mateixa acció pot vincular-se a més d'un tipus de solució, per la qual cosa el sumatori supera amb escreix el nombre d'accions (24).



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.

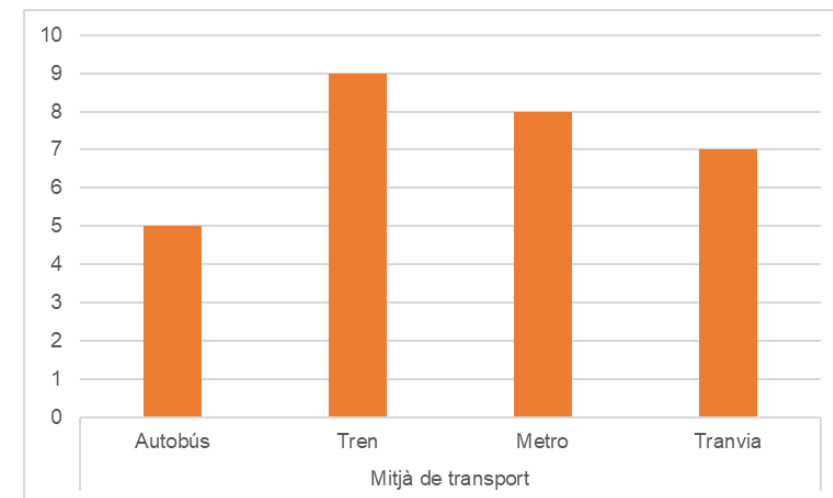
Figura 6.2. Nombre d'accions per mode de transport i tipus d'infraestructura. Una mateixa acció pot vincular-se a més d'un tipus d'infraestructura.



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 6.3. 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.

## 7. Fitxes d'actuacions

En total, es proposen un conjunt de 15 mesures i 24 accions, la meitat de les quals són directament de caire infraestructural i la resta de tipologia no pròpiament infraestructural (operació, manteniment, etc.).

La relació de mesures i accions, extreta de la taula anterior, 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 desprendiments\*
- 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, raïls 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 raïls 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

A continuació s'adjunta el model de fitxa tipus –amb l'explicació de cada un dels camps considerats– utilitzada per exposar les accions de cada una de les mesures.

| TÍTOL DE LA MESURA - Nom de la mesura  | Codi                            | Núm. |
|--|---------------------------------|------|
| Impacte(s) a la qual s'adreça  |                                 |      |
| Sobre les infraestructures   | Grau d'incidència               |      |
| <i>Denominació de l'impacte del canvi climàtic sobre les infraestructures (tantes files com impactes corresponguin, vegeu taula de mesures i actuacions)</i> | <i>Molt alta, alta, mitjana</i> |      |
| Sobre l'operació   | Grau d'incidència               |      |
| <i>Denominació de l'impacte del canvi climàtic sobre l'operació (tantes files com impactes corresponguin, vegeu taula de mesures i actuacions)</i>           | <i>Molt alta, alta, mitjana</i> |      |

| TÍTOL DE L'ACTUACIÓ  |  |   |  |             |  |          |  | Subcodi          | Núm. i lletra        |
|--|--|---|--|-------------|--|----------|--|------------------|----------------------|
| <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> |  |   |  |             |  |          |  | Prioritat        | <i>Alta, mitjana</i> |
|  |  |   |  |             |  |          |  | Tipus de solució |                      |
| Tècnica  |  | Operativa   |  | Manteniment |  | Cultural |  | Regulatòria      |                      |
| Aplicació per tipus d'infraestructura  |  |   |  |             |  |          |  |                  |                      |
| No aplica  |  | Viària  |  | Ferroviana  |  | 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>  |  |             |  |          |  |                  |                      |

7.1. Millorar la capacitat de drenatge amb solucions tècniques i de manteniment

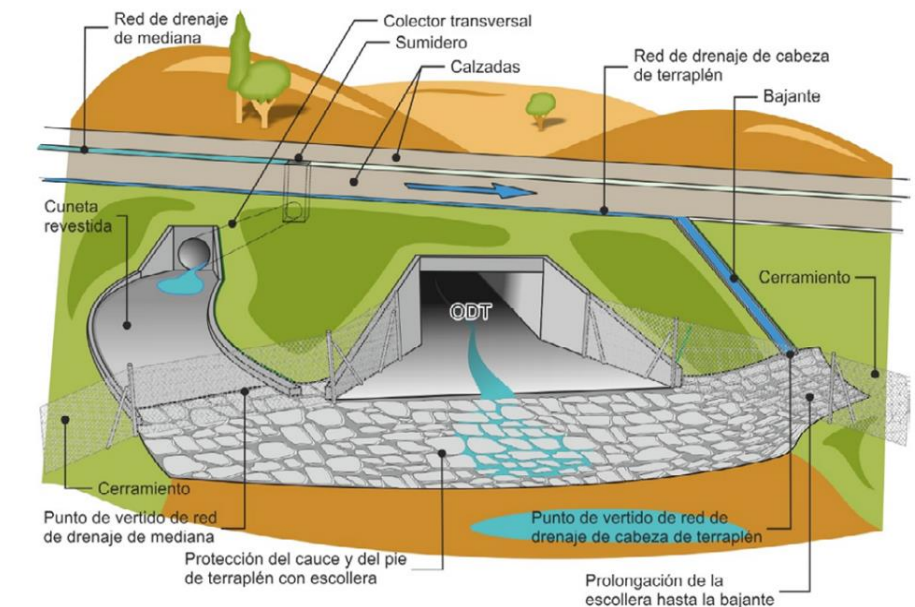
| MILLORAR LA CAPACITAT DE DRENATGE AMB SOLUCIONS TÈCNIQUES I DE MANTENIMENT             |  | Codi              | 1 |
|--|--|-------------------|---|
| Impacte(s) al qual s'adreça  |  |                   |   |
| Sobre les infraestructures   |  | Grau d'incidència |   |
| Capacitat insuficient dels sistemes de drenatge i inundacions a la via, túnels o ponts |  | Molt alta         |   |
| Inundacions a les estacions subterrànies   |  | Alta              |   |
| Danys estructurals per soscavament i erosió  |  | Molt alta         |   |
| Sobre l'operació   |  | Grau d'incidència |   |
| Reducció de la fricció superficial i de l'eficàcia dels sistemes de frenada            |  | Mitjana           |   |

| MILLORAR L'EFICIÈNCIA I CAPACITAT DELS SISTEMES DE DRENATGE |   | Subcodi     | 1A   |
|---|---|-------------|------|
|   |   | Prioritat   | Alta |
| Tipus de solució  |   |             |      |
| Tècnica   | x   | Operativa   |      |
|   |   | Manteniment |      |
|   |   | Cultural    |      |
|   |   | Regulatòria | x    |
| Aplicació per tipus d'infraestructura                       |   |             |      |
| No aplica   |   | Viària      | x    |
|   |   | Ferroviana  | x    |
|   |   | Existent    | x    |
|   |   | Nova        | x    |
| Aplicació per mitjà de transport                            |   |             |      |
| No aplica   | x   | Autobús     |      |
|   |   | Tren        |      |
|   |   | Metro       |      |
|   |   | Tramvia     |      |
| Descripció de la solució                                    | Obra nova: <ul style="list-style-type: none"> <li>Incrementar la capacitat dels sistemes de drenatge considerant un resguard en els càlculs hidrològics respecte els mínims establerts per</li> </ul> |             |      |

normativa. Aquest resguard podria consistir en contemplar un període de retorn incrementat en els càlculs hidrològics a definir en treballs específics posteriors, per exemple un 25% d'augment. A més llarg termini, convindria integrar aquests increments de període de retorn en la normativa (vegeu Fitxa 15A).

En concret, cal revisar la metodologia de càlcul, i introduir un coeficient per tenir en compte els increments de pluja i la situació del sòl en cas de precipitació. El primer ha de majorar la intensitat de pluja fins que les sèries històriques reflecteixin el possible factor multiplicador associat al canvi climàtic, i el segon hauria de minvar el coeficient regional (actualment 1,3 segons l'ACA) per tenir en compte la influència del canvi climàtic sobre la durada dels episodis de pluja (valorar un coeficient de valor 1,0).

Actualment per carreteres (Norma 5.2 - IC drenatge superficial) es consideren 25 anys pel drenatge de plataforma i marges (50 anys en cas de desaigüat per bombament) i 100 anys en drenatges transversals. En el cas del ferrocarril, segons la IGP 2.2 d'ADIF, a Catalunya l'ACA ja demana 300 anys per afectacions a tercers (i 500 per danys a la pròpia via) per la qual cosa aquesta acció seria d'aplicació prioritària a carreteres.

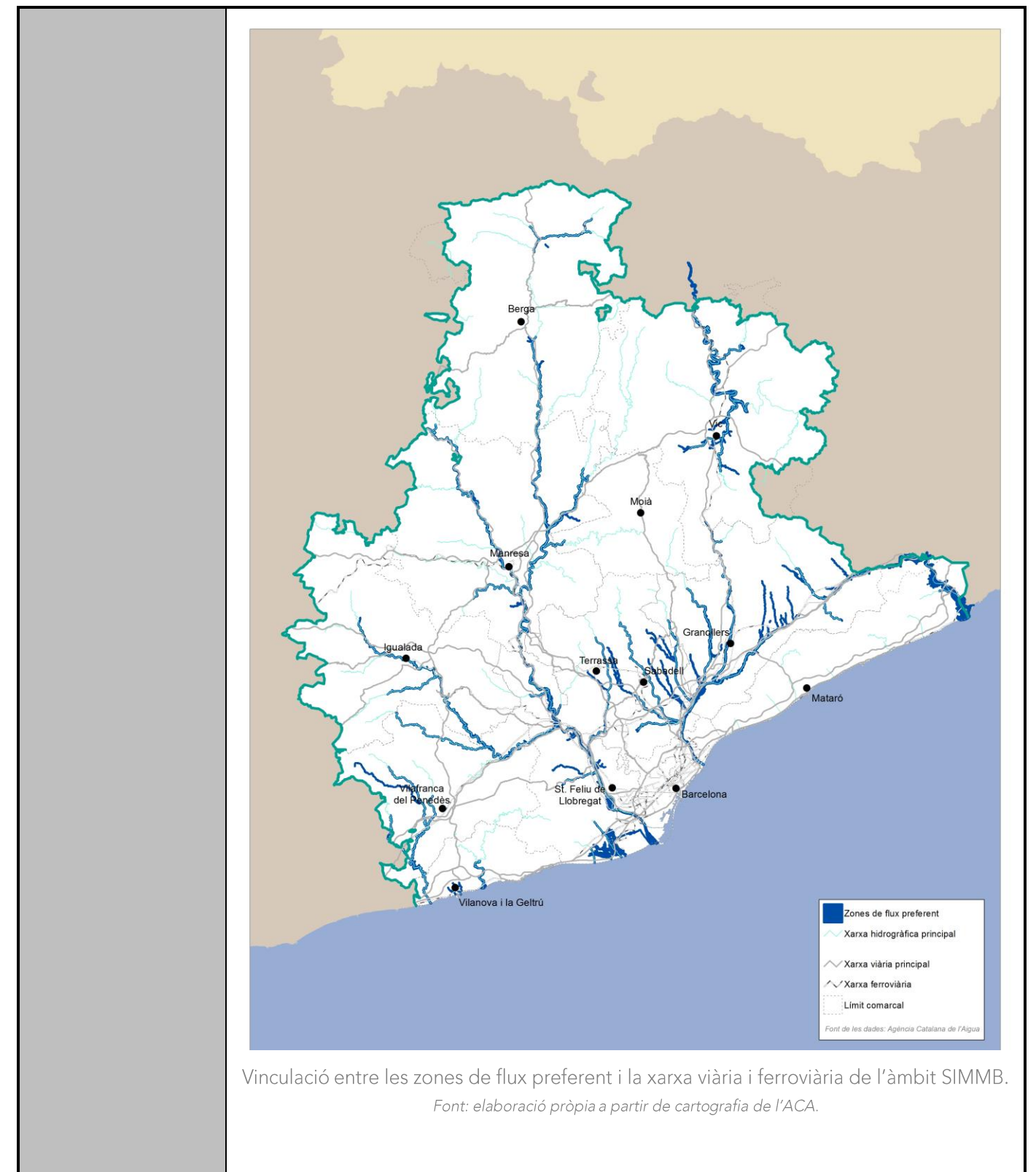


Exemple de diferents tipus de drenatge transversal amb una zona de desguàs comuna.

Font: Norma 5.2-IC. Drenatge superficial de la instrucció de carreteres.




|   |   |
|---|---|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimitzar el disseny per reduir cabals d'escolament mitjançant estratègies com ara:             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Crear basses o altres elements de laminació en punts crítics per tal de millorar la regulació de l'escolament i no afectar l'entorn immediat de les infraestructures.</li> <li>◦ Incorporar materials permeables a alguns elements de la xarxa de drenatge (o derivacions cap a zones d'infiltració que no afectin la infraestructura) per reduir cabals circulants.</li> </ul> </li> </ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaluar el cost-benefici cas a cas d'efectuar actuacions de millora –amb les limitacions imposades pel fet de ser una obra existent– d'incrementar la capacitat de sistemes existents o d'establir elements auxiliars que redueixin l'entrada i/o acumulació d'aigua sobre la infraestructura.</li> </ul> <p>En qualsevol cas, en obra existent és imprescindible dur a terme un correcte manteniment preventiu (vegeu Fitxa 1B).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ampliar les obres de pas amb capacitat insuficient en un percentatge (a definir) de la capacitat necessària</li> </ul> |
| <p>Indicacions pels projectes i/o els operadors</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En la redacció de nous projectes de carreteres, fer el dimensionament del sistemes de drenatge –en particular dels transversals– considerant períodes de retorn ampliat dels càlculs hidrològics respecte allò establert a la norma 5.2-IC.</li> <li>• En obra existent, avaluar la viabilitat tècnica i econòmica d'incorporar accions preventives o correctores en punts de la xarxa amb problemes recurrents per inundabilitat, com ara passos inferiors. Atesa la dificultat d'ampliar drenatges existents, en molts casos pot ser més oportú establir drenatges nous propers a d'altres ja existents.</li> </ul>  |
| <p>Àmbit territorial d'aplicació</p>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Àmbit general: arreu de l'àmbit SIMMB, atès que els episodis de pluges intenses es poden produir en qualsevol punt del territori, amb independència del règim pluviomètric i, en ocasions, de manera molt localitzada.</li> <li>• Àmbits d'atenció especial:             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Trams on la infraestructura (existent o prevista) intersequi amb les zones de flux preferent definides per l'ACA.</li> <li>◦ Trams on la infraestructura (existent o prevista) discorri per cotes més baixes que l'entorn –com ara passos inferiors deprimits–.</li> <li>◦ Trams d'infraestructures existents de la xarxa bàsica on estiguin documentats problemes recurrents d'afectació per inundabilitat.</li> </ul> </li> </ul>  |





Vinculació entre les zones de flux preferent i la xarxa viària i ferroviària de l'àmbit SIMMB.  
 Font: elaboració pròpia a partir de cartografia de l'ACA.

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Agents implicats en la implementació | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> </ul>  |
| Beneficis de la solució              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimització d'episodis de tall de via associats a l'acumulació d'aigua sobre les plataformes de les infraestructures.</li> <li>• Reducció del risc d'accidentalitat derivat de les condicions del ferm.</li> <li>• Contribució al control de l'erosió a l'entorn de la infraestructura i prevenció de l'acumulació d'elements procedents dels terrenys en desmunt arrossegats per l'aigua de pluja o simplement per l'acció de la gravetat sobre la plataforma o la via.</li> <li>• Facilitació del manteniment, per exemple associat a un millor accés a col·lectors de diàmetre superior i al fet que un dimensionament més gran ajudarà a prevenir al reblliment d'elements de drenatge amb sediments, materials vegetals o altre material arrossegat per l'aigua.</li> <li>• Possibles sinèrgies amb l'establiment o millora de passos de fauna que millorin la connectivitat ecològica.</li> </ul> |
| Barreres a la implementació          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manca d'estudis específics que permetin establir els criteris concrets a emprar en l'elaboració dels nous càlculs hidrològics.</li> <li>• Risc potencial d'augment de l'impacte paisatgístic de l'actuació, associat a una major envergadura dels sistemes de drenatge.</li> <li>• Increment del cost econòmic directe d'execució (més ús de materials, obres de fàbrica més grans, actuacions complementàries més enllà de la pròpia infraestructura).</li> </ul>   |
| Termini convenient d'implementació   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obra existent: mitjà (4-8 anys) i llarg (&gt;8 anys) terminis. Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.</li> <li>• Obra nova: curt termini (1-3 anys). Associat a la pròpia redacció del projecte.</li> <li>• Acció infraestructural vinculable al pdl.</li> </ul>   |
| Consideracions al cicle de vida      | <p>Variacions en el dimensionament dels sistemes de drenatge, en la mesura que no impliquin canvis en els materials emprats, no afecten la durabilitat de la infraestructura. De fet, és esperable que una infraestructura que estigui menys sotmesa a episodis d'inundació temporal o que possibiliti una ràpida evacuació de l'aigua, allargui el seu cicle de vida útil.</p>   |

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Indicadors de seguiment | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre d'episodis d'interrupció/talls del servei degut a inundacions per km lineal d'infraestructura.</li> <li>• Temps d'interrupció del servei degut a inundació i mobilitat afectada (nombre de passatgers).</li> </ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre de punts/elements millorats dels sistemes de drenatge preexistents.</li> <li>• Nombre de km lineals d'infraestructura sobre els que s'ha actuat amb els nous criteris de disseny.</li> <li>• Recursos destinats als projectes de millora de la capacitat de drenatge per cada agent implicat (€ / km infraestructura existent).</li> </ul> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Percentatge de projectes que consideren uns criteris de disseny dels sistemes de drenatge més exigents que la normativa vigent (%) i mitjana del percentatge d'increment respecte els períodes de retorn normatius.</li> <li>• Nombre i capacitat (m<sup>3</sup>) de les basses de laminació creades.</li> <li>• Increment de la inversió associat a l'aplicació de criteris disseny millorats respecte les exigències normatives per projecte (€ / km infraestructura).</li> </ul> |
|-------------------------|--|

|   |   |           |   |             |   |          |   |             |      |
|---|---|-----------|---|-------------|---|----------|---|-------------|------|
| <b>REFORÇAR LA INSPECCIÓ D'OBRES DE DRENATGE, PASSOS INFERIORS I PONTS MITJANÇANT L'ÚS DE LA SENSÒRICA</b>  |   |           |   |             |   |          |   |             |      |
|   |   |           |   |             |   |          |   | Subcodi     | 1B   |
|   |   |           |   |             |   |          |   | Prioritat   | Alta |
| Tipus de solució  |   |           |   |             |   |          |   |             |      |
| Tècnica   |   | Operativa |   | Manteniment | X | Cultural |   | Regulatòria | x    |
| Aplicació per tipus d'infraestructura   |   |           |   |             |   |          |   |             |      |
| No aplica   |   | Viària    | x | Ferroviana  | x | Existent | x | Nova        |      |
| Aplicació per mitjà de transport  |   |           |   |             |   |          |   |             |      |
| No aplica   | x | Autobús   |   | Tren        |   | Metro    |   | Tramvia     |      |
| <p>Descripció de la solució</p> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fer èmfasi, en l'avaluació de criteris d'adjudicació dels contractes pel servei d'explotació, conservació i manteniment, al pla establert en relació amb el monitoratge de les infraestructures. Més enllà del monitoratge presencial, cal considerar la inversió en sensòrica i el desenvolupament tecnològic per fer-ho possible.             <ul style="list-style-type: none"> <li>Instal·lació de càmeres i sensors per detectar elements que puguin obstaculitzar la xarxa de drenatge.</li> </ul> </li> </ul> <div style="text-align: center;">  <p>Exemple de càmera d'inspecció per xarxes de drenatge.<br/>Font: <a href="http://www.panatec-agua.com/camara-telescopica-zoom.php">http://www.panatec-agua.com/camara-telescopica-zoom.php</a></p> </div> <p>En projectes de monitoratge en continu de grans infraestructures, com ponts, s'han utilitzat sensors de fibra òptica basats en xarxes Bragg de difracció (FBG). Entre els avantatges d'aquesta tipologia de sensors, se'n destaca la baixa interferència entre els diferents punts de mesura, la seva resistència a tots els ambients i el seu potencial independentment de la distància entre els sensors i el centre d'adquisició de dades.</p> |   |           |   |             |   |          |   |             |      |

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Instal·lació de robots i/o drons per supervisar l'estat de la xarxa de drenatge, passos inferiors i ponts.</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Exemple de robot (esquerra) i dron (dreta) per inspeccionar la xarxa de clavegueram urbana.</p> <p>Font: <a href="http://echord.eu/essential_grid/siar-sewer-inspection-autonomous-robot/index.html">http://echord.eu/essential_grid/siar-sewer-inspection-autonomous-robot/index.html</a> i <a href="https://eurecat.org/es/portfolio-items/aerial-robot-for-sewer-inspection/">https://eurecat.org/es/portfolio-items/aerial-robot-for-sewer-inspection/</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Per tal d'automatitzar el processament de les dades recollides pels sistemes mencionats anteriorment, es proposa la utilització d'algoritmes d'intel·ligència artificial.</li> </ul> <p>També es pot fer ús d'aplicacions informàtiques específiques per aquesta funció. És el cas de l'aplicació DRAIN, que permet monitorar l'estat de les xarxes de drenatge a partir d'informació en temps real de sensors propis i estacions meteorològiques. A més de millorar la capacitat de resposta en cas de risc, ofereix la possibilitat de digitalitzar el procés d'inspecció i manteniment –permet, per exemple, detectar obstruccions a la xarxa i augments de cabals, i envia automàticament avisos als gestors del manteniment (<a href="https://plataformaptec.es/productos-servicios-tecnologicos-de-construccion/drain/">https://plataformaptec.es/productos-servicios-tecnologicos-de-construccion/drain/</a>).</p> |
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>Preveure, per part dels diferents operadors, la incorporació de partides complementàries en els contractes de conservació i explotació per tal de reforçar el monitoratge de les obres de drenatge, passos inferiors i ponts.</li> </ul>  |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Àmbit general: arreu de l'àmbit SIMMB, atès que els episodis de pluges intenses es poden produir en qualsevol punt del territori, amb independència del règim pluviomètric i, en ocasions, de manera molt localitzada.</li> <li>Àmbits d'atenció especial:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Trams on la infraestructura intersequi amb les zones de flux preferent definides per l'ACA.</li> <li>Trams on la infraestructura discorri per cotes més baixes que l'entorn –com ara passos inferiors deprimits–.</li> </ul> </li> </ul>  |

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
|                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>o Trams d'infraestructures on estiguin documentats problemes recurrents d'afectació per inundabilitat.</li> </ul>  |
| Agents implicats en la implementació | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> </ul>  |
| Beneficis de la solució              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatització i millora en la precisió i agilitat de les tasques de manteniment.</li> <li>• Reducció del risc d'accidentalitat derivat de les condicions de la via.</li> <li>• Contribució al control de l'erosió a l'entorn de la infraestructura i prevenció de l'acumulació d'elements procedents dels terrenys en desmunt arrossegats per l'aigua de pluja a la xarxa de drenatge.</li> </ul> |
| Barreres a la implementació          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologies encara relativament poc conegudes o aplicades al nostre país.</li> <li>• Increment del cost econòmic directe d'explotació -pel cost d'inversió per posar en marxa la tecnologia-, malgrat que a la llarga els costos de manteniment es veurien reduïts.</li> </ul>   |
| Termini convenient d'implementació   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Curt termini (1-3 anys). Vinculat a la progressiva renovació dels contractes de conservació i explotació. Acció a mantenir al llarg del temps.</li> </ul>  |
| Consideracions al cicle de vida      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualsevol intervenció preventiva que millori el comportament de la infraestructura envers un risc climàtic és susceptible d'evitar o reduir l'impacte del risc i, en conseqüència, d'allargar el cicle de vida de la infraestructura.</li> </ul>   |
| Indicadors de seguiment              | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre d'episodis d'interrupció/talls del servei degut a inundacions per km lineal d'infraestructura.</li> <li>• Temps d'interrupció del servei degut a inundació i mobilitat afectada (nombre de passatgers).</li> <li>• Recursos destinats al manteniment dels sistemes de drenatge per cada agent implicat (€ / km infraestructura existent).</li> </ul>            |



## 7.2. Millorar la capacitat de gestió de les estacions subterrànies envers les inundacions

|   |  |                   |   |
|---|--|-------------------|---|
| <b>MILLORAR LA CAPACITAT DE GESTIÓ DE LES ESTACIONS SUBTERRÀNIES ENVERS LES INUNDACIONS</b> |  | Codi              | 2 |
| Impacte(s) al qual s'adreça   |  |                   |   |
| Sobre les infraestructures  |  | Grau d'incidència |   |
| Inundacions a les estacions subterrànies  |  | Molt alta         |   |
| Afectació sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació                             |  | Alta              |   |

|  |  |            |         |
|--|--|------------|---------|
| <b>COL·LOCAR EN INSTAL·LACIONS SOTERRADES ELEMENTS QUE DIFICULTIN L'ENTRADA D'AIGUA I/O EN FACILITIN EL DRENATGE</b> |  | Subcodi    | 2A      |
|  |  | Prioritat  | Mitjana |
| Tipus de solució   |  |            |         |
| Tècnica  | x  | Operativa  | x       |
| Manteniment  |  | Cultural   |         |
| Regulatòria  |  |            |         |
| Aplicació per tipus d'infraestructura  |  |            |         |
| No aplica  | Viària   | Ferroviana | x       |
|  |  | Existent   | x       |
|  |  | Nova       | x       |
| Aplicació per mitjà de transport   |  |            |         |
| No aplica  | Autobús  | Tren       | x       |
|  |  | Metro      | x       |
|  |  | Tramvia    |         |
| Descripció de la solució   | <p>General (obra nova i existent):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Situar els accessos de les estacions subterrànies per sobre de la cota prevista d'inundació per evitar l'entrada d'aigua.</li> <li>Utilitzar materials massius en el perímetre de la boca de metro que dificultin l'entrada d'aigua.</li> <li>Instal·lar portes estanques de material resistent per evitar l'entrada de l'aigua a les estacions. Per exemple, a la ciutat de Nova York, en el marc d'una prova pilot, es va instal·lar una porta de Kevlar (poliparafenilè tereftalamida) a una estació de metro (<a href="https://es.gizmodo.com/los-responsables-del-metro-de-nueva-york-inundaron-una-1840017496">https://es.gizmodo.com/los-responsables-del-metro-de-nueva-york-inundaron-una-1840017496</a>).</li> </ul> |            |         |

tereftalamida) a una estació de metro (<https://es.gizmodo.com/los-responsables-del-metro-de-nueva-york-inundaron-una-1840017496>).



Exemple d'una boca de metro tipus a Barcelona (estació de Diagonal).

Font: Cinesi

- Incorporar marquesines als accessos de les estacions subterrànies.
- Elevar la rasant de les reixetes de ventilació i/o incorporar elements temporals que dificultin o impedeixin l'entrada d'aigua. Aquesta solució, per exemple, s'ha aplicat a la ciutat de Sevilla l'any 2015 (<https://sevilla.abc.es/sevilla/20150131/sevi-arreglos-metro-inundaciones-201501311207.html>) i a Ciutat de Mèxic per tal d'evitar inundacions durant l'època de pluges.



Mesures implementades al metro de la Ciutat de Mèxic per reduir els impactes derivats de l'època de pluges. Entre d'elles, s'indou la col·locació de dics al voltant de la reixeta de ventilació per dificultar l'entrada d'aigua.

Font: <https://heraldodemexico.com.mx/cdmx/metro-y-16-alcaldias-coordinan-acciones-para-evitar-inundaciones-durante-temporada-de-lluvias/>



Exemple d'una reixeta de ventilació elevada a Barcelona.  
Font: Cinesi

- Ampliar el diàmetre de les connexions de les arquetes de sortida del metro a la xarxa de sanejament i dotar-les de comportes antiretorn.
- Afegir canals de drenatge amb reixeta per embornals als accessos de les estacions subterrànies.
- Preveure revestiments impermeabilitzants per evitar goteres i infiltracions dins de les estacions i conduir l'aigua al sistema de drenatge.

Obra existent:

- Revisar la capacitat i l'eficàcia dels sistemes de drenatge existents.
- Aplicar tractaments i revestiments impermeabilitzants dins les estacions.
- Evitar el retorn d'aigua des del propi sistema de drenatge.
- Promoure actuacions per garantir el drenatge més enllà dels propis instal·lacions del metro, com ara l'acabament de les obres del col·lector de l'avinguda Paral·lel de Barcelona.

Obra nova:

- Preveure pous de retenció i elements de bombament per conduir l'aigua acumulada.
- Dissenyar sistemes de retenció que no tinguin influència negativa sobre el seu entorn immediat.
- Afavorir la infiltració, tant amb mecanismes naturals com artificials.

Indicacions pels projectes i/o els operadors

- Avaluar, cas a cas, les diferents opcions plantejades per identificar les més adequades en funció de les característiques de cada infraestructura i estació.

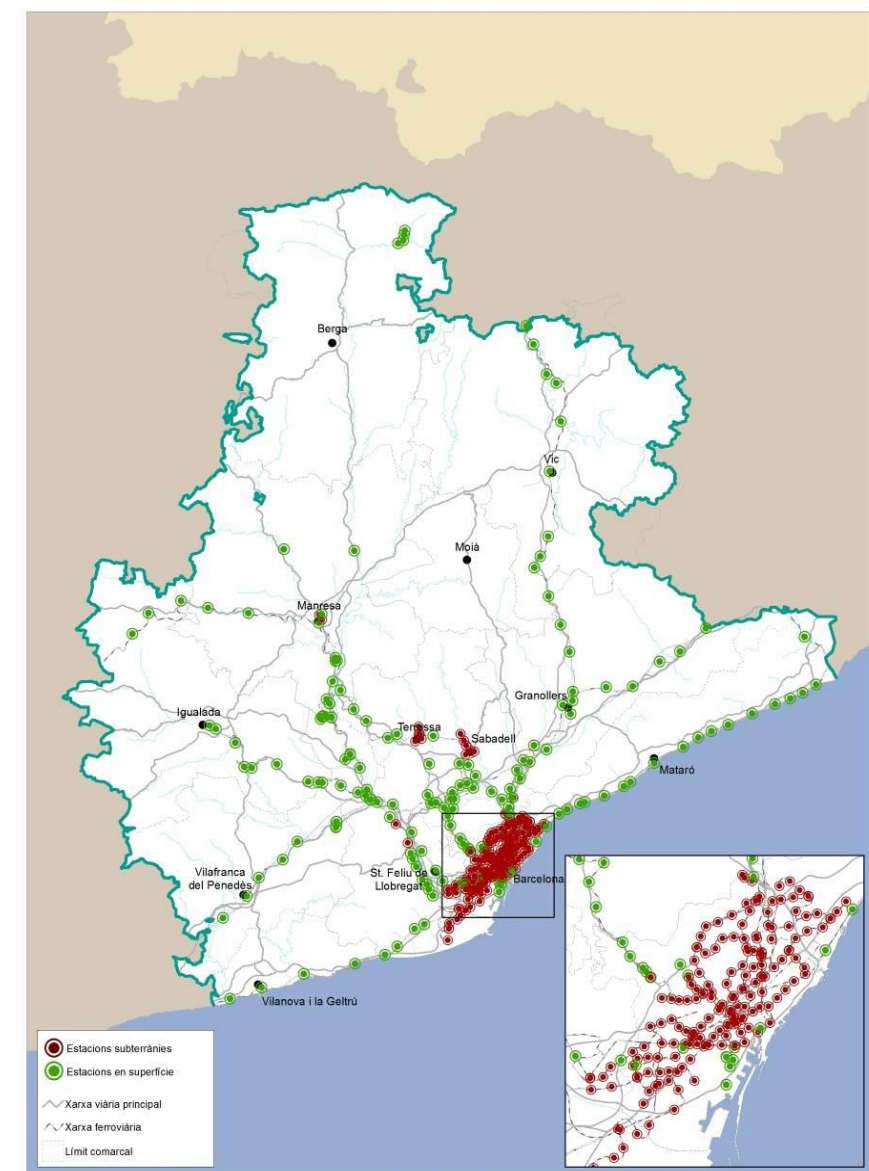
Àmbit territorial d'aplicació

Obra existent:

- Estacions subterrànies que presentin episodis recurrents d'inundació en cas de precipitacions intenses (per exemple, les estacions de metro de Paral·lel, Sagrada Família o Tetuan). Cal remarcar que Metro de Barcelona té en marxa un projecte d'anàlisi a tota la xarxa.

Obra nova:

- Noves estacions subterrànies arreu de l'àmbit SIMMB.



Estacions subterrànies i en superfície de l'àmbit SIMMB.

Font: elaboració pròpia.

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Agents implicats en la implementació | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferrocarril Metropolità de Barcelona (TMB)</li> <li>• FGC (DTS)</li> <li>• Renfe Operadora / ADIF (MITMA)</li> </ul>  |
| Beneficis de la solució              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevenir la inundació a les estacions subterrànies.</li> <li>• Millorar el funcionament del servei en cas de precipitacions intenses.</li> <li>• Augmentar el confort i seguretat del passatge.</li> <li>• Reduir els costos de manteniment.</li> </ul>   |
| Barreres a la implementació          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilització amb l'accessibilitat de les persones en funció del tipus de solució adoptada (per exemple, en cas d'incorporar un esglaó complementari o per accessibilitat a la via pública en cas d'elevat la cota de les reixetes de ventilació).</li> <li>• Lleuger increment del cost econòmic directe d'execució.</li> </ul>  |
| Termini convenient d'implementació   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Curt termini (1-3 anys). En aquest sentit, el col·lector esmentat de l'avinguda Paral·lel està previst pel 2023.</li> <li>• Mitjà termini (4-8 anys). Extensió de mesures al conjunt de la xarxa.</li> <li>• Acció infraestructural vinculable al pdl.</li> </ul>   |
| Consideracions al cicle de vida      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar l'entrada d'aigua a les instal·lacions subterrànies permet allargar la durabilitat dels diferents elements i equipaments que la integren: materials de construcció, sistemes elèctrics, aparells electrònics i de telecomunicació, sistemes mecànics, etc. La inundació de les instal·lacions pot malmetre elements vitals pel funcionament de l'estació però també del conjunt de la línia, com els sistemes de seguretat i de comunicació a tots els nivells.</li> </ul> |
| Indicadors de seguiment              | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actuacions executades d'acord amb les projectades.</li> <li>• Nombre d'estacions tancades per episodis d'inundació (estacions-dia/any).</li> <li>• Nombre d'interrupcions/talls del servei degut a inundacions (nombre/any).</li> <li>• Temps d'interrupció del servei i mobilitat afectada (nombre de passatge).</li> </ul>  |



### 7.3. Prevenir l'afectació per aigua de sales de control i armaris tècnics

|   |  |                   |   |
|---|--|-------------------|---|
| <b>PREVENIR L'AFECTACIÓ PER AIGUA DE SALES DE CONTROL I ARMARIS TÈCNICS</b> |  | Codi              | 3 |
| Impacte(s) al qual s'adreça   |  |                   |   |
| Sobre les infraestructures  |  | Grau d'incidència |   |
| Inundacions a les estacions subterrànies                                    |  | Alta              |   |
| Afectació sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació             |  | Alta              |   |

|  |   |             |         |
|--|---|-------------|---------|
| <b>ESTABLIR MESURES D'AÏLLAMENT I CONTENCIÓ QUE REDUEIXIN L'ENTRADA D'AIGUA A SALES DE CONTROL I ARMARIS TÈCNICS</b> |   | Subcodi     | 3A      |
|  |   | Prioritat   | Mitjana |
| Tipus de solució   |   |             |         |
| Tècnica  | x   | Operativa   |         |
|  |   | Manteniment |         |
|  |   | Cultural    |         |
|  |   | Regulatòria |         |
| Aplicació per tipus d'infraestructura  |   |             |         |
| No aplica  |   | Viària      | (x)     |
|  |   | Ferroviana  | x       |
|  |   | Existent    | x       |
|  |   | Nova        | x       |
| Aplicació per mitjà de transport   |   |             |         |
| No aplica  |   | Autobús     |         |
|  |   | Tren        | x       |
|  |   | Metro       | x       |
|  |   | Tramvia     | x       |
| Descripció de la solució   | <p>General (obra nova i existent):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sobreelevar els armaris tècnics, tant els subterrànies com els situats a l'aire lliure, tenint en compte –i ampliant, si s'escau– allò previst al reglament electrotècnic de baixa tensió (REBT) i a la NTP embrancaments i instal·lacions d'enllaç en baixa tensió (NTP-IEBT) de Fecsa-Endesa.</li> <li>Elevar els accessos a les sales de control i que continguin armaris tècnics respecte la cota d'inundació prevista per prevenir l'entrada d'aigua.</li> </ul> |             |         |

- Ubicar (reubicar en obra existent) les sales de control i els armaris tècnics en punts elevats o sobreelevats, no susceptibles de ser inundats en cas de fortes precipitacions.
- Incorporar portes metàl·liques estanques a l'aigua a les sales de control.



Exemple de portes impermeables a l'aigua.

Font: <http://puertasryst.com/productos/puertas-especiales/estanca-al-aire-y-agua/>

- Utilitzar materials impermeables que reforcin l'estanqueïtat de les instal·lacions, en el benentès que aquestes estratègies han de ser compatibles amb la prevenció d'afectació d'equips elèctrics i electrònics a elevades temperatures (vegeu Fitxa 6B. En obra nova caldria contemplar l'ús d'armaris amb un codi IP (d'acord amb la UNE 20324) mínim de 6/7 pel que fa a protecció dels equips envers l'aigua.
  - En armaris tècnics situats a l'aire lliure, instal·lar elements de cobertura que protegeixin de la incidència de pluja directa sobre l'armari. Aquesta actuació ha de servir també per reduir la insolació directa sobre els armaris.
- Indicacions pels projectes i/o els operadors**
- Avaluar, cas a cas, les diferents opcions plantejades per identificar les més adequades en funció de les característiques de cada infraestructura.
  - En obra nova cal garantir sempre una ubicació sobreelevada d'elements sensibles potencialment exposats a inundació,



|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
|                                      | eventualment incrementant allò previst a la normativa d'aplicació (REBT, NTP-IEBT).  |
| Àmbit territorial d'aplicació        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instal·lacions subterrànies o en superfície, susceptibles d'inundar-se, arreu de l'àmbit SIMMB.</li> <li>• Armaris tècnics situats a l'aire lliure arreu de l'àmbit SIMMB.</li> </ul>   |
| Agents implicats en la implementació | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Renfe Operadora / ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> <li>• Ferrocarril Metropolità de Barcelona (TMB)</li> <li>• Trambaix i Trambesòs (TRAM)</li> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> </ul>  |
| Beneficis de la solució              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevenir incidències derivades de l'afectació d'equips elèctrics i electrònics per aigua, amb les conseqüències que això pot representar per a la prestació del servei (alteració del servei, afectació a sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació).</li> <li>• Evitar curtcircuits i altres danys als equips elèctrics i electrònics.</li> </ul>  |
| Barreres a la implementació          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lleuger increment del cost econòmic directe d'execució.</li> <li>• Problemes de gàlib amb els vehicles i persones que hagin de transitar per la infraestructura i aspectes relacionats amb l'accessibilitat quan és en la via pública.</li> </ul>   |
| Termini convenient d'implementació   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Curt (1-3 anys) i mitjà (4-8 anys) terminis.</li> <li>• Acció infraestructural vinculable al pdl.</li> </ul>  |
| Consideracions al cicle de vida      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• De manera anàloga a l'exposat a la fitxa 2.B l'entrada d'aigua en sales de control i armaris tècnics pot afectar directament components elèctrics i electrònics de gestió i control. Això pot arribar a provocar la inutilització o inoperabilitat de la pròpia infraestructura –sobretot en sistemes ferroviaris, no tant en viaris– sense necessàriament afectar-ne la integritat física com a infraestructura. En conseqüència, l'adopció de mesures preventives en aquest àmbit, tot i no tenir implicacions directes sobre el cicle de vida de la infraestructura, sí que els té sobre la durabilitat i el temps de correcte funcionament dels sistemes de gestió i control basats en components elèctrics i electrònics sensibles.</li> </ul> |

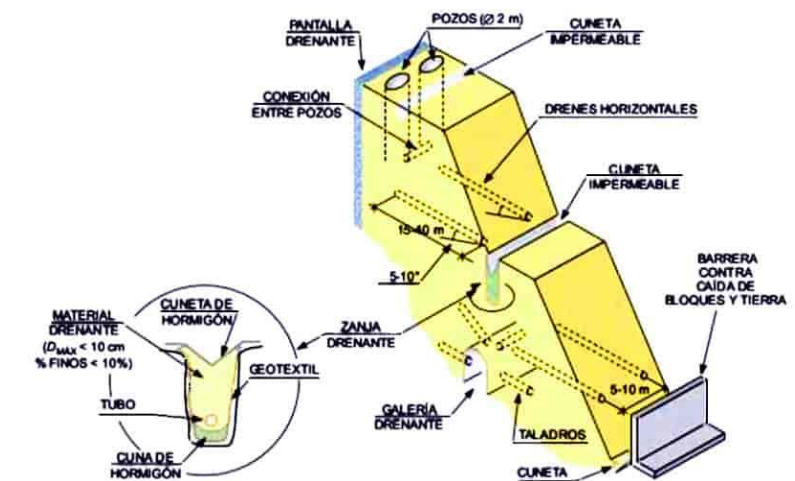
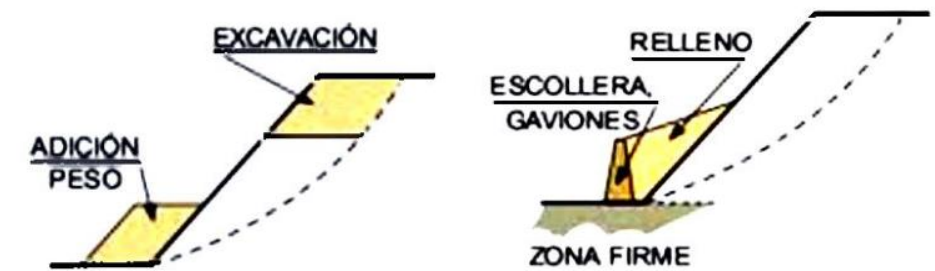
|                         |   |
|-------------------------|---|
| Indicadors de seguiment | Indicadors generals:  |
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre d'interrupcions/talls del servei degut a inundacions que afectin sales de control i armaris tècnics (nombre/any).</li> <li>• Temps d'interrupció del servei i mobilitat afectada (nombre de passatgers).</li> </ul> |
|                         | Obra existent:  |
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Percentatge d'instal·lacions (sales de control i armaris tècnics) amb actuacions de millora per afavorir la prevenció respecte pluges intenses i/o inundacions.</li> </ul>   |

### 7.4. Reforçar l'estabilitat dels talussos

|   |                   |   |
|---|-------------------|---|
| <b>REFORÇAR L'ESTABILITAT DELS TALUSSOS</b>   | Codi              | 4 |
| Impacte(s) al qual s'adreça   |                   |   |
| Sobre les infraestructures  | Grau d'incidència |   |
| Danys a la via per desprendiments, esllavissades i/o caiguda d'altres elements (arbres, etc.) | Molt alta         |   |
| Desestabilització de talussos en vies en terraplè   | Molt alta         |   |


|   |   |  |         |
|---|---|--|---------|
| <b>RECONSIDERAR PARÀMETRES CONSTRUCTIUS EN TALUSSOS PER INCREMENTAR L'ESTABILITAT</b> |   | Subcodi  | 4A      |
|   |   | Prioritat  | Mitjana |
| Tipus de solució  |   |  |         |
| Tècnica   | x | Operativa  |         |
|   |   | Manteniment  |         |
|   |   | Cultural   |         |
|   |   | Regulatoria  | x       |
| Aplicació per tipus d'infraestructura   |   |  |         |
| No aplica   |   | Viària   | x       |
|   |   | Ferroviana   | x       |
|   |   | Existent   | (x)     |
|   |   | Nova   | x       |
| Aplicació per mitjà de transport  |   |  |         |
| No aplica   | x | Autobús  |         |
|   |   | Tren   |         |
|   |   | Metro  |         |
|   |   | Tramvia  |         |
| Descripció de la solució  |   | <p>General (obra nova i existent):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar mesures per modificar la geometria del talús i augmentar el coeficient de seguretat front a estabilitat: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reduir la inclinació del talús o vessant.</li> <li>○ Esglaonar el talús mitjançant bermes, relleixos o bancals, especialment quan s'estableix en terrenys estratificats de diferent consistència.</li> <li>○ Escapçar el talús per reduir pes a la part superior i/o incrementar el pes al peu del talús.</li> </ul> </li> </ul> |         |

- Incorporar murs o altres elements de contenció (gabions, terra armada, formigó projectat) a la base del talús per reduir-ne l'alçada.
- Instalar elements de drenatge per disminuir les pressions intersticials que provoca l'aigua superficial i subterrània, resultant en el trencament i esquerdes de la superfície (cunetes, baixants, drens, pous, claveguerons, etc.).
- Implementar altres mesures d'estabilització com:
  - Bulonats en roca.
  - Protecció del parament en talussos de terres o material granular mitjançant malles de seguretat (vegeu fitxa 4B) o projecció de formigó.



Mesures generals d'estabilització de talussos.



Font: <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/estabilidad-de-taludes/metodos-medidas-estabilizacion-taludes/>

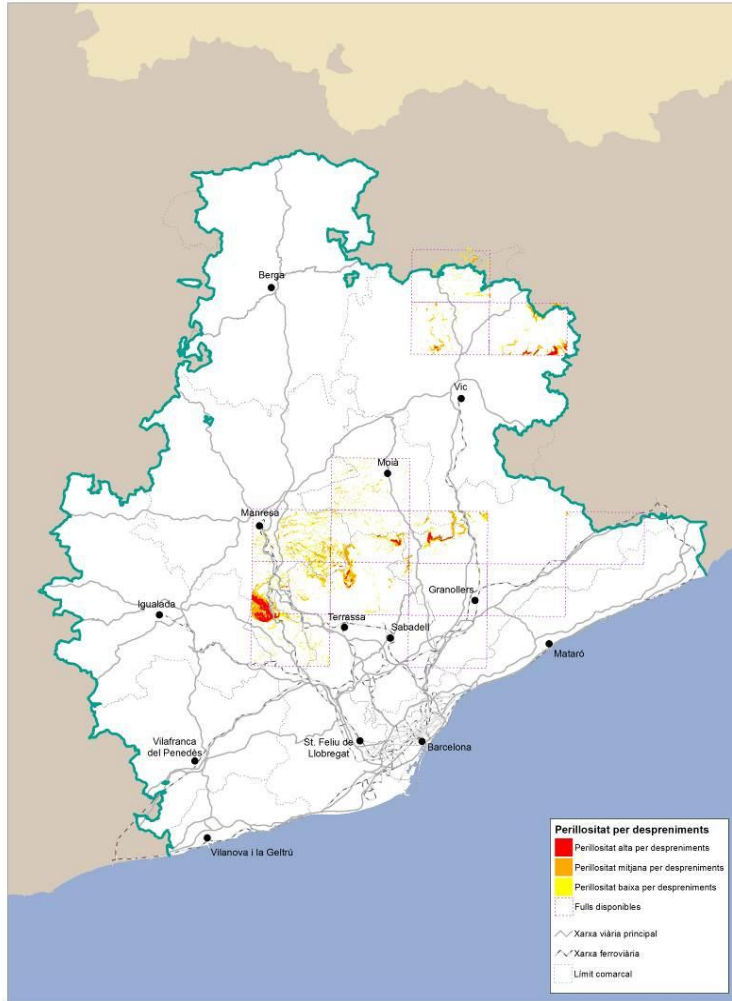
|   |   |
|---|---|
| <p>Indicacions pels projectes i/o els operadors</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Accentuar les mesures preventives i correctores en talussos existents o de nova creació en zones amb risc geològic per esllavissades i desprendiments.</li> </ul>  |
| <p>Àmbit territorial d'aplicació</p>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Àmbit general: arreu de l'àmbit SIMMB</li> <li>• Àmbits d'atenció especial:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Trams d'infraestructura associats a zones amb perillositat alta per esllavissades i desprendiments elaborats per l'ICGC (cal tenir en compte, però, que la cartografia disponible ara només representa una petita porció de l'àmbit SIMMB).</li> <li>○ En obra existent, talussos o vessants que hagin presentat els darrers anys episodis reiterats d'esllavissades o desprendiments en punts de la xarxa viària bàsica i de la xarxa ferroviària.</li> </ul> </li> </ul>  <p>Localització de talussos en desmunt de més de 5 m associats a la xarxa ferroviària</p> <p>Font: elaboració pròpia a partir de diverses fonts.</p> |

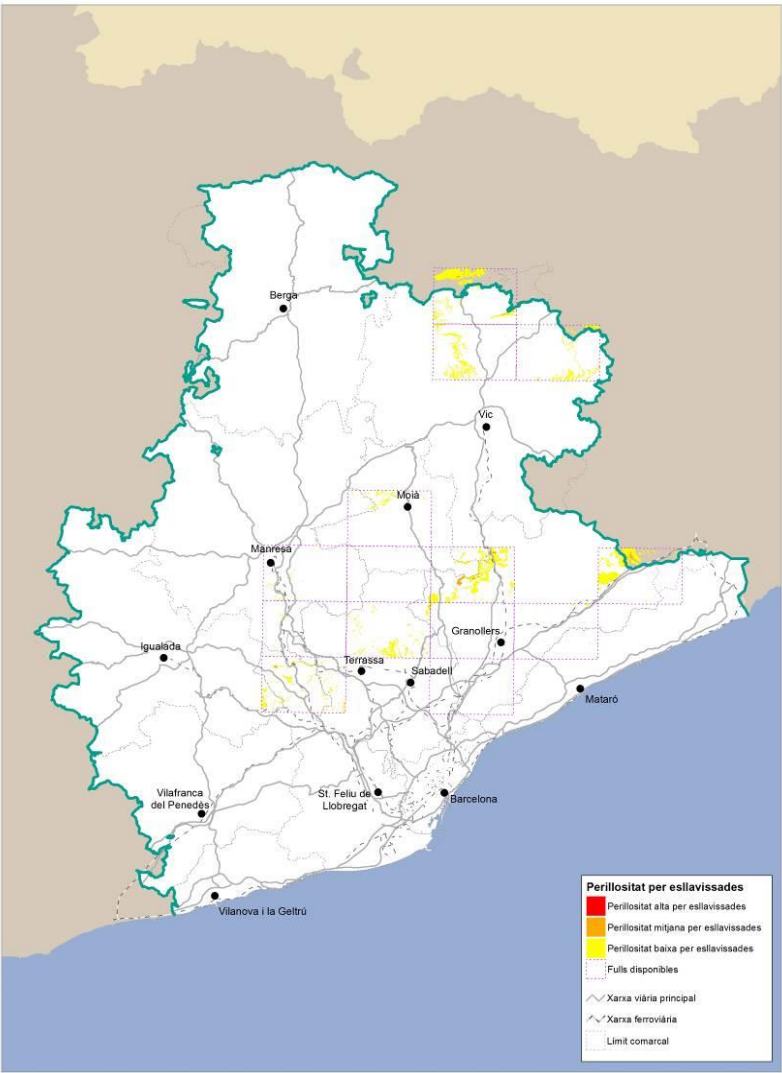
|   |   |
|---|---|
| <p>Agents implicats en la implementació</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> </ul>  |
| <p>Beneficis de la solució</p>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar o reduir el risc de desprendiments i esllavissades que poden comportar la interrupció/talls a la via o el servei, així com d'altres danys materials o humans.</li> <li>• Reduir l'erosió i afavorir la recuperació de cobertura vegetal en vessants i talussos.</li> <li>• Millorar la integració paisatgística del talús (en el cas que l'actuació permeti un cert grau de revegetació).</li> </ul>                        |
| <p>Barreres a la implementació</p>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Increment del cost econòmic directe d'execució, variable en funció del tipus d'intervenció a fer i de la naturalesa dels materials geològics preexistents.</li> <li>• Impacte paisatgístic de les actuacions (variable, en funció del tipus de solució adoptada).</li> </ul>   |
| <p>Termini convenient d'implementació</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obra existent: mitjà (4-8 anys) i llarg (&gt; 8 anys) terminis. 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).</li> <li>• Obra nova: curt termini (1-3 anys). Associat a la pròpia redacció del projecte.</li> <li>• Acció infraestructural vinculable al pdl.</li> </ul> |
| <p>Consideracions al cicle de vida</p>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La inestabilitat de talussos pot afectar de manera important la infraestructura en un tram determinat, fins al punt d'haver-la de restituir totalment en el cas més desfavorable. Per tant, l'adopció de mesures preventives –tot i comportar sovint un increment de materials (elements de contenció, etc.) en fase constructiva– ofereix una garantia de major durabilitat de la infraestructura en trams sensibles.</li> </ul>  |
| <p>Indicadors de seguiment</p>              | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre de desprendiments o esllavissades registrats a l'any (nombre/any).</li> <li>• Nombre de talls i interrupcions del servei com a conseqüència dels</li> </ul>   |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>despreniments a l'any (nombre/any).</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Temps d'interrupció del servei i mobilitat afectada (nombre de passatgers).</li></ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Nombre de projectes d'estabilització dels talussos executats (nombre/any).</li><li>• Nombre de km lineals d'infraestructura sobre els que s'ha actuat amb els nous criteris de disseny.</li><li>• Costos anuals de manteniment de talussos (€).</li></ul> |
|--|--|




|   |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |         |
|---|---|-----------|---|-------------|---|----------|---|-------------|---|-----------|---------|
| <b>APLICAR MESURES DE PROTECCIÓ I CONTENCIÓ ARTIFICIAL FRONT ESSLAVISSADES I DESPRENIMENTS</b>  |   |           |   |             |   |          |   |             |   | Subcodi   | 4B      |
|   |   |           |   |             |   |          |   |             |   | Prioritat | Mitjana |
| Tipus de solució  |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |         |
| Tècnica   | x | Operativa |   | Manteniment | x | Cultural |   | Regulatòria | x |           |         |
| Aplicació per tipus d'infraestructura   |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |         |
| No aplica   |   | Viària    | x | Ferroviana  | x | Existent | x | Nova        | x |           |         |
| Aplicació per mitjà de transport  |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |         |
| No aplica   | x | Autobús   |   | Tren        |   | Metro    |   | Tramvia     |   |           |         |
| Descripció de la solució  |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |         |
| <p>General (obra nova i existent):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instal·lar geomalles que afavoreixin una posterior revegetació. Poden ser de materials naturals (com la fibra de coco, menys resistent) o de materials artificials (polipropilè, polièster, PVA, fibra de vidre, geotèxtil).</li> <li>• Instal·lar malles metàl·liques dinàmiques o estàtiques, com ara malles de triple torsió o xarxes de cable ancorades.</li> </ul> |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |         |
|  <p>Exemples de malles que afavoreixen una revegetació posterior.<br/>Font: <a href="https://www.projar.es">https://www.projar.es</a> i <a href="https://texdelta.com">https://texdelta.com</a></p>   |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |         |
|  <p>Exemples de malles metàl·liques<br/>Font: <a href="http://www.desplom.com">http://www.desplom.com</a></p>   |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |         |

|  |  |
|--|--|
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Accentuar les mesures preventives i correctores en talussos existents o de nova creació en zones amb risc geològic per esllavissades i desprendiments.</li> </ul>   |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Àmbit general: arreu de l'àmbit SIMMB</li> <li>• Àmbits d'atenció especial: <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Trams d'infraestructura associats a zones amb perillositat alta per esllavissades i desprendiments elaborats per l'ICGC (cal tenir en compte, però, que la cartografia disponible ara només representa una petita porció de l'àmbit SIMMB).</li> <li>◦ En obra existent, talussos o vessants que hagin presentat els darrers anys episodis reiterats d'esllavissades o desprendiments en punts de la xarxa viària bàsica i de la xarxa ferroviària.</li> </ul> </li> </ul> |
|  |  <p>Nivell de perillositat per desprendiments a l'àmbit SIMMB.<br/>Font: elaboració pròpia a partir de l'ICGC.</p>   |

|  |  |
|--|--|
|  |  <p>Nivell de perillositat per esllavissades a l'àmbit SIMMB.<br/>Font: elaboració pròpia a partir de l'ICGC.</p>   |
| <p><b>Agents implicats en la implementació</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> </ul> |
| <p><b>Beneficis de la solució</b></p>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevenir el risc de desprendiments i esllavissades que poden comportar la interrupció/talls a la via o el servei, així com d'altres danys materials o humans.</li> </ul>  |

|  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Millorar la integració paisatgística del talús (en el cas que l'actuació permeti un cert grau de revegetació).</li> </ul>  |
| <p><b>Barreres a la implementació</b></p>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Increment del cost econòmic directe d'execució, variable en funció del tipus d'intervenció a fer i de la naturalesa dels materials geològics preexistents.</li> </ul>  |
| <p><b>Termini convenient d'implementació</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obra existent: curt (1-3 anys) i mitjà (4-8 anys) terminis. Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.</li> <li>• Obra nova: curt termini (1-3 anys). 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).</li> <li>• Acció infraestructural vinculable al pdl.</li> </ul>  |
| <p><b>Consideracions al cicle de vida</b></p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegeu fitxa 4A.</li> </ul>   |
| <p><b>Indicadors de seguiment</b></p>            | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre de desprendiments o esllavissades registrats a l'any (nombre/any).</li> <li>• Nombre de talls i interrupcions del servei com a conseqüència dels desprendiments a l'any (nombre/any).</li> <li>• Temps d'interrupció del servei i mobilitat afectada (nombre de passatgers).</li> </ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre de projectes d'estabilització dels talussos executats (nombre/any).</li> <li>• Nombre de km lineals d'infraestructura sobre els que s'ha actuat amb els nous criteris de disseny.</li> <li>• Costos anuals de manteniment de talussos (€).</li> </ul> |



|  |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
|--|---|-----------|---|-------------|---|----------|---|-------------|---------|
| <b>REFORÇAR LA INSPECCIÓ ALS TALUSSOS DE TERRAPLENS I DESMUNTS PER ASSEGURAR LA SEVA SOLIDESA ESTRUCTURAL MITJANÇANT L'ÚS DE LA SENSÒRICA</b>  |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
|  |   |           |   |             |   |          |   | Subcodi     | 4C      |
|  |   |           |   |             |   |          |   | Prioritat   | Mitjana |
| Tipus de solució   |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
| Tècnica  |   | Operativa |   | Manteniment | x | Cultural |   | Regulatòria | x       |
| Aplicació per tipus d'infraestructura  |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
| No aplica  |   | Viària    | x | Ferroviana  | x | Existent | x | Nova        |         |
| Aplicació per mitjà de transport   |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
| No aplica  | x | Autobús   |   | Tren        |   | Metro    |   | Tramvia     |         |
| <p>Descripció de la solució</p> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Incorporar en les licitacions dels contractes de conservació i explotació criteris de valoració específics relatius al monitoratge de les infraestructures, tot considerant la inversió en sensòrica. Amb relació a l'estabilitat dels talussos, a mode d'exemple, es pot considerar les següents opcions: <ul style="list-style-type: none"> <li>Instal·lació de càmeres a la part frontal del parc mòbil per monitorar l'estat de les infraestructures a partir de la comparació de les fotografies preses en continu al llarg del temps.</li> </ul> </li> </ul> <p>Per exemple, l'empresa israeliana Dynamic Infrastructure ha desenvolupat un sistema de monitoratge de les infraestructures que consisteix en la comparació d'imatges 3D diàries amb altres de més antigues, per detectar problemes de manteniment i funcionament, defectes i anomalies.</p> |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
|    |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
| <p>Exemple de la tecnologia de monitoratge Dynamic Infrastructure.</p> <p>Font: <a href="http://diglobal.tech/technology/">http://diglobal.tech/technology/</a></p>  |   |           |   |             |   |          |   |             |         |

Les diagnosis resultants de les comparatives es poden monitorar a través d'un navegador simple i compartir de forma instantània amb companys i contractistes per accelerar les tasques de manteniment i augmentar el rendiment de la inversió.

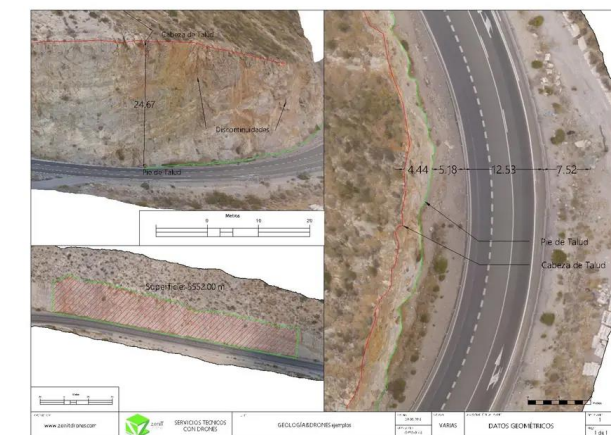
- o Instal·lar sensors sense fils i de monitoratge continu per detectar i reportar, en temps real, moviments de terra en una àrea determinada.



Exemple de sensor per detectar eventuais moviments de terra en talussos.

Font: <https://www.proximasystems.net/monitorizacion-de-taludes/>

- o Ús de drons per monitorar l'estat dels talussos.

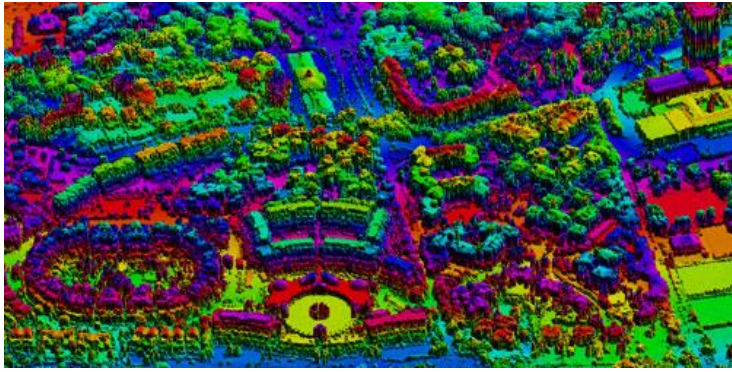


Exemple d'imatges obtingudes amb un dron, desenvolupat per Zenit drones.

Font: <https://zenitdrones.com/estabilidad-de-taludes-y-drones/>

Per tal d'automatitzar el processament de les dades recollides pels sistemes mencionats anteriorment, és desitjable la utilització d'algoritmes d'intel·ligència artificial.

- o Modelització del terreny amb LIDAR –en anglès, *Light Detection*

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  | <p>and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging-. Es tracta d'un dispositiu que permet mesurar la distància entre el punt d'emissió fins a un objecte o superfície a partir de la mesura del temps de retard entre l'emissió i la detecció a través del senyal reflectit.</p>  <p>Exemple de captació de dades LIDAR.</p> <p>Font: <a href="https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Servicios/Proyectos-a-medida/Captacion-de-datos">https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Servicios/Proyectos-a-medida/Captacion-de-datos</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Col·laboració amb l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) per detectar riscos de moviment de terres en els talussos de terraplens i desmunts propers a la xarxa de transport. L'ICGC està elaborant en l'actualitat una sèrie de mapes per a la prevenció de riscos geològics a escala 1:25.000.</li> </ul> | <p><b>Agents implicats en la implementació</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> </ul> |  |
| <p><b>Beneficis de la solució</b></p>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatització i increment en la precisió i agilitat de les tasques de manteniment.</li> <li>• Reducció del risc d'accidentalitat derivat de les condicions de la via.</li> <li>• Contribució al control de l'erosió a l'entorn de la infraestructura i prevenció de l'acumulació d'elements procedents dels terrenys en desmunt arrossegats per l'aigua de pluja o simplement per l'acció de la gravetat sobre la plataforma o la via.</li> </ul>  | <p><b>Barreres a la implementació</b></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologies encara relativament poc conegudes o aplicades al nostre país.</li> <li>• Necessitat d'adaptar les tecnologies existents a les necessitats de cada un dels operadors.</li> <li>• Increment del cost econòmic directe d'explotació -pel cost d'inversió per posar en marxa la tecnologia-, malgrat que a la llarga els costos de manteniment es veurien reduïts.</li> </ul>   |
| <p><b>Indicacions pels projectes i/o els operadors</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preveure, per part dels diferents operadors, la incorporació de partides complementàries en els contractes de conservació i explotació per tal de reforçar el monitoratge als talussos de terraplens i desmunts.</li> <li>• Valorar, per part de cada operador, l'adopció d'una o més d'aquestes mesures en trams ferroviaris on s'hagi constatat l'existència de problemes previs. En qualsevol cas es considera oportú dur a terme proves pilot per valorar l'efectivitat de les accions respecte la no intervenció.</li> </ul>   | <p><b>Termini convenient d'implementació</b></p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Curt termini (1-3 anys). Vinculat a la progressiva renovació dels contractes de conservació i explotació. Acció a mantenir al llarg del temps.</li> </ul>   |
| <p><b>Àmbit territorial d'aplicació</b></p>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Àmbit general: arreu de l'àmbit SIMMB.</li> <li>• Àmbits d'atenció especial: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Trams d'infraestructura associats a zones amb perillositat alta per esllavissades i desprendiments elaborats per l'ICGC (cal tenir en compte, però, que la cartografia disponible ara només representa una petita porció de l'àmbit SIMMB).</li> <li>o En obra existent, talussos o vessants que hagin presentat els darrers anys episodis reiterats d'esllavissades o desprendiments en punts de la xarxa viària bàsica i de la xarxa ferroviària.</li> </ul> </li> </ul>  | <p><b>Consideracions al cicle de vida</b></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualsevol intervenció preventiva que millori el comportament de la infraestructura envers un risc climàtic és susceptible d'evitar o reduir l'impacte del risc i, en conseqüència, d'allargar el cicle de vida de la infraestructura.</li> </ul> <p><b>Indicadors de seguiment</b></p> <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos anuals de manteniment de talussos (€).</li> <li>• Nombre de desprendiments o esllavissades registrats a l'any per tram de via (nombre/any).</li> <li>• Nombre de talls i interrupcions del servei com a conseqüència dels desprendiments a l'any (nombre/any).</li> <li>• Temps d'interrupció del servei i mobilitat afectada (nombre de passatgers).</li> </ul> |



## 7.5. Incrementar la protecció d'infraestructures situades en zones costaneres

|   |  |                   |   |
|---|--|-------------------|---|
| <b>INCREMENTAR LA PROTECCIÓ D'INFRAESTRUCTURES SITUADES EN ZONES COSTANERES</b> |  | Codi              | 5 |
| Impacte(s) al qual s'adreça   |  |                   |   |
| Sobre les infraestructures  |  | Grau d'incidència |   |
| Danys estructurals per soscavament i erosió                                     |  | Molt alta         |   |

|   |   |  |      |
|---|---|--|------|
| <b>MILLORAR LES MESURES DE PROTECCIÓ FÍSICA EN ZONES COSTANERES</b> |   | Subcodi  | 5A   |
|   |   | Prioritat  | Alta |
| Tipus de solució  |   |  |      |
| Tècnica   | x | Operativa  |      |
|   |   | Manteniment  |      |
|   |   | Cultural   |      |
|   |   | Regulatoria  |      |
| Aplicació per tipus d'infraestructura                               |   |  |      |
| No aplica   |   | Viària   | x    |
|   |   | Ferrovial  | x    |
|   |   | Existent   | x    |
|   |   | Nova   | x    |
| Aplicació per mitjà de transport                                    |   |  |      |
| No aplica   | x | Autobús  |      |
|   |   | Tren   |      |
|   |   | Metro  |      |
|   |   | Tramvia  |      |
| Descripció de la solució  |   | <p>Obra existent (R1 de Rodalies i N-II):</p> <p>La solució definitiva per a la línia R1 de Rodalies passa pel seu trasllat a l'interior dels municipis del Maresme, on no estigui condicionada pels efectes de la proximitat al litoral. En aquest sentit, ha sorgit també una proposta de perllongar la L2 del metro des de Badalona fins a Mataró (<a href="http://laveucdm.cat/2020/02/17/linia-r1-rodalies-dies-comptats/">http://laveucdm.cat/2020/02/17/linia-r1-rodalies-dies-comptats/</a>). Amb tot, cap d'aquestes opcions està contemplada al pdl.</p> <p>Altres solucions parcials o temporals a contemplar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar les previsions d'augment del nivell del mar en qualsevol intervenció de millora de les infraestructures existents.</li> <li>• Instal·lar elements de monitoratge (inclinòmetres i claus de nivell).</li> </ul> |      |

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Millorar l'estabilitat dels terraplens de les plataformes, per exemple, mitjançant micropilons.</li> <li>• Reforçar les esculleres als trams més vulnerables.</li> <li>• Instal·lar espigons de protecció al litoral, que afavoreixin una dinàmica litoral menys procliu als processos erosius de la costa. Ampliar, on sigui possible, l'amplada de les platges.</li> </ul> <p>Cal indicar que totes les actuacions que afectin la zona de domini públic marítime-terrestre han d'estar autoritzades per la Direcció General de la Costa i el Mar (Ministeri per a la Transició Ecològica i el Repte Demogràfic).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Protegir expressament elements sensibles, catenàries, aparells de via i, especialment, obres de fàbrica i drenatge.</li> </ul> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amb caràcter general, cal evitar la implantació de noves infraestructures de mobilitat en zones sensibles de la franja litoral. En cas que es justifiqui que és una actuació imprescindible per a la qual no hi ha alternatives, caldrà considerar les previsions d'augment del nivell del mar en el disseny i en la construcció de les noves infraestructures de transport, incorporant elements de protecció adequats i/o sobreelevant la infraestructura a una cota on el risc potencial d'afectació es redueixi.</li> </ul> |
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar el canvi climàtic –i més concretament l'ascens del nivell del mar– en la planificació i l'execució de nous projectes infraestructurals a les zones costaneres.</li> </ul>  |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestructures costaneres de l'àmbit SIMMB, en les quals la seva proximitat al mar suposa un perill d'afectació permanent o temporal en cas d'augment del nivell del mar o de llevantades (temporals marítimes).</li> </ul> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Noves infraestructures a les zones costaneres de l'àmbit SIMMB. En el cas de les noves actuacions previstes a l'Avanç del pdl 2021-2030 les més properes a la franja litoral –tot i que només la primera es troba realment propera a la línia de costa i més directament exposada– són les següents:</li> </ul>  |

- o XE01. Duplicació Arenys de Mar-Blanes
- o XT01. Entre d'altres actuacions inclou el perllongament de la línia de tramvia T4 fins al WTC.
- o XT04. Perllongament de la línia de tramvia T4 de Sant Adrià al port de Badalona.
- o TPC08. Entre d'altres actuacions inclou un carril-bus a la C-31 entre Castelldefels i l'Hospitalet.



Caracterització dels trams de la R1 associats a la línia de costa del Maresme en funció de la presència o no d'elements de protecció. La imatge superior correspon al tram Montgat-Mataró i la inferior al tram Mataró-Malgrat de Mar.


Font: elaboració pròpia.

|   |   |
|---|---|
| <b>Agents implicats en la implementació</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ADIF (MITMA), pel que fa a la línia R1 de Rodalies.</li> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS), pel que fa a la N-II al Maresme.</li> <li>• Direcció General de la Costa i el Mar (MITECO)</li> </ul>   |
| <b>Beneficis de la solució</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimització d'episodis de tall de via associats a l'acumulació d'aigua sobre les plataformes de les infraestructures.</li> <li>• Minimització d'episodis de tall del servei ferroviari degut a afectacions sobre la xarxa elèctrica.</li> <li>• Minimització d'episodis d'afectacions a les infraestructures derivades de l'impacte de l'aigua o les inundacions, com enderrocs o soscavacions.</li> <li>• Reducció del risc d'accidentalitat derivat de les condicions del ferm i/o de les vies ferroviàries.</li> </ul> |
| <b>Barreres a la implementació</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incertesa associada a l'avaluació del risc, atès que les prediccions sobre la magnitud de l'ascens del nivell del mar a la costa catalana, abasten un rang entre 0,5 i 1,8 m en l'horitzó 2100 i, d'altra banda, no hi ha projeccions específiques sobre l'increment en la freqüència i magnitud de les llevantades.</li> <li>• Impacte ambiental i/o paisatgístic de determinades actuacions.</li> <li>• Increment del cost econòmic directe d'execució.</li> </ul>   |
| <b>Termini convenient d'implementació</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obra existent: mitjà (4-8 anys) i llarg (&gt; 8 anys) terminis. Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.</li> <li>• Acció infraestructural vinculable al pdl.</li> </ul>   |
| <b>Consideracions al cicle de vida</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'afectació per efectes de llevantades i temporals marítims pot malmetre la superestructura, la pròpia infraestructura i/o elements mecànics, elèctrics i electrònics de gestió i control de la mateixa. Aquests episodis poden escurçar, doncs, la durabilitat d'elements concrets o de tot el conjunt.</li> </ul>  |
| <b>Indicadors de seguiment</b>              | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre d'episodis d'interrupció/talls del servei degut a afectacions sobre la plataforma o la catenària per temporals marítims i inundacions.</li> <li>• Nombre d'episodis d'interrupció/talls del servei ferroviari degut a afectacions al sistema elèctric.</li> </ul>   |

|  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Temps d'interrupció del servei degut a inundació i mobilitat afectada (nombre de passatgers).</li></ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Recursos destinats als projectes de millora de la protecció de les infraestructures envers l'ascens del nivell del mar o els efectes de temporals marítims (€ anuals / km infraestructura litoral existent).</li></ul> <p>Els recursos poden ser dels propis agents implicats en la infraestructura o bé de tercers, com la Direcció General de la Costa i el Mar (MITECO).</p> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Cost afegit del projecte directament imputable a l'adopció de mesures preventives envers els temporals marítims (M€).</li></ul> |
|--|---|

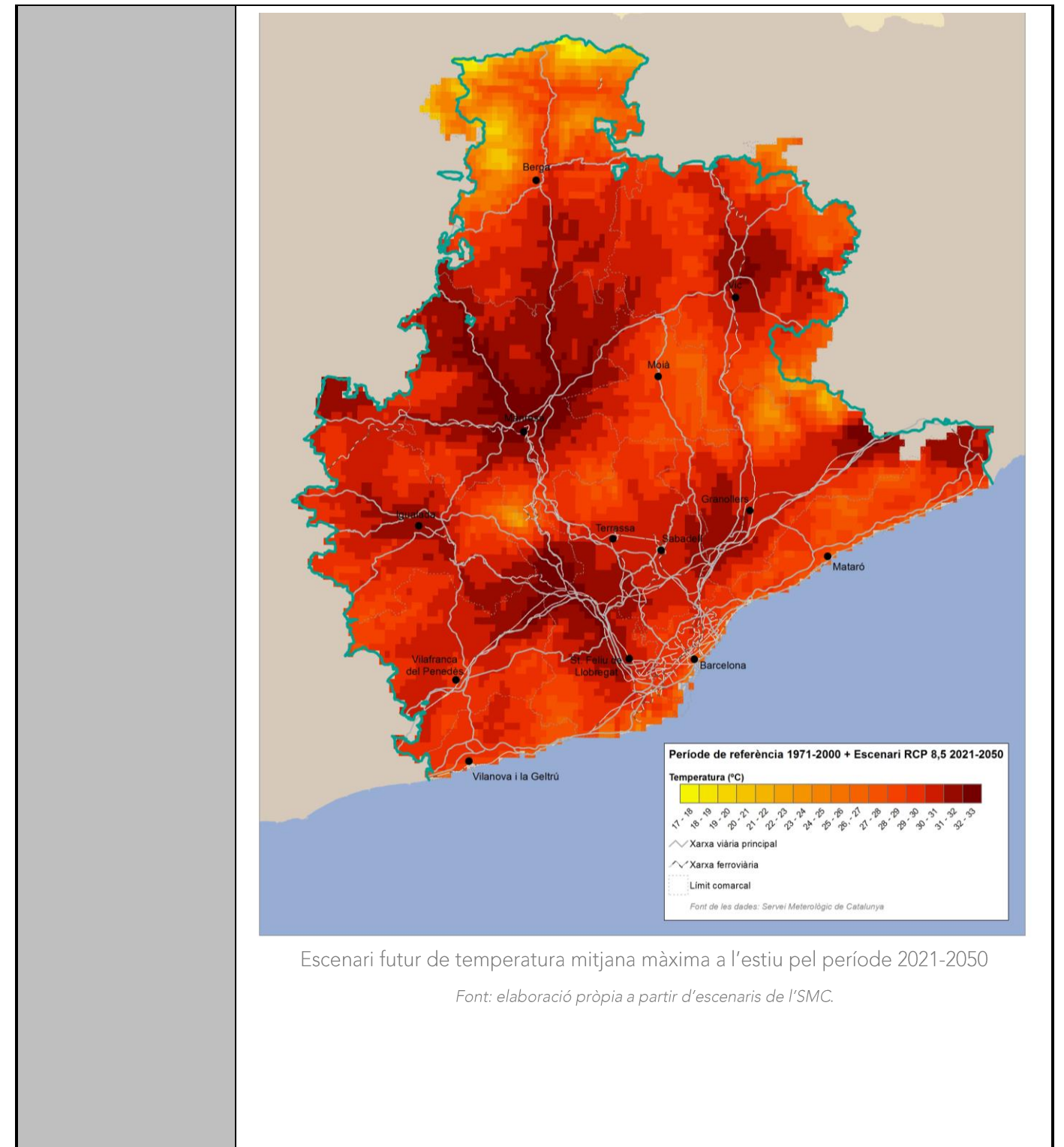
7.6. Prevenir els danys produïts per elevades temperatures sobre la infraestructura i el parc mòbil

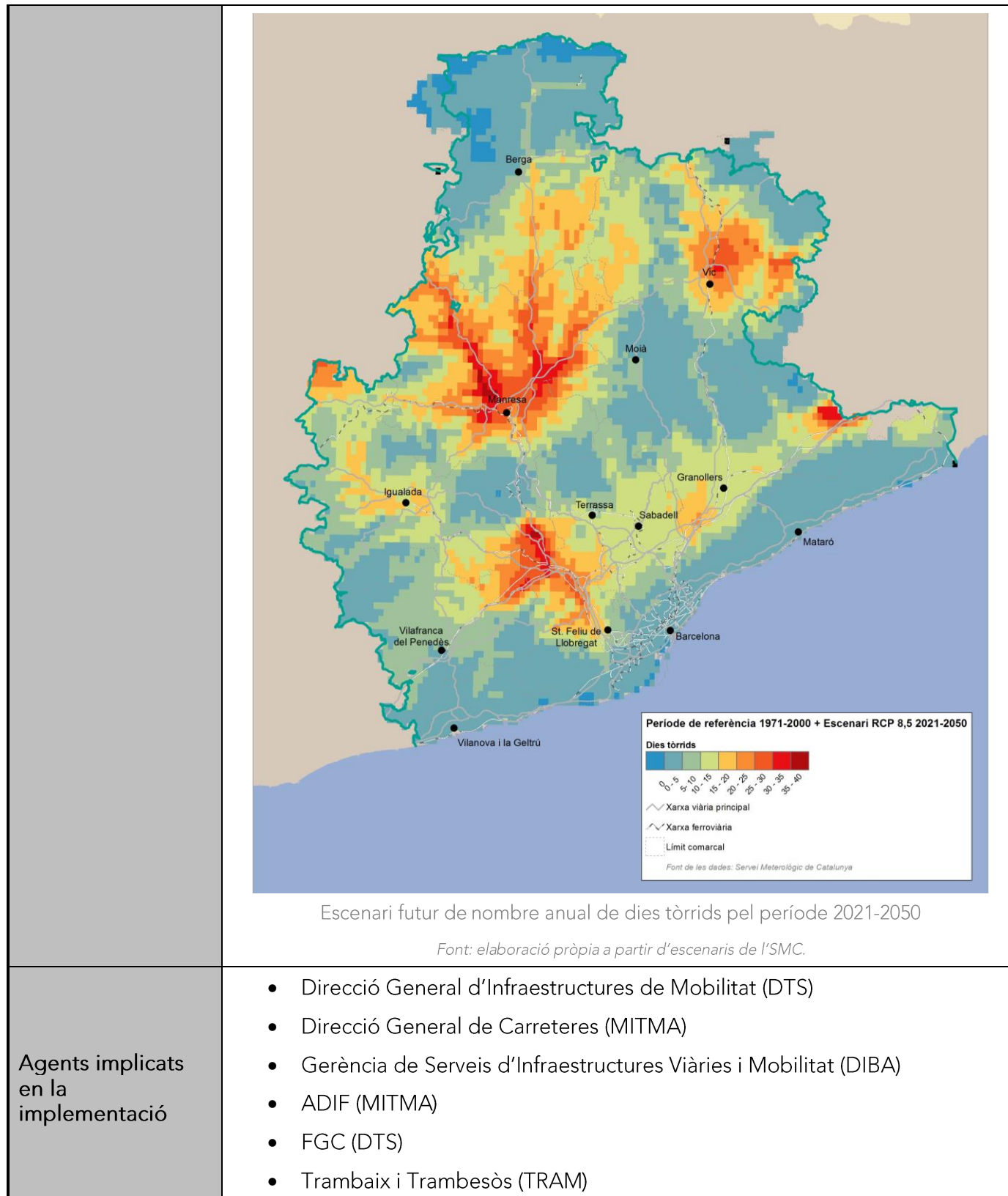
|   |  |                   |   |
|---|--|-------------------|---|
| <b>PREVENIR ELS DANYS PRODUÏTS PER ELEVADES TEMPERATURES SOBRE LA INFRAESTRUCTURA I EL PARC MÒBIL</b> |  | Codi              | 6 |
| Impacte(s) a la qual s'adreça   |  |                   |   |
| Sobre les infraestructures  |  | Grau d'incidència |   |
| Deformació i/o esquerdat del ferm   |  | Molt alta         |   |
| Deformació dels rails i/o de la catenària   |  | Molt alta         |   |
| Afectació sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació                                       |  | Molt alta         |   |
| Sobre l'operació  |  | Grau d'incidència |   |
| Disminució del confort climàtic   |  | Alta              |   |
| Aturada dels combois per manca de subministrament elèctric  |  | Alta              |   |

|   |   |           |   |             |  |          |   |             |         |
|---|---|-----------|---|-------------|--|----------|---|-------------|---------|
| <b>USAR MATERIALS MÉS RESISTENTS A ALTES TEMPERATURES EN ESTRUCTURES, FERMS, RAÏLS I CATENÀRIES</b> |   |           |   |             |  |          |   | Subcodi     | 6A      |
|   |   |           |   |             |  |          |   | Prioritat   | Mitjana |
| Tipus de solució  |   |           |   |             |  |          |   |             |         |
| Tècnica   | x | Operativa |   | Manteniment | x  | Cultural |   | Regulatòria |         |
| Aplicació per tipus d'infraestructura   |   |           |   |             |  |          |   |             |         |
| No aplica   |   | Viària    | x | Ferrovial   | x  | Existent | x | Nova        | x       |
| Aplicació per mitjà de transport  |   |           |   |             |  |          |   |             |         |
| No aplica   | x | Autobús   |   | Tren        |  | Metro    |   | Tramvia     |         |
| Descripció de la solució  |   |           |   |             | General (obra nova i existent):  |          |   |             |         |
|   |   |           |   |             | Sistema viari:   |          |   |             |         |
|   |   |           |   |             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar tractaments o revestiments (agregats reflectants, un aglomerant transparent o reflector, o bé un recobriments de superfície reflectant sobre els paviments per augmentar-ne la reflectància ("cool pavements") i reduir la temperatura assolida per exposició al sol, amb els quals es poden arribar a taxes de reflectància de fins a un 50%<br/> <a href="https://www.urbangreenup.eu/solutions/cool-pavement.kl">https://www.urbangreenup.eu/solutions/cool-pavement.kl</a><br/> <a href="https://blogs.publico.es/kaostica/2019/02/22/asfalto-claro/">https://blogs.publico.es/kaostica/2019/02/22/asfalto-claro/</a>.</li> </ul> |          |   |             |         |
|   |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
|   |   |           |   |             | <p>Imatge infraroja tèrmica (esquerra) que demostra que el tram de la carretera amb asfalt de color clar està a una temperatura inferior respecte el tram més fosc.</p> <p>Font: <a href="https://blogs.publico.es/kaostica/2019/02/22/asfalto-claro/">https://blogs.publico.es/kaostica/2019/02/22/asfalto-claro/</a></p>   |          |   |             |         |




|   |  |
|---|--|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar –en nous asfaltats o reasfaltats– noves combinacions de mescles bituminoses que permetin una millor tolerància a les elevades temperatures, rebaixant el rang de temperatures de penetració.</li> </ul> <p>Obra existent:</p> <p>Sistema ferroviari</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consolidar rails en trams sensibles per prevenir ripatges. Per exemple FGC ho ha fet en el ramal d'Igualada després de Martorell.</li> <li>• Considerar la substitució d'elements sensibles a deformacions per materials amb coeficients de dilatació baixos. En aquest sentit, per exemple, TRAM va substituir catenàries amb coure per d'altres amb alumini.</li> <li>• Incrementar el règim d'inspecció de rails i catenàries en període estival.</li> </ul> <p>Obra nova:</p> <p>Sistema viari</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar a l'alça els càlculs sobre juntes de dilatació en elements constructius (plataformes, pilars, etc.) per evitar l'esquerdat a causa de canvis dimensionals tèrmics.</li> </ul> <p>Sistema ferroviari</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilitzar combinacions de materials en plataforma, balast, travesses i rails que garanteixin la màxima resistència a condicions persistents d'elevades temperatures.</li> <li>• Considerar la variació de les fletxes de les catenàries en funció d'escenaris amb temperatures incrementades i cops de vent més virulents.</li> <li>• Preveure materials amb coeficients de dilatació baixos front les altes temperatures.</li> </ul> |
| <p>Indicacions pels projectes i/o els operadors</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaluar, cas per cas, les diferents opcions plantejades per identificar les més adequades en funció de les característiques de cada infraestructura.</li> </ul>   |
| <p>Àmbit territorial d'aplicació</p>                | <p>General (obra existent i obra nova):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arreu de l'àmbit SIMMB.</li> </ul> <p>Àmbits d'atenció especial:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trams d'infraestructura situats en àmbits on els escenaris climàtics preveuen temperatures mitjanes a l'estiu superiors a 32 °C i/o un nombre anual de dies tòrrids superior a 20.</li> </ul>   |






|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Beneficis de la solució            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimització d'episodis de tall del servei viari o ferroviari degut a les condicions del ferm i/o de les vies ferroviàries.</li> <li>• Minimització d'episodis d'afectacions a les infraestructures derivades de les elevades temperatures.</li> <li>• Reducció del risc d'accidentalitat derivat de les condicions del ferm i/o de les vies ferroviàries.</li> <li>• Reducció dels costos de manteniment.</li> </ul>   |
| Barreres a la implementació        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultat d'execució en obra existent sense interferir en l'operativitat de la via o la prestació del servei.</li> <li>• Increment del cost econòmic directe d'execució.</li> </ul>  |
| Termini convenient d'implementació | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obra existent: llarg termini (&gt; 8 anys). Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.</li> <li>• Obra nova: curt termini (1-3 anys). Associat a la pròpia redacció del projecte.</li> <li>• Acció infraestructural vinculable al pdl.</li> </ul>   |
| Consideracions al cycle de vida    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'adopció de solucions per reduir l'afectació d'elevades temperatures sobre materials i components de la infraestructura permetrà incrementar-ne la durabilitat i, en definitiva, la vida útil del conjunt de la infraestructura.</li> </ul>  |
| Indicadors de seguiment            | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre d'episodis d'interrupció/talls del servei degut a afectacions a la infraestructura viària o ferroviària com a conseqüència de les elevades temperatures.</li> <li>• Temps d'interrupció del servei degut a afectacions a la infraestructura viària o ferroviària com a conseqüència de les elevades temperatures (nombre de passatgers).</li> </ul> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Percentatge de projectes que consideren uns criteris de disseny de les estructures viàries o ferroviàries més exigents que la normativa vigent amb relació a les elevades temperatures.</li> <li>• Increment de la inversió associat a l'aplicació de criteris disseny millorats respecte les exigències normatives per projecte (€ / km infraestructura).</li> </ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre de punts/elements millorats de les estructures de la xarxa viària i ferroviària.</li> <li>• Longitud en km lineals en els que s'ha intervingut, per tipus d'intervenció (catenària, rails, ferm, etc.).</li> <li>• Recursos destinats als projectes de millora del disseny de la xarxa viària i ferroviària per cada agent implicat (€ / km infraestructura existent).</li> </ul> |

|  |   |           |   |             |   |          |   |             |           |      |
|--|---|-----------|---|-------------|---|----------|---|-------------|-----------|------|
| <b>ADEQUAR INSTAL·LACIONS SENSIBLES AMB EQUIPS ELÈCTRICS I ELECTRÒNICS QUE FUNCIONIN EN UN RANG DE TEMPERATURES MÉS ELEVAT</b>   |   |           |   |             |   |          |   |             | Subcodi   | 6B   |
|  |   |           |   |             |   |          |   |             | Prioritat | Alta |
| Tipus de solució   |   |           |   |             |   |          |   |             |           |      |
| Tècnica  | x | Operativa | x | Manteniment | x | Cultural |   | Regulatòria |           |      |
| Aplicació per tipus d'infraestructura  |   |           |   |             |   |          |   |             |           |      |
| No aplica  |   | Viària    | x | Ferroviana  | x | Existent | x | Nova        | x         |      |
| Aplicació per mitjà de transport   |   |           |   |             |   |          |   |             |           |      |
| No aplica  | x | Autobús   |   | Tren        |   | Metro    |   | Tramvia     |           |      |
| <p>Descripció de la solució</p> <p>General (obra nova i existent):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Utilitzar equips i/o components certificats per a un rang de funcionament a temperatures més elevades que les estàndard (components o equips tropicalitzats).</li> <li>Climatitzar, en el cas que no ho estiguin, les sales tècniques</li> <li>Establir un programa de manteniment dels sistemes de ventilació dels equips, per garantir-ne el funcionament òptim al llarg del temps.</li> </ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ampliar la capacitat de ventilació i refrigeració dels quadres elèctrics i armaris tècnics per evitar el seu sobreescalfament.</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Exemple de refrigerador termoelèctric estanc IP67, d'acer inoxidable .<br/>Font: <a href="https://www.delvallebox.com/es/ventilacion-y-climatizacion-armarios-y-cuadros-electricos/refrigerador-termoelectrico-67">https://www.delvallebox.com/es/ventilacion-y-climatizacion-armarios-y-cuadros-electricos/refrigerador-termoelectrico-67</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reubicar –sempre que sigui possible o en el seu defecte, cobrir amb algun element de protecció solar amb elevat índex de reflexió– aquells equips que quedin exposats a la insolació durant un període prolongat al llarg del dia.</li> </ul> |   |           |   |             |   |          |   |             |           |      |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Instal·lar equips que incorporin un sistema de ventilació i/o refrigeració reforçat tenint en compte escenaris més càlids i amb onades de calor de més durada.</li> </ul>  |
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>Avaluar, cas per cas, les diferents opcions plantejades per identificar les més adequades en funció de les característiques de cada infraestructura.</li> </ul>  |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <p>General (obra existent i obra nova):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Arreu de l'àmbit SIMMB.</li> </ul> <p>Àmbits d'atenció especial:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Instal·lacions i armaris tècnics exposats a insolació directa.</li> <li>Equips situats en àmbits on els escenaris climàtics preveuen temperatures mitjanes a l'estiu superiors a 32 °C. i/o un nombre anual de dies tòrrids superior a 20 (vegeu mapes de la fitxa 6A).</li> </ul> |
| Agents implicats en la implementació         | <ul style="list-style-type: none"> <li>ADIF (MITMA)</li> <li>FGC (DTS)</li> <li>Ferrocarril Metropolità de Barcelona (TMB)</li> <li>Trambaix i Trambesòs (TRAM)</li> <li>Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> </ul>   |
| Beneficis de la solució                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Increment de la vida útil dels equips elèctrics i electrònics.</li> <li>Minimització de les afectacions causades pel sobreescalfament dels equips elèctrics i electrònics.</li> <li>Reducció dels costos de manteniment.</li> </ul>  |
| Barreres a la implementació                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eventuals limitacions en el grau de disponibilitat en el mercat d'equips o components tropicalitzats.</li> <li>Increment del cost econòmic directe d'execució.</li> </ul>  |
| Termini convenient d'implementació           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Obra existent: mitjà termini (4-8 anys). Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics. Acció a mantenir al llarg del temps.</li> <li>Obra nova: curt termini (1-3 anys). Associat a la pròpia redacció del projecte.</li> <li>Acció infraestructural vinculable al pdl.</li> </ul>  |
| Consideracions al cicle                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>L'adopció de les mesures proposades comportarà una major</li> </ul>  |

|                         |  |
|-------------------------|--|
| de vida                 | durabilitat –i garantia de funcionament ininterromput– dels elements elèctrics i electrònics que equipen les infraestructures i els seus sistemes de gestió i control.   |
| Indicadors de seguiment | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Nombre de fallades d'equips elèctrics i electrònics atribuïbles a temperatures elevades.</li></ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Recursos destinats a l'adaptació dels equips actuals per tal que puguin funcionar en condicions de temperatura ambient més elevada (€ / equip).</li><li>• Nombre d'equips millorats per any i operador.</li></ul> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Cost afegit del projecte directament imputable a l'adopció de mesures preventives per a la protecció d'equips respecte les elevades temperatures.</li></ul> |



|  |   |   |  |             |   |          |   |             |   |           |         |
|--|---|---|--|-------------|---|----------|---|-------------|---|-----------|---------|
| <b>INSTAL·LAR SENSORS DE TEMPERATURA ALS RAÏLS I CONSIDERAR PINTAR DE BLANC ELS TRAMS MÉS PROBLEMÀTICS</b> |   |   |  |             |   |          |   |             |   | Subcodi   | 6C      |
|  |   |   |  |             |   |          |   |             |   | Prioritat | Mitjana |
| Tipus de solució   |   |   |  |             |   |          |   |             |   |           |         |
| Tècnica  | x | Operativa   |  | Manteniment | x | Cultural |   | Regulatòria |   |           |         |
| Aplicació per tipus d'infraestructura  |   |   |  |             |   |          |   |             |   |           |         |
| No aplica  |   | Viària  |  | Ferroviana  | x | Existent | x | Nova        | x |           |         |
| Aplicació per mitjà de transport   |   |   |  |             |   |          |   |             |   |           |         |
| No aplica  | x | Autobús   |  | Tren        |   | Metro    |   | Tramvia     |   |           |         |
| Descripció de la solució   |   | <p>General (obra nova i existent):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instal·lar sensors de temperatura als raïls per fer un control continu i a temps real de la temperatura acumulada a la infraestructura per prevenir incidències derivades de la calor.</li> <li>• Instal·lar sensors per detectar deformacions a les vies de tren. Per exemple, la Universitat d'Alcalà d'Henares ha desenvolupat un sistema de monitoratge capaç de detectar problemes estructurals a partir de sensors de fibra òptica (<a href="https://www.innovaspain.com/sensores-fibra-optica-detectan-fallos-puentes-tiempo-record-uah/">https://www.innovaspain.com/sensores-fibra-optica-detectan-fallos-puentes-tiempo-record-uah/</a>).</li> <li>• Pintar de blanc determinats trams de raïl per augmentar-ne la reflectància i reduir la magnitud de l'increment tèrmic. Per exemple, Network Rail, l'empresa operadora de la xarxa ferroviària anglesa, estima que, amb l'ús de pintura blanca, els raïls absorbeixen entre 5 i 10 °C menys de temperatura. Aquesta mesura s'ha aplicat a nombrosos països europeus com Regne Unit, Suïssa, Alemanya i Itàlia.</li> </ul> |  |             |   |          |   |             |   |           |         |
|  |   |  <p>Exemple de raïls pintats de blanc a la xarxa ferroviària de Milà.<br/>Font: <a href="https://pwayblog.com/2016/09/16/white-rails/">https://pwayblog.com/2016/09/16/white-rails/</a></p>   |  |             |   |          |   |             |   |           |         |

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ús de pintura d'emulsió blanca a base d'aigua, amb la qual s'assoleix una major reflectància, no només pel color, sinó també per la seva pigmentació. Aquest tipus de pintura, a més, té un menor impacte ambiental en comparació amb la pintura convencional.</li> </ul>   |
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valorar, per part de cada operador, l'adopció d'una o més d'aquestes mesures en trams ferroviaris on s'hagi constatat l'existència de problemes previs. En qualsevol cas es considera oportú dur a terme proves pilot per valorar l'efectivitat de les accions respecte la no intervenció.</li> </ul>   |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <p>General (obra existent i obra nova):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arreu de l'àmbit SIMMB.</li> </ul> <p>Àmbits d'atenció especial:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trams de via situats en àmbits on els escenaris climàtics preveuen temperatures mitjanes a l'estiu superiors a 32 °C i/o un nombre anual de dies tòrrids superior a 20 (vegeu mapes de la fitxa 6A).</li> <li>• Trams de via on s'hagin produït incidències relacionades amb la deformació dels raïls com a conseqüència de l'elevada temperatura.</li> </ul> |
| Agents implicats en la implementació         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> <li>• Trambaix i Trambesòs (TRAM)</li> </ul>   |
| Beneficis de la solució                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimització d'episodis d'afectacions o interrupcions del servei ferroviari derivades de les elevades temperatures.</li> <li>• Reducció del risc d'accidentalitat derivat de les condicions de les vies ferroviàries.</li> <li>• Reducció dels costos de manteniment.</li> </ul>  |
| Barreres a la implementació                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultat d'execució en obra existent sense interferir en l'operativitat de la via o la prestació del servei.</li> <li>• Increment del cost econòmic directe d'execució/manteniment.</li> </ul>  |
| Termini convenient d'implementació           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Curt (1-3 anys) i mitjà (4-8 anys) terminis. Actuar als trams més problemàtics de la xarxa ferroviària.</li> </ul>  |
| Consideracions al cicle de vida              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualsevol intervenció preventiva que millori el comportament de la infraestructura envers l'increment de temperatura és susceptible</li> </ul>  |

|                         |  |
|-------------------------|--|
|                         | d'evitar o reduir l'impacte del risc i, en conseqüència, d'allargar el cicle de vida de la infraestructura.  |
| Indicadors de seguiment | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Nombre d'incidències del servei registrades per sobreescalfament dels rails.</li><li>• Temperatura registrada als rails (°C).</li></ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Recursos destinats a l'adaptació dels rails per tal que puguin funcionar en condicions de temperatura ambient més elevada (€ / km).</li></ul> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Cost afegit del projecte directament imputable a l'adopció de mesures preventives amb relació a les elevades temperatures.</li></ul> |

### 7.7. Millorar la protecció solar a les instal·lacions a l'aire lliure

|   |  |                   |   |
|---|--|-------------------|---|
| <b>MILLORAR LA PROTECCIÓ SOLAR A LES INSTAL·LACIONS A L'AIRE LLIURE</b> |  | Codi              | 7 |
| Impacte(s) a la qual s'adreça   |  |                   |   |
| Sobre l'operació  |  | Grau d'incidència |   |
| Disminució del confort climàtic   |  | Alta              |   |
| Sobreescaïfament de motors i avaries en vehicles                        |  | Mitjana           |   |

|   |   |  |         |
|---|---|--|---------|
| <b>PROTEGIR LES PARADES i ESTACIONS EXPOSADAS A LA RADIACIÓ SOLAR DIRECTA</b> |   | Subcodi  | 7A      |
|   |   | Prioritat  | Mitjana |
| Tipus de solució  |   |  |         |
| Tècnica   | x | Operativa  |         |
|   |   | Manteniment  |         |
|   |   | Cultural   |         |
|   |   | Regulatoria  |         |
| Aplicació per tipus d'infraestructura   |   |  |         |
| No aplica   |   | Viària   | x       |
|   |   | Ferrovial  | x       |
|   |   | Existent   | x       |
|   |   | Nova   | x       |
| Aplicació per mitjà de transport  |   |  |         |
| No aplica   |   | Autobús  | x       |
|   |   | Tren   | x       |
|   |   | Metro  |         |
|   |   | Tramvia  | x       |
| Descripció de la solució  |   | <p>General (obra nova i existent):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dotar de marquesines i altres elements de protecció solar (passius o actius) a parades i estacions en superfície per protegir-les de l'exposició solar directa.</li> <li>• Considerar la implantació de vegetació propera a les parades i estacions, principalment en orientacions sud i oest, que proporcioni ombra a l'estiu i contribueixi a la regulació microclimàtica.</li> <li>• Utilitzar vegetació sobre elements de protecció artificials (marquesines, cobertes d'estacions) per tal de potenciar la regulació</li> </ul> |         |

microclimàtica local, Una iniciativa d'aquest tipus, per exemple, s'ha aplicat a la ciutat d'Utrecht (<https://brightvibes.com/1358/en/this-dutch-city-has-transformed-its-bus-stops-into-bee-stops>).



Exemple de marquesines amb sostre verd a la ciutat d'Utrecht.

Font: <https://brightvibes.com/1358/en/this-dutch-city-has-transformed-its-bus-stops-into-bee-stops>

- Aquesta intervenció pot combinar-se amb d'altres elements, com la instal·lació de plaques fotovoltaïques. Aquesta opció s'ha aplicat, per exemple, a la ciutat de Vitória <https://gasteizberri.com/2018/05/marquesinas-verdes-con-placas-solares-y-tapices-vegetales-para-el-autobus-brt/>.
- En cas de no usar vegetació caldrà utilitzar materials amb elevat índex de reflectància solar.

Obra existent:

- Fer auditories energètiques d'estacions i altres instal·lacions en superfície sotmeses a elevada insolació per tal d'avaluar eventuais millores en sistemes de protecció solar.

Obra nova:

- Considerar l'orientació solar en els projectes de la ubicació de les noves estacions i parades.
- Utilitzar dissenys i materials eficients en matèria d'aïllament tèrmic.



Exemples elements de protecció solar a parades d'autobús:



Zona de parada amb lones de protecció a l'aeroport de Palma de Mallorca.

Font: Cinesi



Marquesina correguda a doble costat a Lió.

Font: Cinesi



Marquesina a doble costat.

Font: <https://www.ozonehardware.com/pd/bs-bus-shelters>



Pal de parada amb cobertura a Palma de Mallorca.

Font: Cinesi

|  |   |
|--|---|
|  |   |
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaluar, cas per cas, les diferents opcions plantejades per identificar les més adequades en funció de les característiques de cada infraestructura.</li> </ul>  |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Totes aquelles estacions o parades de l'àmbit SIMMB que es trobin exposades al sol i no comptin amb cap tipus de protecció solar –o aquesta sigui insuficient–.</li> </ul>   |
| Agents implicats en la implementació         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Departament de Territori i Sostenibilitat (molts serveis interurbans fora de l'AMB), ATM, (programa d'inversions) AMB i Ajuntaments (casos particulars)</li> <li>• FGC (DTS)</li> <li>• Operadors d'autobús urbà i interurbà</li> <li>• Renfe Operadora / ADIF (MITMA)</li> <li>• Trambaix i Trambesòs (TRAM)</li> </ul> |
| Beneficis de la solució                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Millora del confort climàtic del passatge i treballador(e)s. Afavoriment indirecte en l'ús del transport públic per part de la població.</li> <li>• Menors necessitats de consum d'energia per climatització dins d'estacions a nivell de carrer i altres recintes tancats.</li> </ul>                                   |
| Barreres a la implementació                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condicionants imposats pel propi traçat de la infraestructura i d'inscripció en la trama urbana.</li> <li>• Limitacions físiques i servituds en l'espai urbà que dificultin la implementació de les mesures.</li> </ul>  |



|                                    |  |
|------------------------------------|--|
|                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lleuger increment del cost econòmic directe d'execució.</li> </ul>  |
| Termini convenient d'implementació | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obra existent: mitjà termini (4-8 anys). Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.</li> <li>• Obra nova: curt termini (1-3 anys). Associat a la pròpia redacció del projecte.</li> <li>• Acció infraestructural vinculable al pdl.</li> </ul>  |
| Consideracions al cicle de vida    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La majoria d'elements apuntats poden tenir unes característiques de durabilitat com a mínim iguals a les dels existents. Amb tot, alguns elements poden comportar certs costos de gestió i/o manteniment o fins i tot de reposició al llarg del temps (per exemple en el cas de lones mobibles o elements de vegetació natural).</li> </ul>   |
| Indicadors de seguiment            | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Percentatge de parades en superfície i per mitjà de transport dotades d'elements de protecció solar.</li> <li>• Estalvi energètic associat a menors necessitats de refrigeració de les instal·lacions (kWh / dia).</li> <li>• Índex de satisfacció dels usuaris respecte el confort climàtic.</li> </ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recursos destinats als projectes de millora de la protecció solar o el confort climàtic en parades i estacions (€ / m²).</li> <li>• Nombre de punts de parada en els que s'ha intervingut.</li> </ul> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cost afegit del projecte directament imputable a l'adopció de mesures preventives envers els temporals marítims (M€).</li> </ul> |

|   |   |   |   |             |   |          |   |             |         |
|---|---|---|---|-------------|---|----------|---|-------------|---------|
| <b>PROTEGIR LES COTXERES I LES PLATGES DE VIES DE LA RADIACIÓ SOLAR DIRECTA</b> |   |   |   |             |   |          |   |             |         |
|   |   |   |   |             |   |          |   | Subcodi     | 7B      |
|   |   |   |   |             |   |          |   | Prioritat   | Mitjana |
| Tipus de solució  |   |   |   |             |   |          |   |             |         |
| Tècnica   | x | Operativa   |   | Manteniment |   | Cultural |   | Regulatoria |         |
| Aplicació per tipus d'infraestructura   |   |   |   |             |   |          |   |             |         |
| No aplica   |   | Viària  | x | Ferroviària | x | Existent | x | Nova        | x       |
| Aplicació per mitjà de transport  |   |   |   |             |   |          |   |             |         |
| No aplica   |   | Autobús   | x | Tren        | x | Metro    | x | Tramvia     | x       |
| Descripció de la solució  |   | <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Avaluar la instal·lació d'elements de protecció solar –amb elevat índex de reflectància solar– en les cotxeres i platges de vies exposades a forts períodes d'insolació a l'estiu, amb l'objectiu que quan els vehicles i combois entrin en servei els mesos d'estiu no estiguin sobreescalfats i/o no hagin d'engegar els sistemes d'aire condicionat amb antelació a l'entrada en servei.</li> <li>Aplicar tractaments o revestiments sobre els paviments existents a les cotxeres per augmentar-ne la reflectància ("cool pavements") (<a href="https://www.urbangreenup.eu/solutions/cool-pavement.kl">https://www.urbangreenup.eu/solutions/cool-pavement.kl</a>).</li> <li>Contemplar la substitució de materials o l'establiment d'estratègies energètiques com la ventilació creuada en cotxeres que, tot i presentar cobertes, presentin un comportament energètic desfavorable.</li> <li>Considerar, eventualment, el trasllat a una altra ubicació més favorable.</li> </ul> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dissenyar les noves cotxeres amb orientacions, materials i criteris constructius que minimitzin el sobreescalfament dins el recinte.</li> </ul> |   |             |   |          |   |             |         |

|  |  |
|--|--|
|  |  <p>Les cotxeres del tramvia de València ja van entrar en servei el 1994 amb una coberta en la platja de vies d'estacionament.</p> <p style="text-align: right;"><i>Font: Cinesi</i></p>  |
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>Avaluar, cas per cas, les diferents opcions plantejades per identificar les més adequades en funció de les característiques de cada infraestructura.</li> </ul>   |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cotxeres d'autobús o de modes ferroviaris en superfície sense protecció solar o amb una protecció solar parcial.</li> <li>Cotxeres sota coberta on es constatin elevades temperatures ambient els mesos d'estiu.</li> </ul> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Arreu de l'àmbit SIMMB.</li> </ul> <p>Àmbits d'atenció especial:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cotxeres situades en entorns molt urbanitzats on l'efecte illa de calor és molt significatiu.</li> <li>Cotxeres situades en àmbits on els escenaris climàtics preveuen temperatures mitjanes a l'estiu superiors a 32 °C.</li> </ul> |
| Agents implicats en la implementació         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Departament de Territori i Sostenibilitat, ATM, AMB i Ajuntaments</li> <li>ADIF (MITMA)</li> <li>FGC (DTS)</li> </ul>   |

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
|                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trambaix i Trambesòs (TRAM)</li> <li>• TMB i altres operadors d'autobús urbà i interurbà</li> </ul>  |
| Beneficis de la solució            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducció dels consum energètic associat a la refrigeració dels vehicles.</li> <li>• Millora del confort climàtic del passatge i treballador(e)s.</li> <li>• Protecció dels vehicles, en el cas d'instal·lacions cobertes, envers altres riscos naturals (fortes precipitacions, calamarsa, forts vents, etc.).</li> </ul>  |
| Barreres a la implementació        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Possible percepció de relació cost/benefici poc clara.</li> <li>• Increment del cost econòmic directe d'execució.</li> </ul>   |
| Termini convenient d'implementació | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obra existent: mitjà (4-8 anys) i llarg (&gt; 8 anys) terminis. Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.</li> <li>• Obra nova: curt termini (1-3 anys). Associat a la pròpia redacció del projecte.</li> <li>• Acció infraestructural vinculable al pdl.</li> </ul>  |
| Consideracions al cicle de vida    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La disminució de la radiació solar directa sobre els vehicles redunda en una major durabilitat dels diferents elements que els conformen, atès que redueixen les hores totals anuals d'exposició a la radiació (efecte directe de l'exposició a elevades temperatures, indirecte de la radiació ultraviolada sobre materials plàstics, etc.).</li> </ul>   |
| Indicadors de seguiment            | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estalvi energètic associat a menors necessitats de refrigeració dels vehicles abans de la seva entrada en servei (kWh / vehicle).</li> <li>• Índex de satisfacció dels usuaris respecte el confort climàtic.</li> </ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recursos destinats als projectes de millora de la protecció solar o el confort climàtic (€ / m²).</li> <li>• Nombre d'instal·lacions en les que s'ha actuat.</li> </ul> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cost afegit del projecte directament imputable a l'adopció de mesures preventives envers els temporals marítims (M€).</li> </ul> |

7.8. Millorar el confort climàtic en el transport públic

|  |  |                   |   |
|--|--|-------------------|---|
| <b>MILLORAR EL CONFORT CLIMÀTIC EN EL TRANSPORT PÚBLIC</b> |  | Codi              | 8 |
| Impacte(s) a la qual s'adreça                              |  |                   |   |
| Sobre l'operació   |  | Grau d'incidència |   |
| Disminució del confort climàtic                            |  | Molt alta/Mitjana |   |
| Sobreescalfament de motors i avaries en vehicles           |  | Molt alta         |   |


|   |   |   |      |
|---|---|---|------|
| <b>OPTIMITZAR L'EFICIÈNCIA DE L'AIRE CONDICIONAT AL PARC MÒBIL I A LES INSTAL·LACIONS</b> |   | Subcodi   | 8A   |
|   |   | Prioritat   | Alta |
| Tipus de solució  |   |   |      |
| Tècnica   | x | Operativa   | x    |
| Manteniment   | x | Cultural  |      |
| Regulatòria   |   |   |      |
| Aplicació per tipus d'infraestructura   |   |   |      |
| No aplica   |   | Viària  | x    |
| Ferrovial   | x | Existent  | x    |
| Nova  | x |   |      |
| Aplicació per mitjà de transport  |   |   |      |
| No aplica   |   | Autobús   | x    |
| Tren  | x | Metro   | x    |
| Tramvia   | x |   |      |
| Descripció de la solució  |   | <p>General (parc mòbil i instal·lacions, tant noves com existents):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Instal·lar sistemes d'aire condicionat eficients per reduir el consum energètic associat a la climatització del parc mòbil i les instal·lacions del transport públic.</li> <li>Controlar individualment els sistemes de refrigeració mitjançant sistemes d'intel·ligència artificial i sensorització, que tinguin en compte diferents paràmetres tals com la temperatura de l'aire, les previsions meteorològiques de l'exterior, el nombre de passatgers, les característiques tècniques dels trens/metros, etc.</li> </ul> |      |

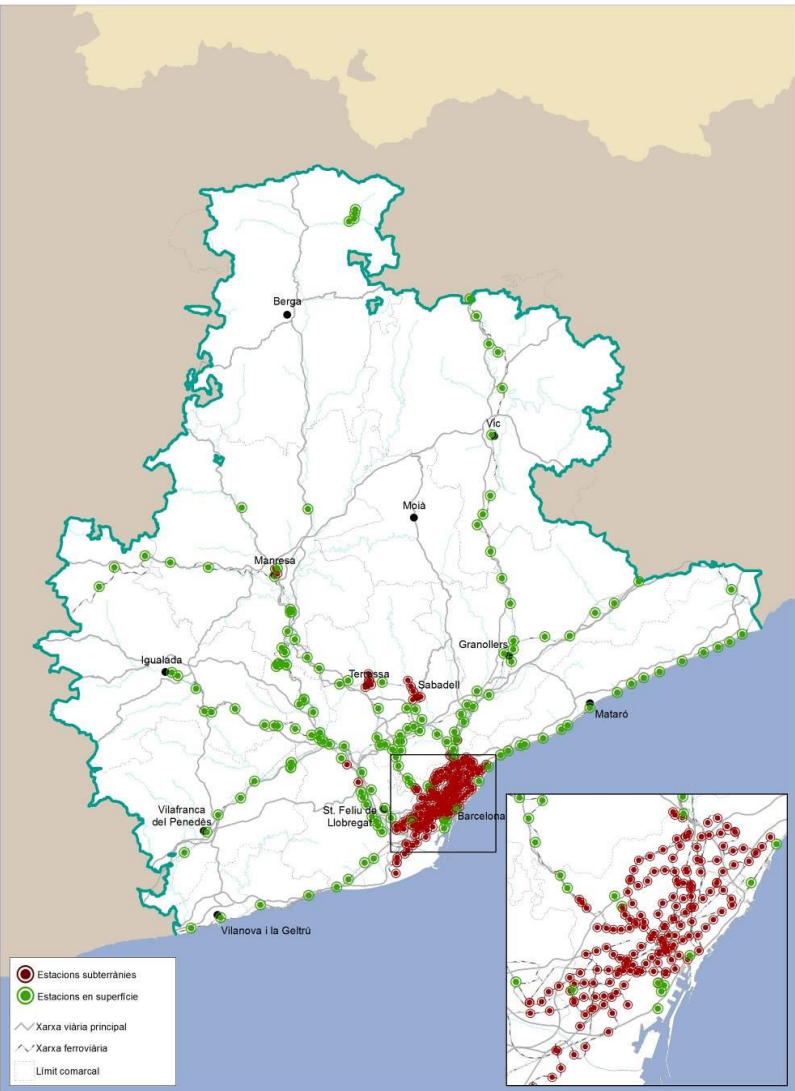
|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reduir les fonts de calor dins del parc mòbil i les instal·lacions: lluminàries tradicionals per llums LED, equips més eficients (aires condicionats d'oficines i locals, màquines expendedores), etc.</li> </ul> <p>Parc mòbil:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlar, en aquells casos on existeixen finestres practicables, que estiguin tancades durant el funcionament del sistema de refrigeració.</li> <li>Combinar la present mesura amb altres proposades, com optimitzar el sistema de ventilació d'andanes i túnels de les estacions ferroviàries subterrànies i instal·lar vidres amb control solar (factor solar baix) i pintar el sostre dels vehicles de blanc (vegeu Fitxes 7B, 8B i 8C).</li> </ul> |
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>Avaluar, cas per cas –prèvia anàlisi de l'eficàcia i rendiment dels sistemes de ventilació actuals–, les diferents opcions plantejades per identificar les més adequades en funció de les característiques de cada vehicle i infraestructura.</li> </ul>  |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <ul style="list-style-type: none"> <li>El conjunt del parc mòbil i instal·lacions de l'àmbit SIMMB.</li> </ul>   |
| Agents implicats en la implementació         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Renfe Operadora / ADIF (MITMA)</li> <li>Ferrocarril Metropolità de Barcelona (TMB)</li> <li>FGC (DTS)</li> <li>Trambaix i Trambesòs (TRAM)</li> <li>Operadors/gestors d'autobusos urbans i interurbans</li> </ul>   |
| Beneficis de la solució                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Millora del confort climàtic del passatge i treballador(e)s. Afavoriment indirecte en l'ús del transport públic per part de la població.</li> <li>Promoció d'un ús energèticament més eficient de la climatització.</li> <li>Reducció del consum energètic associat a la climatització de vehicles i instal·lacions</li> </ul>  |
| Barreres a la implementació                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Increment del cost econòmic directe d'execució/manteniment.</li> </ul>  |
| Termini convenient d'implementació           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Obra existent: mitjà termini (4-8 anys).</li> </ul>   |




|                                 |  |
|---------------------------------|--|
|                                 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Obra nova: associat a la redacció del projecte constructiu.</li></ul>  |
| Consideracions al cicle de vida | <ul style="list-style-type: none"><li>• En termes de cicle de vida infraestructural no es preveuen canvis significatius en sentit positiu ni negatiu. És una acció adreçada a la millora del confort climàtic d'usuaris i treballadors (i a l'estalvi d'energia en climatització).</li></ul>   |
| Indicadors de seguiment         | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Índex de satisfacció dels usuaris respecte el confort climàtic del parc mòbil i instal·lacions.</li><li>• Registres de temperatura i humitat relativa al parc mòbils i les instal·lacions als mesos d'estiu.</li></ul> <p>Parc mòbil existent:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Recursos destinats als projectes de millora de la climatització o el confort climàtic en combois i autobusos (€ / any).</li><li>• Nombre d'equips de ventilació i climatització renovats.</li></ul> <p>Parc mòbil nou:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Cost afegit del projecte directament imputable a l'adopció de mesures per optimitzar el sistema de ventilació (€).</li></ul> |

|   |   |  |   |             |   |          |           |             |   |
|---|---|--|---|-------------|---|----------|-----------|-------------|---|
| OPTIMITZAR EL SISTEMA DE VENTILACIÓ D'ANDANES I TÚNELS DE LES ESTACIONS FERROVIÀRIES SUBTERRÀNIES |   |  |   |             |   |          | Subcodi   | 8B          |   |
|   |   |  |   |             |   |          | Prioritat | Alta        |   |
| Tipus de solució  |   |  |   |             |   |          |           |             |   |
| Tècnica   | x | Operativa  | x | Manteniment | x | Cultural |           | Regulatòria |   |
| Aplicació per tipus d'infraestructura   |   |  |   |             |   |          |           |             |   |
| No aplica   |   | Viària   |   | Ferroviana  | x | Existent | x         | Nova        | x |
| Aplicació per mitjà de transport  |   |  |   |             |   |          |           |             |   |
| No aplica   |   | Autobús  |   | Tren        | x | Metro    | x         | Tramvia     |   |
| Descripció de la solució  |   | <p>General (obra nova i existent):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instal·lar sistemes de nebulització (refrigeració evaporativa), com els ja assajats amb resultat favorable a l'estació de Plaça Espanya dels FGC.</li> <li>• Reduir les fonts de calor dins de les andanes: lluminàries tradicionals per llums LED, equips més eficients: aires condicionats d'oficines i locals, màquines expendedores, etc.</li> <li>• Recuperar l'energia de frenada pel funcionament d'altres sistemes de la xarxa, i evitar, així, la dissipació de la calor en túnels i estacions. Aquesta opció ja s'ha plantejat, per exemple, pel metro de Madrid (<a href="https://www.esmartcity.es/2018/10/19/madrid-reutilizara-energia-frenado-metro-para-otras-instalaciones-esta-red-transporte">https://www.esmartcity.es/2018/10/19/madrid-reutilizara-energia-frenado-metro-para-otras-instalaciones-esta-red-transporte</a>) (vegeu també la Fitxa 10A).</li> <li>• Redirigir els sistemes de climatització actuals directament cap a l'exterior, en zones no sensibles, no dins les pròpies instal·lacions.</li> <li>• Controlar individualment els ventiladors dels sistemes de ventilació mitjançant sistemes d'intel·ligència artificial i sensorització, que tinguin en compte diferents paràmetres tals com la temperatura de l'aire, les previsions meteorològiques de l'exterior, el número de passatgers, les característiques tècniques dels trens/metros, etc.</li> </ul> <p>D'aquesta manera, es millorarà el confort climàtic en cada una de les andanes i es reduirà el consum energètic. Al metro de Madrid ja s'està aplicant aquesta solució, mitjançant un sistema de ventilació basat en la intel·ligència artificial capaç de reduir 1.800 tones anuals d'emissions de CO<sub>2</sub> (<a href="https://www.europapress.es/madrid/noticia-metro-destinara-103-millones-renovar-pozos-ventilacion-54-millones-">https://www.europapress.es/madrid/noticia-metro-destinara-103-millones-renovar-pozos-ventilacion-54-millones-</a></p> |   |             |   |          |           |             |   |

|  |   |
|--|---|
|  | <p><a href="https://www.innovaspain.com/metro-de-madrid-ventilacion-inteligencia-artificial-accenture/">https://www.innovaspain.com/metro-de-madrid-ventilacion-inteligencia-artificial-accenture/</a>).</p>  <p>Sistema de ventilació basat en la intel·ligència artificial del metro de Madrid.<br/>Font: <a href="https://www.accenture.com/es-es/company-news-release-accenture-metro-madrid">https://www.accenture.com/es-es/company-news-release-accenture-metro-madrid</a></p> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar una millora dels equips (ventiladors) per d'altres més eficients i potents, fet que pot comportar una eventual redimensionament dels pous de ventilació, i/o obrir nous pous de ventilació per millorar el comportament global del sistema.</li> </ul> |
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaluar, cas per cas –prèvia anàlisi de l'eficàcia i rendiment dels sistemes de ventilació actuals–, les diferents opcions plantejades per identificar les més adequades en funció de les característiques de cada infraestructura.</li> </ul>   |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Totes les estacions de metro, Rodalies i FGC, prioritant aquelles on estan documentats problemes recurrents per elevades temperatures els mesos d'estiu, com ara a les estacions de metro de plaça Espanya, plaça Catalunya i Urquinaona.</li> <li>• En aquest sentit, TMB ja ha iniciat un projecte d'optimització dels sistemes de ventilació, que preveu prioritzar el tram central de la L1, per la qual hi hauria una primera fase enllestida el 2022. El projecte, que preveu la renovació de maquinària, però no l'obertura de nous pous, té com a fites la renovació d'un 40% de la infraestructura el 2030 i d'un 100% el 2050. En el marc d'aquest projecte també es contempla la reducció de fonts de calor a les andanes i el redirigiment de sortides d'aire condicionat.</li> </ul>  |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  <p>Estacions subterrànies i en superfície de l'àmbit SIMMB.<br/>Font: elaboració pròpia.</p>   | <p><b>Barreres a la implementació</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La climatització de les andanes soterrades és, en general, una qüestió tècnicament difícil d'abordar per la pròpia configuració del sistema de transport, sobretot perquè no pot funcionar com un sistema estanc i la circulació continuada de combois provoca un efecte pistó. A més, existeixen múltiples fonts de calor: aire condicionat en funcionament dins el comboi, frenada dels combois, etc.</li> <li>• La construcció i ampliació de nous pous de ventilació és molt costosa i complicada des del punt de vista tècnic un cop la línia està en servei si discorre per zones urbanes (manca de disponibilitat d'espai a la via pública, presència de múltiples elements urbans, xarxes de serveis, servituds de pas, etc.).</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferrocarril Metropolità de Barcelona (TMB)</li> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> </ul>  | <p><b>Termini convenient d'implementació</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obra existent: mitjà (4-8 anys) i llarg (&gt;8 anys) terminis. Adaptació progressiva al llarg del temps, prioritzada atenent a la identificació de punts crítics.</li> <li>• Obra nova: associat a la redacció del projecte constructiu.</li> <li>• Acció infraestructural vinculable al pdl.</li> </ul>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Millora del confort climàtic del passatge i treballador(es). Afavoriment indirecte en l'ús del transport públic per part de la població.</li> <li>• Menors necessitats de consum d'energia per climatització a les estacions, andanes i combois.</li> </ul> | <p><b>Consideracions al cicle de vida</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Part de les solucions plantejades comporten la renovació dels equips de ventilació de les xarxes de transport subterrànies; equips, d'altra banda, que han de ser objecte de manteniment periòdic i substitució al llarg del temps. D'altra banda, però, una gestió avançada d'equips més eficients ha de permetre una major robustesa, eficiència i durabilitat del sistema, pel fet que treballarà amb un règim de funcionament més adequat.</li> </ul>   |
|  |  | <p><b>Indicadors de seguiment</b></p> <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Índex de satisfacció dels usuaris respecte el confort climàtic de les estacions i andanes.</li> <li>• Registres de temperatura i humitat relativa a andanes i estacions els mesos d'estiu.</li> </ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recursos destinats als projectes de millora de la climatització o el confort climàtic en estacions i andanes i combois (€ / any).</li> <li>• Nombre d'equips de ventilació renovats.</li> </ul> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cost afegit del projecte directament imputable a l'adopció de mesures per optimitzar el sistema de ventilació (M€).</li> </ul>  |

|  |   |  |   |             |   |          |   |             |   |           |      |
|--|---|--|---|-------------|---|----------|---|-------------|---|-----------|------|
| <b>INSTAL·LAR VIDRES AMB CONTROL SOLAR I PINTAR EL SOSTRE DELS VEHICLES DE BLANC</b> |   |  |   |             |   |          |   |             |   | Subcodi   | 8C   |
|  |   |  |   |             |   |          |   |             |   | Prioritat | Alta |
| Tipus de solució   |   |  |   |             |   |          |   |             |   |           |      |
| Tècnica  | x | Operativa  |   | Manteniment |   | Cultural |   | Regulatòria |   |           |      |
| Aplicació per tipus d'infraestructura  |   |  |   |             |   |          |   |             |   |           |      |
| No aplica  |   | Viària   | x | Ferroviana  | x | Existent | x | Nova        | x |           |      |
| Aplicació per mitjà de transport   |   |  |   |             |   |          |   |             |   |           |      |
| No aplica  |   | Autobús  | x | Tren        | x | Metro    | x | Tramvia     | x |           |      |
| Descripció de la solució   |   | Parc mòbil (nou i existent): <ul style="list-style-type: none"> <li>Instal·lar vidres amb control solar –factor solar baix– en aquells vehicles de transport públic que efectuen la seva ruta, de manera total o parcial, a l'exterior. Els vidres amb control solar, fabricats per exemple a partir de butiral de polivinil (PVB), es caracteritzen per filtrar la llum i deixar passar únicament un petit percentatge de l'energia de la radiació. A més, també bloquegen la radiació ultraviolada i redueixen, en bona mesura, els enlluernaments. A diferència dels vidres tintats, la seva instal·lació no redueix la incidència de llum ni la visibilitat.</li> </ul>  |   |             |   |          |   |             |   |           |      |
|  |   |  <p>Sostre amb control solar en un vehicle.</p> <p>Font: <a href="http://www.vidurglass.com/es/transporte-aplicaciones/autocar/techos-solares">http://www.vidurglass.com/es/transporte-aplicaciones/autocar/techos-solares</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Instal·lar làmines amb control solar. Renfe, en els darrers anys, ha instal·lat làmines de control solar en una sèrie de combois que cobreixen la ruta entre Extremadura i Madrid per reduir la temperatura a l'interior i millorar l'eficiència energètica dels sistemes de refrigeració. Concretament, gràcies a aquestes làmines, s'assoleix</li> </ul> |   |             |   |          |   |             |   |           |      |

una reducció en la incidència de radiació solar del 60% i del 97% pels rajos infrarojos.



Làmines solars instal·lades a combois de tren de Renfe.

Font: [https://www.elperiodicoextremadura.com/noticias/extremadura/renfe-instal-laminas-control-solar-trenes-extremadura-reducir-calor\\_1111183.html](https://www.elperiodicoextremadura.com/noticias/extremadura/renfe-instal-laminas-control-solar-trenes-extremadura-reducir-calor_1111183.html)

- Pintar amb pintura blanca o instal·lar panells blancs al sostre dels vehicles de transport públic que efectuen la seva ruta, ja sigui total o parcial, a l'aire lliure, com els autobusos o els trens. En augmentar la reflectància, la temperatura assolida dins dels vehicles disminueix, reduint així les necessitats de climatització i incrementant el confort climàtic del passatger i treballador(e)s.

Avui dia, la majoria de vehicles de la xarxa d'autobusos de Londres comptem amb el sostre blanc.




Autobús de Londres amb el sostre de color blanc com a mesura d'adaptació a l'augment de la temperatura.

Font: <http://climatelondon.org/transport-infrastructure/>

- Instal·lar una coberta verda al sostre dels autobusos, opció més complexa i singular que l'anterior, que també permet millorar la regulació climàtica del vehicle de manera anàloga a la coberta verda d'un edifici.

A Catalunya, aquesta mesura es va implantar com a prova pilot (2012) a l'autobús del càmping Castell de Montgrí, dissenyat per la *start-up*



|  |   |
|--|---|
|  | <p>PhytoKinetic. Gràcies als 7 cm de gruix de la coberta, s'assoleix un estalvi energètic en refrigeració i calefacció del 30%.</p>  <p>Autobús del càmping Castell de Montgrí, en la prova pilot feta el 2012.<br/>Font: <a href="http://phytokinetic.net/portfolio-item/bus-montgri/">http://phytokinetic.net/portfolio-item/bus-montgri/</a></p> |
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar la incorporació de làmines amb control solar en els vehicles existents –i altres solucions pel sostre dels vehicles que millorin el comportament tèrmic–, així com l'adquisició de nous vehicles que incorporin aquestes característiques de sèrie.</li> </ul>  |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjunt del parc mòbil de la xarxa viària i ferroviària de l'àmbit SIMMB que efectuen la seva ruta de manera total o parcial a l'exterior.</li> </ul>  |
| Agents implicats en la implementació         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> <li>• TMB i altres operadors/gestors d'autobusos urbans i interurbans</li> </ul>  |
| Beneficis de la solució                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Millora del confort climàtic del passatge i treballador(e)s. Afavoriment indirecte en l'ús del transport públic per part de la població.</li> <li>• Menor consum energètic per climatització a l'interior dels vehicles.</li> </ul>  |
| Barreres a la implementació                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Increment del cost econòmic directe d'execució.</li> <li>• Increment de la necessitat de manteniment.</li> </ul>   |
| Termini convenient d'implementació           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Curt termini (1-3 anys). Els nous vehicles que cobreixen rutes, de manera total o parcial, per l'exterior, han d'incorporar mesures de control solar.</li> <li>• Mitjà termini (4-8 anys). Pel que fa als vehicles existents, cal una adaptació progressiva dels mateixos tenint en compte el seu període de vida útil.</li> </ul>   |
| Consideracions al cicle de vida              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En termes de cicle de vida infraestructural no es preveuen canvis significatius en sentit positiu ni negatiu. És una acció adreçada a la</li> </ul>  |

|                         |   |
|-------------------------|---|
|                         | <p>millora del confort climàtic d'usuaris i treballadors (i a l'estalvi d'energia en climatització). Amb tot, la implantació d'aquestes mesures comporta certs costos de gestió i manteniment o fins i tot de reposició al llarg del temps (per exemple en el cas de les làmines de control solar).</p> |
| Indicadors de seguiment | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Índex de satisfacció dels usuaris respecte el confort climàtic al parc mòbil.</li> <li>• Consum energètic associat a la climatització (kMh/h)</li> </ul>   |

## 7.9. Aplicar protocols d'actuació per onades de calor

|   |  |                   |   |
|---|--|-------------------|---|
| <b>APLICAR PROTOCOLS D'ACTUACIÓ PER ONADES DE CALOR</b> |  | Codi              | 9 |
| Impacte(s) a la qual s'adreça                           |  |                   |   |
| Sobre l'operació  |  | Grau d'incidència |   |
| Disminució del confort climàtic                         |  | Molt alta         |   |
| Sobreescalfament de motors i avaries en vehicles        |  | Mitjana           |   |

|  |           |   |             |
|--|-----------|---|-------------|
| <b>ELABORAR I ACTIVAR, QUAN SIGUI NECESSARI, PROTOCOLS D'ACTUACIÓ PER ONADES DE CALOR ESPECÍFICS PER A CADA OPERADOR</b> |           | Subcodi   | 9A          |
|  |           | Prioritat   | Alta        |
| Tipus de solució   |           |   |             |
| Tècnica  | Operativa | x   | Manteniment |
|  |           |   | Cultural    |
|  |           | x   | Regulatoria |
| Aplicació per tipus d'infraestructura  |           |   |             |
| No aplica  | Viària    | x   | Ferrovial   |
|  |           | x   | Existent    |
|  |           | x   | Nova        |
| Aplicació per mitjà de transport   |           |   |             |
| No aplica  | Autobús   | x   | Tren        |
|  |           | x   | Metro       |
|  |           | x   | Tramvia     |
| Descripció de la solució   |           | <p>General (obra nova i existent):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Desenvolupar protocols d'actuació per onades de calor per millorar el confort climàtic del passatge i treballador(e)s durant períodes de temps prolongats amb temperatures elevades. El protocol hauria d'incloure tres fases: una preparatòria (orientativament, durant el mes de maig), una preventiva (que podria anar de juny a setembre) i una operativa (durant els dies efectius d'onada de calor). En tot cas, aquests períodes s'hauran d'adaptar en funció de l'evolució climàtica real al llarg dels anys, així com de les previsions a mitjà termini dins d'un any determinat.</li> </ul> <p>Durant la fase preparatòria, cal realitzar reunions entre tots els</p> |             |

agents implicats per actualitzar el protocol d'actuació, si s'escau. Pel que fa a la fase preventiva, cal dur a terme un control continu de la temperatura exterior i a l'interior dels vehicles i les instal·lacions. Per tant, és només durant la fase operativa que s'executen les mesures i actuacions desenvolupades durant la primera fase. Entre d'altres, els protocols d'actuació per onades de calor han de tenir en compte les següents mesures:

- o Assegurar una òptima refrigeració del parc mòbil. Comptar amb sistemes de refrigeració eficients i assegurar la correcta ventilació de la flota de vehicles i les instal·lacions del transport públic (vegeu Fitxes 8A i 8B).
- o Establir una temperatura de referència de confort, amb un cert marge de graduació o, millor encara, programar un diferencial fix entre la temperatura exterior i la interior. Això afavoreix l'optimització de l'energia que utilitza el vehicle i també millora el confort dels usuaris, ja que el contrast entre la temperatura exterior i la interior del bus mai és excessiu.

Així, per exemple, en bona part de la flota d'autobusos de TMB s'estableix un nivell de confort de  $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . El conductor pot regular la temperatura però sempre dins d'aquest marge, i ha de tenir en compte l'efecte fred-calor, que depèn de variables com l'hora del dia o l'afluència de passatge. Per contra, els nous vehicles de la flota estan programats per oferir un diferencial fix de 8 graus entre la temperatura exterior i la interior.

- o Establir protocols de primers auxilis per cops de calor i altres alteracions sobre la salut derivades de les elevades temperatures. Formar als treballadors perquè puguin auxiliar el passatge en cas de necessitat.
- o Valorar la instal·lació de fonts d'aigua a les estacions de la xarxa viària i ferroviària mitjançant aliances amb les empreses de subministrament d'aigua potable, i oferir aigua gratuïta als conductors.
- o Incrementar la freqüència de pas per reduir el temps d'espera i les aglomeracions a les estacions i vehicles.
- o Reduir la velocitat quan se supera una determinada temperatura en el cas del servei ferroviari que cobreixi de manera total o parcial la seva ruta a l'exterior per prevenir les incidències derivades d'una possible deformació dels rails. Per exemple, al Regne Unit, s'imposen restriccions de velocitat

|   |   |
|---|---|
|   | <p>quan se superen els 37 °C.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Establir un codi de vestimenta més relaxat pel personal.</li> </ul>  |
| <b>Indicacions pels projectes i/o els operadors</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar un protocol específic per onades de calor, adaptat a les peculiaritats de cada operador, per bé que coordinat entre els diferents operadors i consensuat amb els diferents agents implicats, en particular Protecció Civil.</li> </ul>  |
| <b>Àmbit territorial d'aplicació</b>                | <p>General (obra existent i obra nova):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arreu de l'àmbit SIMMB.</li> </ul> <p>Àmbits d'atenció especial:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trams de via situats en àmbits on els escenaris climàtics preveuen increments en el nombre de dies tòrrids.</li> </ul>   |
| <b>Agents implicats en la implementació</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> <li>• Ferrocarril Metropolità de Barcelona (TMB)</li> <li>• Trambaix i Trambesòs (TRAM)</li> <li>• Operadors/gestors d'autobusos urbans i interurbans</li> </ul>  |
| <b>Beneficis de la solució</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevenció de riscos de salut sobre el passatge i treballador(e)s derivats d'episodis d'onades de calor: marejos, deshidratacions, desmaigs, dificultats respiratòries, etc.</li> <li>• Millora del confort climàtic del passatge i treballador(e)s. Afavoriment indirecte en l'ús del transport públic per part de la població.</li> </ul> |

|   |  |
|---|--|
| <b>Barreres a la implementació</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitacions en la capacitat efectiva d'actuació per part dels diferents operadors, atès que moltes qüestions venen condicionades per la normativa i reglamentació sectorials.</li> <li>• Conveniència de revisió i actualització periòdica dels protocols.</li> </ul>   |
| <b>Termini convenient d'implementació</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> </ul>  |
| <b>Consideracions al cicle de vida</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En termes de cicle de vida infraestructural no es preveuen canvis significatius en sentit positiu ni negatiu. És una acció adreçada a prevenir problemes de salut i a la millora del confort climàtic d'usuari(e)s i treballador(e)s.</li> </ul>  |
| <b>Indicadors de seguiment</b>            | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre d'incidències de salut registrades (passatge i treballador(e)s) al llarg de períodes d'onades de calor. Caldrà diferenciar entre les incidències que han requerit avís al sistema d'emergències mèdiques i, dins d'aquestes, les que han comportat trasllat a un centre de salut.</li> <li>• Índex de satisfacció dels usuari(e)s respecte el confort climàtic de les estacions, andanes i al parc mòbil.</li> </ul> |

### 7.10. Incrementar la robustesa del subministrament elèctric

| INCREMENTAR LA ROBUSTESA DEL SUBMINISTRAMENT ELÈCTRIC           |  | Codi              | 10 |
|---|--|-------------------|----|
| Impacte(s) a la qual s'adreça                                   |  |                   |    |
| Sobre les infraestructures                                      |  | Grau d'incidència |    |
| Afectació sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació |  | Alta              |    |
| Sobre l'operació  |  | Grau d'incidència |    |
| Disminució del confort climàtic                                 |  | Alta              |    |
| Aturada dels combois per manca de subministrament elèctric      |  | Molt alta         |    |

| MILLORAR I REFORÇAR EL SISTEMA DE SUBMINISTRAMENT ELÈCTRIC A ELEMENTS CRÍTICS |   |  |   |             |   |          |   |             |   | Subcodi   | 10A  |
|---|---|--|---|-------------|---|----------|---|-------------|---|-----------|------|
|   |   |  |   |             |   |          |   |             |   | Prioritat | Alta |
| Tipus de solució  |   |  |   |             |   |          |   |             |   |           |      |
| Tècnica   | x | Operativa  | x | Manteniment |   | Cultural |   | Regulatoria |   |           |      |
| Aplicació per tipus d'infraestructura   |   |  |   |             |   |          |   |             |   |           |      |
| No aplica   |   | Viària   | x | Ferroviana  | x | Existent | x | Nova        | x |           |      |
| Aplicació per mitjà de transport  |   |  |   |             |   |          |   |             |   |           |      |
| No aplica   |   | Autobús  |   | Tren        | x | Metro    | x | Tramvia     | x |           |      |
| Descripció de la solució  |   | General (obra nova i existent):<br>Mode ferroviari: <ul style="list-style-type: none"> <li>Garantir una doble escomesa en tots els elements crítics (en el benentès que això reforça el sistema però no evita la fallada si ambdues escomeses provenen del mateix node o subestació).</li> </ul> |   |             |   |          |   |             |   |           |      |


- Millorar la interconnexió en mitjana tensió (25 kV) per incrementar la robustesa del sistema. En aquest sentit, per exemple, FGC té prevista la interconnexió entre les línies del Baix Llobregat i del Vallès.
- Avaluar la implementació de sistemes de recuperació i emmagatzematge de l'energia generada a les frenades com les bateries (per exemple, el sistema Greentech Evodrive: <https://www.caf.net/es/ecocaf/nuevas-soluciones/tramvia-greentech.php>), els flywheels o els supercondensadors (<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1808/1808.05938.pdf>).
- Desenvolupar sistemes de subministrament basats en fonts renovables (fotovoltaica, eòlica, etc.) en un model de foment de la generació distribuïda (<https://www.railway-technology.com/features/solar-powered-trains/>). Per exemple, Bèlgica ha construït un túnel solar per al seu transport ferroviari d'alta velocitat i l'Índia ha instal·lat panells solars als ferrocarrils (<https://avatarenergia.com/transporte-ferroviario/>).



Túnel solar construït a Bèlgica.

Font: <https://avatarenergia.com/transporte-ferroviario/>



|   |  |
|---|--|
|   |  <p>Tren a l'Índia dotat amb plaques fotovoltaïques.<br/>                 Font: <a href="https://avatarenergia.com/transporte-ferroviario/">https://avatarenergia.com/transporte-ferroviario/</a></p> <p>Mode viari i ferroviari: sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instal·lar equips amb alimentació elèctrica autònoma en elements crítics, com ara plaques fotovoltaïques amb bancs de bateries.</li> <li>• Implementar noves xarxes de telecomunicacions fixes i mòbils d'alta capacitat (incloent 5G) amb protocols que millorin l'eficiència. Les xarxes 5G, atesa la baixa latència que presenten, permeten una gestió optimitzada d'<i>smart grids</i> i xarxes de generació distribuïda.</li> </ul> |
| <p>Indicacions pels projectes i/o els operadors</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaluar, cas per cas, les diferents opcions plantejades per identificar les més adequades en funció de les característiques de cada infraestructura.</li> </ul>   |
| <p>Àmbit territorial d'aplicació</p>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Àmbit general: arreu de l'àmbit SIMMB (atès que en una xarxa elèctrica interconnectada l'afectació en punts allunyats pot repercutir en qualsevol punt, poc o molt llunyà, fins i tot amb independència de les condicions meteorològiques locals del punt afectat).</li> <li>• Àmbits d'atenció especial:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Trams d'infraestructures existents de la xarxa bàsica on estiguin documentats problemes recurrents d'afectació per problemes de subministrament elèctric.</li> <li>○ Instal·lacions o infraestructures per les quals no es disposi de doble escomesa.</li> </ul> </li> </ul>   |

|   |  |
|---|--|
| <p>Agents implicats en la implementació</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> <li>• Ferrocarril Metropolità de Barcelona (TMB)</li> </ul>   |
| <p>Beneficis de la solució</p>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimització d'episodis de tall del servei ferroviari degut a afectacions sobre la xarxa elèctrica.</li> <li>• Minimització a les afectacions sobre els sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació i, en conseqüència, reducció del risc d'accidentalitat derivat d'aquesta causa.</li> <li>• Millora del confort climàtic del passatge i treballador(e)s. Afavoriment indirecte en l'ús del transport públic per part de la població.</li> <li>• En el cas de les solucions relacionades amb la generació a partir de fonts renovables, reducció de les emissions associades de gasos amb efecte d'hivernacle.</li> </ul> |
| <p>Barreres a la implementació</p>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Increment del cost econòmic directe d'execució.</li> <li>• Certa complexitat tècnica d'algunes actuacions, en algunes ocasions amb fort component d'R+D+i (aprofitament de l'energia de la frenada, trens propulsats amb energia fotovoltaica).</li> <li>• Eventual increment de l'impacte visual associat a les noves infraestructures d'interconnexió de la xarxa i de desplegament de les energies renovables.</li> </ul>  |
| <p>Termini convenient d'implementació</p>   | <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obra existent: mitjà (4-8 anys) i llarg (&gt; 8 anys) terminis.</li> <li>• Obra nova: associat a la pròpia redacció del projecte, bé que ampliable al llarg del temps.</li> <li>• Acció infraestructural vinculable al pdl.</li> </ul>  |
| <p>Consideracions al cicle de vida</p>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les interrupcions no programades en el subministrament elèctric (o inestabilitats en el subministrament que generin sobretensions) poden malmetre sobretot elements elèctrics i electrònics, afectant els sistemes de comunicació, seguretat i gestió, tot reduint-ne la seva durabilitat.</li> </ul>   |
| <p>Indicadors de</p>                        | <p>Indicadors generals:</p>  |

|           |   |
|-----------|---|
| seguiment | <ul style="list-style-type: none"><li>• Nombre d'episodis d'interrupció/talls del servei derivats de fallada en el subministrament elèctric.</li><li>• Temps d'interrupció del servei degut a fallada en el subministrament elèctric i mobilitat afectada (nombre de passatgers).</li></ul> <p>Obra existent:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Recursos destinats a projectes de millora de la robustesa en el subministrament elèctric o a l'alimentació elèctrica autònoma per cada agent implicat (€ / km infraestructura existent).</li><li>• Nombre d'actuacions efectuades.</li></ul> <p>Obra nova:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Cost afegit del projecte directament imputable a l'adopció de mesures preventives per tal d'enfortir el subministrament elèctric o per instal·lar fonts autònomes de generació renovable (M€).</li></ul> |
|-----------|---|

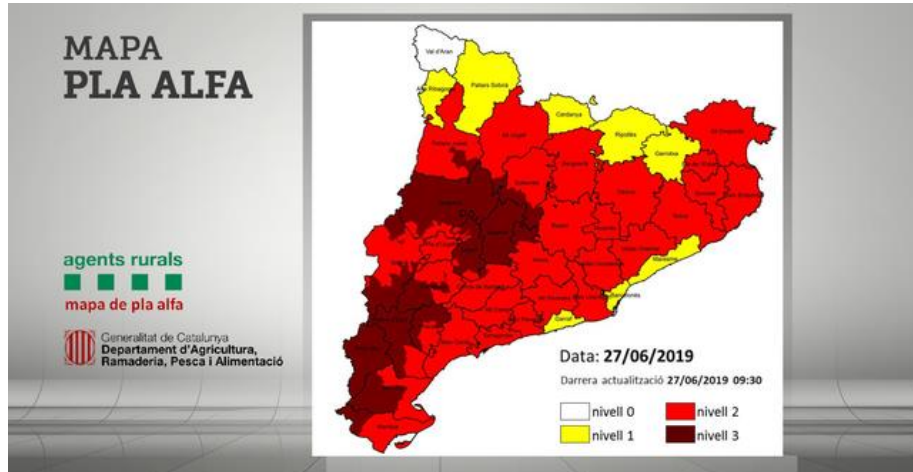
### 7.11. Reforçar les mesures de prevenció d'incendis

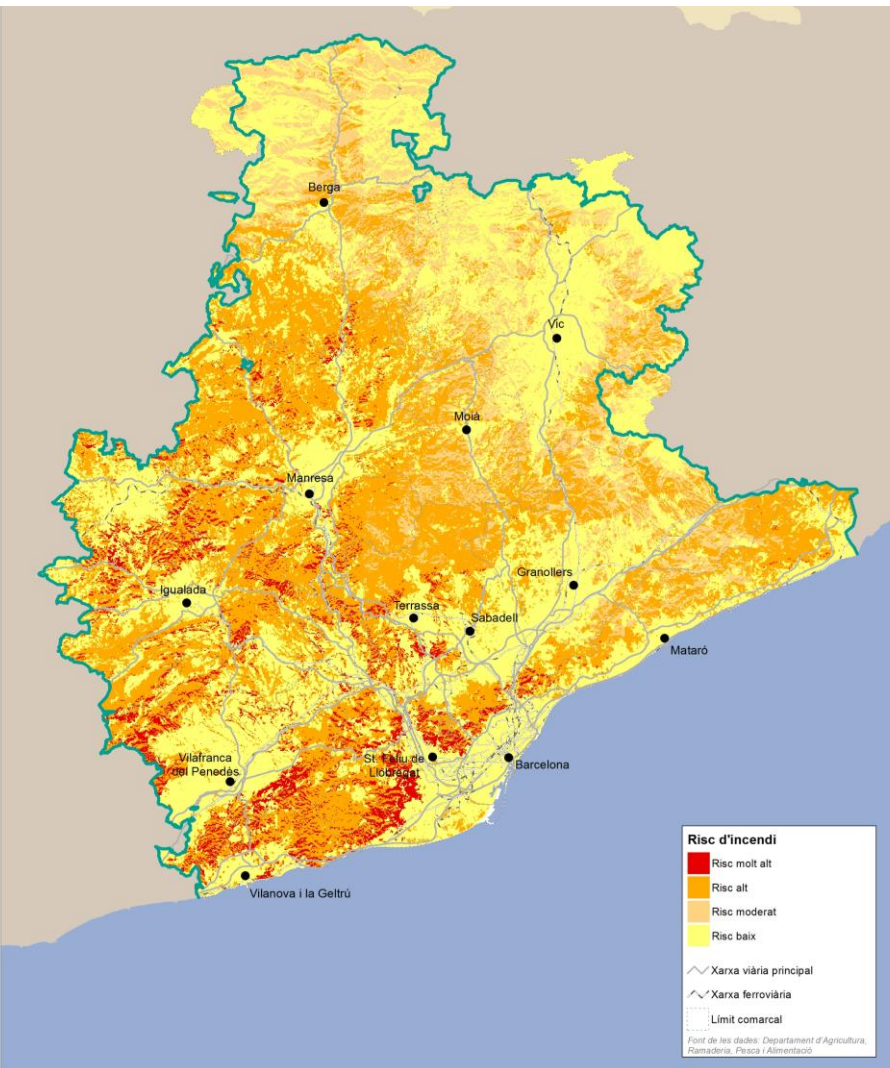
| REFORÇAR LES MESURES DE PREVENCIÓ D'INCENDIS   |  | Codi              | 11 |
|--|--|-------------------|----|
| Impacte(s) al qual s'adreça  |  |                   |    |
| Sobre les infraestructures   |  | Grau d'incidència |    |
| Danys a la via per desprendiments, esllavissades i/o caiguda d'altres elements (arbres...) |  | Alta              |    |
| Deformació i/o esquerdat del ferm  |  | Alta              |    |
| Deformació dels rails o de la catenària  |  | Alta              |    |
| Sobre l'operació   |  | Grau d'incidència |    |
| Reducció de la visibilitat   |  | Mitjana           |    |
| Aturada dels combois per manca de subministrament elèctric                                 |  | Alta              |    |

| IMPULSAR UNA GESTIÓ DINÀMICA PREVENTIVA DELS INCENDIS BASADA EN LA VIGILÀNCIA I EL MONITORATGE |   |           |   |             |   |          |   | Subcodi     | 11A     |
|--|---|-----------|---|-------------|---|----------|---|-------------|---------|
|  |   |           |   |             |   |          |   | Prioritat   | Mitjana |
| Tipus de solució   |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
| Tècnica  |   | Operativa | x | Manteniment | x | Cultural |   | Regulatòria |         |
| Aplicació per tipus d'infraestructura  |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
| No aplica  |   | Viària    | x | Ferroviana  | x | Existent | x | Nova        | x       |
| Aplicació per mitjà de transport   |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
| No aplica  | x | Autobús   |   | Tren        |   | Metro    |   | Tramvia     |         |

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Descripció de la solució | <p>Obra existent:</p> <p>La prevenció d'incendis en infraestructures viàries i ferroviàries està regulada principalment a escala catalana per la següent normativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Decret 64/1995 pel qual s'estableixen mesures de prevenció d'incendis forestals.</li> <li>• Decret 130/1998 pel qual s'estableixen mesures de prevenció d'incendis forestals en les àrees d'influència de carreteres.</li> <li>• Llei 3/2010 de prevenció i seguretat en matèria d'incendis en establiments, activitats, infraestructures i edificis.</li> </ul> <p>D'acord amb aquesta legislació, cal mantenir una franja mínima de seguretat d'1 m a les carreteres i de 2 m a les vies ferroviàries. En aquesta franja cal segar la vegetació herbàcia, estassar l'arbustiva i aclarir l'arbòria –tret d'arbrat d'alineació que no estigui en contacte amb massa forestal– per evitar la continuïtat horitzontal de capçades. A més, en el cas de les carreteres s'estableix una zona complementària de protecció, a partir de la primera, de 2 m –que s'amplia a 3 m en autopistes i autovies– en la qual cal mantenir la vegetació arbustiva i arbòria aclarida, tot evitant la continuïtat vertical i horitzontal entre aquests estrats.</p> <p>El Decret 130/1998 contempla que l'amplada de la zona de protecció pugui ser ampliada excepcionalment en aquells trams de màxim risc d'incendi forestals prèvia justificació de la Direcció General del Medi Natural –actual Direcció General d'Ecosistemes Forestals i Gestió del Medi del DARP–, per bé que s'haurà de definir abans del 31 de desembre de cada any per tal de poder-la incorporar a les previsions de conservació.</p> <p>Atenent a aquest marc legal i al fet que l'execució d'aquestes tasques està inclosa en els contractes de conservació i explotació de les vies, es planteja, a efectes pràctics, incorporar en les licitacions dels contractes de conservació i explotació criteris de valoració específics de les ofertes relatius a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gestió dinàmica preventiva: tot adaptant la periodicitat de la inspecció i, si s'escau, d'intervenció, sobre les zones de seguretat i protecció, a la situació real de cada tram de la via, tenint en compte la informació procedent de sensors (vegeu punt següent), els mapes diaris de predicció de perill d'incendi del DARP, els mapes de perill del Pla Alfa dels Cos d'Agents Rurals i altres referents com els avisos de perill, per exemple vents forts en època estival, del Servei Meteorològic de Catalunya.</li> <li>○ Implantació de sensors –com ara d'humitat relativa– o altres mecanismes de vigilància –com ara drons amb càmeres multiespectrals per calcular índexs de vegetació– que enviïn informació en temps real sobre l'estat de la vegetació i que facilitin una avaluació preventiva de punts crítics, així</li> </ul> |
|--------------------------|---|



|   |   |
|---|---|
|   | <p>com la detecció precoç de punts d'ignició.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Reforç de les actuacions en zones amb cobertes vegetals de tipologia eminentment piròfita, com les pinedes de pi blanc (<i>Pinus halepensis</i>) i les brolles arbustives, amb presència significativa d'espècies com les estepes (<i>Cistus spp.</i>), els brucs (<i>Erica spp.</i>) i el romaní (<i>Rosmarinus officinalis</i>).</li> <li>o Eventual ampliació de les tasques més estrictes reservades a la zona de protecció envers la zona seguretat.</li> <li>o Consideració de l'execució de treballs, en casos degudament justificats, més enllà de les zones de protecció i seguretat i/o fora del període d'alt risc d'incendi actualment contemplat (15 de març a 15 d'octubre). En qualsevol cas, qualsevol tipus d'actuació –que depassa el marc normatiu– haurà de comptar amb el vistiplau de l'administració ambiental corresponent i, si s'escau, del propietari dels terrenys on s'hagin de dur a terme els treballs.</li> </ul>  <p>Exemple de mapa del Pla Alfa pel dia 27/06/19, data en la qual 144 municipis de 15 comarques es trobaven en situació de molt alt risc d'incendi, com a conseqüència d'una combinació d'altres temperatures, vent i baixa humitat de l'aire.</p> <p>Font: <a href="https://www.ccma.cat/324/risc-maxim-dincendi-a-15-comarques-del-pla-de-lleida%2%A0i-de-les-terres-de-lebre/noticia/2931514/">https://www.ccma.cat/324/risc-maxim-dincendi-a-15-comarques-del-pla-de-lleida%2%A0i-de-les-terres-de-lebre/noticia/2931514/</a></p> <p>A més llarg termini caldrà valorar la incorporació de criteris més exigents en la pròpia normativa de prevenció d'incendis per bé que aquest enfocament presenta un grau de complexitat molt més notable i transcendeix clarament l'àmbit de la mobilitat i implica molts altres agents sectorials del territori.</p> |
| <p>Indicacions pels projectes i/o els operadors</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preveure, per part dels operadors, la incorporació de partides complementàries en els contractes de conservació i explotació per tal de reforçar el monitoratge i les accions preventives en matèria d'incendis forestals.</li> </ul>  |

|   |  |
|---|--|
| <p>Àmbit territorial d'aplicació</p>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjunt de l'àmbit SIMMB per totes aquelles infraestructures pròximes a zones amb vegetació arbustiva i arbòria i/o situades en municipis catalogats com d'alt risc d'incendi pel DARP.</li> </ul>  <p>Perill bàsic d'incendi forestal a l'àmbit SIMMB.</p> <p>Font: elaboració pròpia a partir de cartografia del DARP i altres fonts.</p> |
| <p>Agents implicats en la implementació</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> <li>• Departament d'Interior-Protecció Civil</li> </ul>   |




|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Beneficis de la solució            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimització d'episodis de tall de via associats als efectes directes o indirectes (talls preventius) d'un incendi forestal.</li> <li>• Reducció del risc d'accidentalitat derivat de les condicions de la via, com ara la mala visibilitat per fum o d'afectació directa dels béns i les persones que eventualment puguin quedar atrapats per l'incendi.</li> <li>• Reducció del risc de danys directes sobre la infraestructura provocats per les altes temperatures assolides en l'incendi (deformació del ferm, de rails i catenàries, pèrdua d'elements de senyalització, etc.).</li> </ul> |
| Barreres a la implementació        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Risc potencial d'augment de l'impacte paisatgístic o ecològic de l'actuació, associat a l'abast de la intervenció sobre la vegetació.</li> <li>• Increment del cost econòmic directe en gestió i manteniment (per l'increment en la freqüència d'inspecció, l'ús de sensors o mecanismes de control i, eventualment, per l'augment de les tasques d'intervenció).</li> </ul>   |
| Termini convenient d'implementació | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Curt termini (1-3 anys). Vinculat a la progressiva renovació dels contractes de conservació i explotació. Acció a mantenir al llarg del temps.</li> </ul>  |
| Consideracions al cicle de vida    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un incendi pot afectar de manera significativa la infraestructura en un tram determinat, fins al punt d'haver-la de restituir totalment en el cas més desfavorable. Per tant, l'adopció de mesures preventives ofereix una garantia de major durabilitat de la infraestructura en trams sensibles.</li> </ul>  |

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Indicadors de seguiment | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre d'episodis d'interrupció/talls del servei degut a incendis per km lineal d'infraestructura.</li> <li>• Temps d'interrupció del servei degut a incendi i mobilitat afectada (nombre de passatgers).</li> <li>• Nombre de km lineals d'infraestructura sobre els que s'ha actuat amb els nous criteris de prevenció del risc.</li> <li>• Recursos destinats a projectes de millora de prevenció d'incendis per cada agent implicat (€ / km infraestructura existent).</li> </ul> |
|-------------------------|--|


7.12. Millorar la capacitat predictiva a molt curt termini d'incidències climàtiques amb afectació potencial sobre la mobilitat

|  |  |                   |    |
|--|--|-------------------|----|
| <b>MILLORAR LA CAPACITAT PREDICTIVA A MOLT CURT TERMINI D'INCIDÈNCIES CLIMÀTIQUES AMB AFECTACIÓ POTENCIAL SOBRE LA MOBILITAT</b> |  | Codi              | 12 |
| Impacte(s) a la qual s'adreça  |  |                   |    |
| Sobre les infraestructures   |  | Grau d'incidència |    |
| Capacitat insuficient dels sistemes de drenatge i inundacions a la via, túnels o ponts   |  | Molt alta/Mitjana |    |
| Deformació i/o esquerdat del ferm  |  | Mitjana           |    |
| Deformació dels rails o de la catenària  |  | Alta              |    |
| Afectació sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació  |  | Molt alta         |    |
| Sobre l'operació   |  | Grau d'incidència |    |
| Reducció de la visibilitat   |  | Alta              |    |
| Sobreescalfament de motors i avaries en vehicles   |  | Alta/Mitjana      |    |

|   |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
|---|---|-----------|---|-------------|---|----------|---|-------------|---------|
| <b>IMPLANTAR UNA PLATAFORMA INTEGRADA D'EARLY WARNING PARTICIPADA PELS DIVERSOS OPERADORS DE MOBILITAT I DISSENYAR PROTOCOLS D'ACTUACIÓ RÀPIDA</b>  |   |           |   |             |   |          |   | Subcodi     | 12A     |
|   |   |           |   |             |   |          |   | Prioritat   | Mitjana |
| Tipus de solució  |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
| Tècnica   |   | Operativa | x | Manteniment |   | Cultural | x | Regulatòria |         |
| Aplicació per tipus d'infraestructura   |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
| No aplica   |   | Viària    | x | Ferroviana  | x | Existent | x | Nova        |         |
| Aplicació per mitjà de transport  |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
| No aplica   | x | Autobús   |   | Tren        |   | Metro    |   | Tramvia     |         |
| Descripció de la solució<br><br>Obra existent: <ul style="list-style-type: none"> <li>Desenvolupar un sistema d'alerta primerenca (<i>early warning</i> i <i>now casting</i>) per prevenir afectacions sobre la xarxa viària i ferroviària. Els conceptes d'<i>early warning</i> i <i>now casting</i> fan referència a una previsió meteorològica d'alta precisió a molt curt termini (entre 2 i 6 hores). Per tant, s'ha de basar en informació meteorològica a temps real provinent de radars d'alta resolució i sensors, i en models d'impacte de fenòmens meteorològics extrems.</li> </ul> |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
|    |   |           |   |             |   |          |   |             |         |
| Predicció de les ratxes de vent visualitzades amb la plataforma desenvolupada en el marc del projecte ANYWHERE.<br>Font: <a href="http://anywhere-h2020.eu/services/multi-hazard-early-warning-platforms/a4eu/">http://anywhere-h2020.eu/services/multi-hazard-early-warning-platforms/a4eu/</a> .  |   |           |   |             |   |          |   |             |         |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>Un sistema d'aquestes característiques a Catalunya s'ha de concebre amb la implicació imprescindible del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), així com de la Direcció General de Protecció Civil. A més de comptar amb una important capacitat tecnològica associada al processament àgil de la informació, la modelització a molt curt termini i la transferència d'informació i alertes als agents implicats en cada cas mitjançant algorismes sistemes d'intel·ligència artificial.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establir, per part de cada operador, protocols d'actuació immediata en cas d'alerta de risc meteorològic imminent, que poden implicar l'alteració del funcionament normal del servei.</li> </ul> <p>Aquests protocols poden incloure qüestions com l'activació de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Actuacions preventives per reduir la magnitud o incidència de l'impacte, per exemple, el tancament d'accessos al metro en situacions on es constati un risc imminent d'inundació de les instal·lacions.</li> <li>○ Actuacions per mantenir la prestació d'un servei, encara que sigui en un format diferent o alternatiu: servei d'autobús substitutori del ferroviari, canvis de ruta en una línia de bus, etc.</li> <li>○ Mecanismes d'alerta als usuari(e)s de la xarxa de transport d'incidències probables a curt termini i de la seva evolució al llarg del temps (xarxes socials, web, etc.). Això permet començar a gestionar la incidència fins i tot abans que s'hagi produït i pot alleugerir la pressió sobre el sistema de mobilitat.</li> </ul> <p>Una acció addicional, necessària per un funcionament òptim d'aquesta mesura, és la implementació, en el cas dels operadors que no en disposin, d'un sistema de geoposicionament del parc mòbil per georeferenciar les incidències i facilitar l'actuació dels serveis d'emergència. La georeferenciació també pot facilitar la compilació de l'històric d'incidències sobre les infraestructures (vegeu Fitxa 14A).</p> |
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar protocols d'actuació ràpida en cas d'alertes de risc imminent que incorporin la informació als usuari(e)s en temps real.</li> <li>• Participar en la creació de la plataforma tecnològica indicada i aportar tota la informació de base necessària per al seu funcionament òptim, així com aportar dades de geoposicionament en temps real sobre la ubicació de combois i vehicles (si més no en cas de situació d'alerta per motius meteorològics).</li> </ul>  |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Àmbit general: arreu de l'àmbit SIMMB</li> </ul>  |
| Agents implicats en la implementació         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> </ul>  |

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
|                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> <li>• Trambaix i Trambesòs (TRAM)</li> <li>• Operadors/gestors d'autobusos urbans i interurbans, operadors de serveis discrecionals (escolars, d'empresa, excursions, adaptat, etc.), operadors de transport per cable</li> <li>• Departament d'Interior-Protecció Civil</li> <li>• Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)</li> </ul>   |
| Beneficis de la solució            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Millora de la capacitat de gestió del risc, en els casos on aquest es consideri molt probable i imminent, tant a efectes de prevenir danys personals i materials com per activar una resposta àgil envers la incidència, fins i tot que s'hagi iniciat (alternatives al servei, alertes preventives al passatge, etc.)</li> <li>• La georeferenciació permet la capacitat d'anàlisi a posteriori, que possibilitarà la identificació de punts crítics i zones amb problemàtiques recurrents. A més, pot facilitar un ulterior disseny d'estratègies preventives i correctores tant per part dels propis operadors, com també per part de les administracions concernides a diferents escales territorials i sectorials.</li> </ul> |
| Barreres a la implementació        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilitat de la capacitat de modelització pel conjunt d'infraestructures del territori amb la resolució escalar necessària.</li> <li>• Complexitat i costos associats a la implantació de la plataforma, pel volum d'informació a gestionar i la capacitat de resposta immediata requerida.</li> </ul>  |
| Termini convenient d'implementació | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitja termini (4-8 anys) amb proves pilot a curt termini (1-3 anys).</li> </ul>  |
| Consideracions al cicle de vida    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualsevol intervenció preventiva que millori el comportament de la infraestructura envers un risc climàtic és susceptible d'evitar o reduir l'impacte del risc i, en conseqüència, d'allargar el cicle de vida de la infraestructura.</li> </ul>   |
| Indicadors de seguiment            | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Creació de la plataforma integrada d'<i>early warning</i>.</li> <li>• Nombre (i percentatge) d'episodis anuals per operador gestionats a partir d'alertes primerenques respecte el total.</li> <li>• Nombre de protocols d'actuació ràpida específics per operador elaborats per donar resposta a alertes primerenques (poden estar diferenciat per tipus d'incident meteorològic, per tram d'infraestructura, per línia de servei, etc.).</li> </ul>  |

|  |   |   |   |             |   |          |   |             |   |           |         |
|--|---|---|---|-------------|---|----------|---|-------------|---|-----------|---------|
| <b>INSTAL·LAR O REFORÇAR LA PRESENCIA DE SENSORS I ALTRES MECANISMES PER GESTIONAR EL TRÀNSIT EN CAS D'INCIDÈNCIA PER CONDICIONS METEOROLÒGIQUES DESFAVORABLES</b> |   |   |   |             |   |          |   |             |   | Subcodi   | 12B     |
|  |   |   |   |             |   |          |   |             |   | Prioritat | Mitjana |
| Tipus de solució   |   |   |   |             |   |          |   |             |   |           |         |
| Tècnica  | x | Operativa   | x | Manteniment |   | Cultural |   | Regulatoria |   |           |         |
| Aplicació per tipus d'infraestructura  |   |   |   |             |   |          |   |             |   |           |         |
| No aplica  |   | Viària  | x | Ferrovial   | x | Existent | x | Nova        | x |           |         |
| Aplicació per mitjà de transport   |   |   |   |             |   |          |   |             |   |           |         |
| No aplica  | x | Autobús   |   | Tren        |   | Metro    |   | Tramvia     |   |           |         |
| Descripció de la solució   |   | General (obra nova i existent): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instal·lar sensors a la xarxa viària i ferroviària per tal de gestionar el trànsit i reduir les afectacions al servei en cas d'incidències causades per condicions meteorològiques desfavorables. Alguns dels exemples en sensòrica aplicables a la xarxa de transport de l'àmbit SIMMB són:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sistemes lumínics que s'activen automàticament en situacions de baixa visibilitat (boira densa o precipitació abundant), instal·lats preferiblement en zones de perill o punts negres de la xarxa, per incrementar la seguretat del passatge i treballador(e)s.</li> <li>○ Sistemes que alerten de la presència d'altres vehicles en situacions de baixa visibilitat. Per exemple, un tram determinat de l'autovia A-8 al pas per A Corunya, compta amb un sistema d'abalisament antiboira per alertar als conductors de la presència d'altres vehicles circulant a màxim 50 metres de la seva posició.</li> </ul> </li> </ul> |   |             |   |          |   |             |   |           |         |
|  |   |  <p>Sistema d'abalisament antiboira.</p> <p>Font: <a href="https://www.lavanguardia.com/motor/innovacion/20180423/442743501759/balizamiento-antiniebla-inteligente-espana.html">https://www.lavanguardia.com/motor/innovacion/20180423/442743501759/balizamiento-antiniebla-inteligente-espana.html</a>.</p>  |   |             |   |          |   |             |   |           |         |

- Sensors passius per determinar l'estat i la condició física del ferm –temperatura, acumulació d'aigua, presència de gel o d'una pel·lícula d'aigua, etc.– per poder alertar del perill als conductors i prendre les mesures oportunes. Concretament, el sensor capta informació a partir de la variació de la conductivitat elèctrica induïda pels fenòmens físics presents a la superfície de mesura (sensor intrusiu).



Exemple de sensor intrusiu passiu.

Font: <https://www.alphaomega-electronics.com/es/nesa/1763-ssa-sensor-inteligente-de-carreteras-para-asfalto.html>

A banda dels sensors intrusius, és a dir, els que es col·loquen a la superfície de la calçada, existeixen els sensors no intrusius (sense contacte directe).




Exemple de sensor no intrusiu.

Font: <https://dilus.es/es/blog/los-sensores-de-asfalto-y-calzada/>

Els sensors també es poden instal·lar als vehicles dels operaris de manteniment amb l'objectiu de monitorar l'estat de les infraestructures. Així, per exemple, investigadors de la Universitat de Màlaga han desenvolupat un sistema d'algoritme per monitorar el lliscament i el coeficient de fricció de la calçada i, així, conèixer l'estat de la carretera i el lliscament òptim de la superfície en la qual està circulant el



|  |  |
|--|--|
|  | <p>vehicle (<a href="https://www.agenciasinc.es/Noticias/Los-sensores-de-los-coches-informan-del-estado-de-la-carretera">https://www.agenciasinc.es/Noticias/Los-sensores-de-los-coches-informan-del-estado-de-la-carretera</a>).</p> <p>Amb relació al servei ferroviari, també existeixen sensors que monitoren l'estat de la xarxa i els raïls.</p>  <p>Exemple de sensor instal·lat als raïls.</p> <p>Font: <a href="https://www.frauscher.com/es">https://www.frauscher.com/es</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sensors instal·lats sota l'asfalt per monitorar el tràfic a temps real –velocitat, nombre i tipus de vehicles, etc.– amb l'objectiu de poder oferir una resposta més acurada en cas d'incidència.</li> <li>○ Sensors associats als senyals de trànsit per oferir als usuari(e)s de la xarxa de transport informació a temps real. Una de les possibles aplicacions d'aquesta mesura és la senyalització, en cas d'emergència, de la millor ruta d'escapament –per exemple, d'un túnel–, donant instruccions als vehicles i dispositius mòbils de les persones que es troben dins i a les proximitats del mateix.</li> </ul> |
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Invertir en tecnologies i sensors que facilitin la gestió d'una incidència i la seguretat dels usuari(e)s i treballador(e)s de la via.</li> </ul>   |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Àmbit general: arreu de l'àmbit SIMMB.</li> </ul> <p>Àmbits d'atenció especial:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trams de via propensos a patir incidències com a conseqüència de fenòmens meteorològics desfavorables: boira, fortes ratxes de vent, acumulació d'aigua al ferm, etc.</li> </ul>   |
| Agents implicats en la implementació         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> <li>• ADIF (MITMA)</li> </ul>  |

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
|                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• FGC (DTS)</li> <li>• Departament d'Interior-Protecció Civil</li> </ul>  |
| Beneficis de la solució            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducció del risc d'accidentalitat derivat de les condicions de baixa visibilitat.</li> <li>• Millora de la seguretat del passatge i treballador(e)s.</li> <li>• Millora de la capacitat de resposta per part de Protecció Civil i els sistemes d'emergència.</li> </ul>  |
| Barreres a la implementació        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Increment del cost econòmic directe d'execució.</li> </ul>  |
| Termini convenient d'implementació | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obra existent: curt (1-3 anys) i mitjà (4-8 anys) terminis.</li> <li>• Obra nova: a incorporar en el propi disseny del projecte.</li> </ul>   |
| Consideracions al cicle de vida    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En termes de cicle de vida infraestructural no es preveuen canvis significatius en sentit positiu ni negatiu. És una acció adreçada a la millora de la seguretat de la infraestructura de cara a usuari(e)s i treballador(e)s (i a l'estalvi d'energia en climatització).</li> </ul>  |
| Indicadors de seguiment            | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre d'episodis d'interrupció/talls del servei degut a fenòmens meteorològics extrems per km lineal d'infraestructura.</li> <li>• Temps d'interrupció del servei degut a fenòmens meteorològics extrems i mobilitat afectada (nombre de passatgers).</li> <li>• Recursos destinats al desenvolupament i instal·lació de sensors per cada agent implicat (€ / km infraestructura existent).</li> </ul> |

7.13. Millorar la coordinació entre els organismes implicats en cas d'incidència

| MILLORAR LA COORDINACIÓ ENTRE ELS ORGANISMES IMPLICATS EN CAS D'INCIDÈNCIA                 |  | Codi              | 13 |
|--|--|-------------------|----|
| Impacte(s) al qual s'adreça  |  |                   |    |
| Sobre les infraestructures   |  | Grau d'incidència |    |
| Capacitat insuficient dels sistemes de drenatge i inundacions a la via, túnels o ponts     |  | Alta              |    |
| Danys a la via per desprendiments, esllavissades i/o caiguda d'altres elements (arbres...) |  | Mitjana           |    |
| Desestabilització de talussos en vies en terraplè  |  | Alta              |    |
| Danys estructurals per soscavació i erosió   |  | Alta              |    |
| Deformació i/o esquerdat del ferm  |  | Mitjana           |    |
| Deformació dels rails o de la catenària  |  | Mitjana           |    |
| Afectació sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació                            |  | Mitjana           |    |
| Sobre l'operació   |  | Grau d'incidència |    |
| Aturada dels combois per manca de subministrament elèctric                                 |  | Alta              |    |

| REFORÇAR, PER PART DELS DIFERENTS OPERADORS, LA COORDINACIÓ PER DUR A TERME ACTUACIONS DE MANTENIMENT PREVENTIU FRONT ELS RISCOS CLIMÀTICS   |   |           |   |             |   |          |   |             |   | Subcodi   | 13A  |
|--|---|-----------|---|-------------|---|----------|---|-------------|---|-----------|------|
|  |   |           |   |             |   |          |   |             |   | Prioritat | Alta |
| Tipus de solució   |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |      |
| Tècnica  |   | Operativa | x | Manteniment |   | Cultural | x | Regulatòria |   |           |      |
| Aplicació per tipus d'infraestructura  |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |      |
| No aplica  |   | Viària    | x | Ferrovial   | x | Existent | x | Nova        | x |           |      |
| Aplicació per mitjà de transport   |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |      |
| No aplica  | x | Autobús   |   | Tren        |   | Metro    |   | Tramvia     |   |           |      |
| Descripció de la solució   |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |      |
| <p>General (obra existent i obra nova)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Existeixen un seguit de riscos climàtics que, per la seva pròpia naturalesa, poden incidir sobre més d'un tipus d'infraestructura de manera simultània o progressiva i on les estratègies a adoptar poden tenir una part compartida que permeti l'establiment de sinèrgies.</li> </ul> <p>El cas més evident d'aquesta situació és el de la inundabilitat d'un tram d'infraestructura lineal (vegeu Fitxa 1A). En aquest sentit, per exemple, la construcció d'una bassa de laminació en un punt estratègic pot beneficiar més d'una infraestructura situada aigües avall. Des d'aquesta perspectiva és oportú promoure el disseny d'aquests elements des d'una perspectiva territorial integrada més àmplia que la de cada infraestructura individual, de manera que es possibilitin sinèrgies i economies d'escala, difícils d'assolir des d'un enfocament individual per cada operador.</p> <p>Un altre àmbit en el qual es considera oportú aquest enfocament més territorial és en la prevenció d'incendis (vegeu Fitxa 11A) –per exemple l'establiment d'un tallafoc en una franja estratègica d'una massa forestal– o, fins i tot, en qüestions relatives a la inestabilitat de talussos (vegeu Fitxes 4A a 4C).</p> <p>Aquesta coordinació a escala territorial es pot fer tant per resoldre una situació recurrent en un punt crític amb diferents infraestructures existents i agents implicats com, en el cas que en la fase de projecte d'una nova infraestructura es detecti la conveniència d'establir</p> |   |           |   |             |   |          |   |             |   |           |      |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>estratègies d'adaptació coordinades amb els titulars d'altres infraestructures preexistents.</p> <p>Obra existent</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En línia amb allò exposat a la fitxa 12A, una bona coordinació entre operadors de diferents infraestructures que passin per un mateix corredor o estiguin interrelacionades d'alguna manera pot facilitar una gestió optimitzada. Aquesta coordinació es pot concretar en qüestions com:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Compartir informació, a través de canals o circuits específics preestablerts, relativa a la identificació d'elements de risc localitzats en tasques rutinàries de manteniment, sistemes d'alerta propis, etc. Per exemple, els treballs de manteniment d'una determinada infraestructura poden facilitar la localització de situacions de risc d'una infraestructura adjacent per qüestions com ara la inestabilitat d'un talús o el descalç d'un pilar d'un pont.</li> <li>○ Informar a tercers, de manera àgil, en cas d'incidència real o imminent sobre d'altres infraestructures que es puguin veure afectades en cascada com a conseqüència de l'afectació de la primera. Per exemple en el cas que els efluent drenats d'una puguin interferir en la funcionalitat d'una altra situada en una cota inferior.</li> </ul> </li> </ul> <p>Una manera de canalitzar aquesta coordinació i cooperació seria establir una plataforma virtual, amb diferents nivells d'accés restringit per part dels diferents agents implicats, que facilités una interacció àgil i eficient i que permetés generar alertes en determinats casos. El funcionament correcte d'aquesta plataforma requeriria que cada operador establís un circuit intern, igualment àgil, de transferència d'informació, per tal que fos penjada a la plataforma en un breu termini de temps.</p> |
| Indicacions pels projectes i/o els operadors | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adoptar, per part dels diferents operadors, una cultura preventiva d'increment de la resiliència, més proactiva i cooperativa amb la resta d'operadors de mobilitat del territori.</li> </ul>   |
| Àmbit territorial d'aplicació                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjunt de l'àmbit SIMMB.</li> </ul>  |
| Agents implicats en la implementació         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> <li>• ADIF (MITMA)</li> </ul>  |

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
|                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• FGC (DTS)</li> </ul>   |
| Beneficis de la solució            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establiment d'economies d'escala en la implantació de mesures d'increment de la resiliència que poden augmentar l'eficàcia i reduir els costos unitaris per part de cada operador individual.</li> <li>• Sinèrgies positives entre operadors, que poden permetre detectar situacions de risc de manera preventiva, sense generar cap sobrecost, tot aprofitant les tasques de manteniment ordinari per part de cada operador.</li> <li>• Foment d'una cultura col·laborativa entre els diferents operadors.</li> </ul> |
| Barreres a la implementació        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Escassa cultura de cooperació entre els diferents operadors de les diverses infraestructures viàries i ferroviàries.</li> <li>• Possible dificultat en l'objectivació del repartiment de costos per a la implementació de mesures que generin beneficis mutus entre diferents infraestructures</li> <li>• Manca de circuits preestablerts de comunicació i interacció entre els diferents operadors que actuen en un mateix àmbit territorial.</li> </ul>  |
| Termini convenient d'implementació | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Curt termini (1 a 3 anys). Acció a mantenir al llarg del temps.</li> </ul>   |
| Consideracions al cicle de vida    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualsevol actuació que reforci el manteniment preventiu –més encara si permet establir sinèrgies col·laboratives entre operadors– és susceptible d'afavorir una major durabilitat de la infraestructura en qüestió, tot reduint (o fins i tot evitant) un risc que podria comportar la necessitat de reposició, total o parcial, de la infraestructura.</li> </ul>   |
| Indicadors de seguiment            | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre de projectes preventius conjunts elaborats anualment entre més d'un operador, diferenciant entre redactats, en curs i executats.</li> <li>• Creació de la plataforma d'intercanvi d'informació, nombre de registres anuals generats i percentatge de resolució/processament de les incidències detectades.</li> </ul>   |

7.14. Registrar les incidències de manera integrada per part dels diferents operadors

|  |  |                   |    |
|--|--|-------------------|----|
| <b>REGISTRAR LES INCIDÈNCIES DE MANERA INTEGRADA PER PART DELS DIFERENTS OPERADORS</b>     |  | Codi              | 14 |
| Impacte(s) al qual s'adreça  |  |                   |    |
| Sobre les infraestructures   |  | Grau d'incidència |    |
| Capacitat insuficient dels sistemes de drenatge i inundacions a la via, túnels o ponts     |  | Molt alta         |    |
| Danys a la via per desprendiments, esllavissades i/o caiguda d'altres elements (arbres...) |  | Molt alta         |    |
| Desestabilització de talussos en vies en terraplè  |  | Alta              |    |

|   |   |   |         |
|---|---|---|---------|
| <b>GENERAR UN REGISTRE ÚNIC D'INCIDÈNCIES SOBRE EL SISTEMA DE MOBILITAT RELACIONADES AMB EPISODIS CLIMÀTICS EXTREMS</b> |   | Subcodi   | 14A     |
|   |   | Prioritat   | Mitjana |
| Tipus de solució  |   |   |         |
| Tècnica   |   | Operativa   | x       |
|   |   | Manteniment   |         |
|   |   | Cultural  | x       |
|   |   | Regulatòria   |         |
| Aplicació per tipus d'infraestructura   |   |   |         |
| No aplica   |   | Viària  | x       |
|   |   | Ferroviana  | x       |
|   |   | Existent  | x       |
|   |   | Nova  |         |
| Aplicació per mitjà de transport  |   |   |         |
| No aplica   | x | Autobús   |         |
|   |   | Tren  |         |
|   |   | Metro   |         |
|   |   | Tramvia   |         |
| Descripció de la solució  |   | Obra existent <ul style="list-style-type: none"> <li>El treball previ dut a terme en el marc del present projecte ha permès detectar una notable heterogeneïtat quant al registre d'incidències per part de cada administració i operador i al tipus de dades recopilades.</li> </ul> |         |

Aquest fet dificulta notablement l'anàlisi posterior de la informació als efectes d'identificar punts crítics recurrents, relacions causa-efecte amb fenòmens d'origen climàtic directe o indirecte o vinculacions espacials o temporals entre episodis registrats per diferents operadors.

Per tant, es considera molt recomanable establir un registre unificat d'incidències sobre la mobilitat d'origen climàtic que podria quedar centralitzat en la Direcció General de Protecció Civil de Catalunya (Departament d'Interior), idealment en col·laboració amb el Servei Meteorològic de Catalunya i l'Oficina Catalana de Canvi Climàtic (Departament de Territori i Sostenibilitat).

Els diferents operadors i administracions implicades, amb independència dels diferents registres particulars que poguessin mantenir per les seves necessitats i gestió pròpia, abocarien les diferents incidències d'origen climàtic directe o indirecte en aquest registre unificat.

Orientativament, els camps mínims a considerar en el formulari d'aquest registre unificat serien:

- o Infraestructura o servei afectat: identificació de la via.
- o Data d'inici de la incidència, incloent l'hora (si es disposa d'aquesta informació).
- o Durada del període d'afectació. En el cas d'afectacions que comportin una afectació de llarga durada –com ara la reconstrucció d'un pont afectat per una riuada– es pot indicar d'entrada un temps estimat, que posteriorment sigui revisat una vegada resolta la incidència.
- o Localització concreta, en forma de punt quilomètric i idealment de coordenades GPS (si és un tram, dades d'inici i final).
- o Tipus d'incidència: inclusió en una de les categories predefinides (inundació, incendi, esllavissada, etc.)
- o Descripció de la incidència: camp obert on incorporar una explicació breu de l'episodi.
- o Afectació sobre la infraestructura: valoració de danys materials, elements afectats, etc.
- o Afectació sobre la mobilitat: valoració de l'alteració del servei (retards, congestions, ús de vies o sistemes de mobilitat alternatius).



|   |   |
|---|---|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Si se'n disposa, imatge(s) de l'afectació.</li> </ul> <p>Aquest sistema de registre ha de permetre un tractament i anàlisi de la informació recopilada en format SIG. En aquest sentit, cal disposar d'una cartografia de base sòlida sobre les infraestructures existents, amb la màxima informació possible relativa a tipologies constructives, localització d'obres de fàbrica, drenatges transversals, etc.</p> |
| <b>Indicacions pels projectes i/o els operadors</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establir un procediment intern, per part de cada operador i administració, que faciliti la incorporació efectiva en el registre unificat de la informació relativa a les incidències amb causa potencialment climàtica, directa o indirecta. Prèviament es requereix la creació del registre per part de l'organisme(s) responsable(s) de la seva gestió.</li> </ul>   |
| <b>Àmbit territorial d'aplicació</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjunt de l'àmbit SIMMB.</li> </ul>   |
| <b>Agents implicats en la implementació</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> <li>• Trambaix i Trambesòs (TRAM)</li> <li>• Ferrocarril Metropolità de Barcelona (TMB)</li> </ul>   |
| <b>Beneficis de la solució</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitat d'anàlisi <i>a posteriori</i>, que possibilitarà la identificació de punts crítics i zones amb problemàtiques recurrents. A més, pot</li> </ul>  |

|   |  |
|---|--|
|   | <p>facilitar un ulterior disseny d'estratègies preventives i correctores tant per part dels propis operadors, com també per part de les administracions concernides a diferents escales territorials i sectorials.</p>   |
| <b>Barreres a la implementació</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Escassa cultura de cooperació entre els diferents operadors de les diverses infraestructures viàries i ferroviàries.</li> <li>• Manca de circuits preestablerts de comunicació i interacció entre els diferents operadors que actuen en un mateix àmbit territorial.</li> </ul>   |
| <b>Termini convenient d'implementació</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Curt termini (1 a 3 anys). Acció a mantenir al llarg del temps.</li> </ul>  |
| <b>Consideracions al cicle de vida</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualsevol actuació que reforci la identificació de punts crítics i l'actuació preventiva és susceptible d'afavorir una major durabilitat de la infraestructura en qüestió, tot reduint (o fins i tot evitant) un risc que podria comportar la necessitat de reposició, total o parcial, de la infraestructura.</li> </ul> |
| <b>Indicadors de seguiment</b>            | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posada en marxa del registre. Nombre d'incidències anuals registrades a diferents escales territorials i per tipologia d'incidència.</li> </ul>   |

### 7.15. Revisar la normativa tècnica sobre les infraestructures

| REVISAR LA NORMATIVA TÈCNICA SOBRE LES INFRAESTRUCTURES                                    |  | Codi              | 15 |
|--|--|-------------------|----|
| Impacte(s) a la qual s'adreça  |  |                   |    |
| Sobre les infraestructures   |  | Grau d'incidència |    |
| Capacitat insuficient dels sistemes de drenatge i inundacions a la via, túnels o ponts     |  | Molt alta         |    |
| Danys a la via per desprendiments, esllavissades i/o caiguda d'altres elements (arbres...) |  | Molt alta         |    |
| Desestabilització de talussos en vies en terraplè  |  | Molt alta         |    |
| Danys estructurals per socavació i erosió  |  | Alta              |    |
| Deformació i/o esquerdat del ferm  |  | Alta              |    |
| Afectació sistemes de senyalització, comunicació i il·luminació                            |  | Alta              |    |
| Sobre l'operació   |  | Grau d'incidència |    |
| Disminució del confort climàtic  |  | Mitjana           |    |
| Sobreescalfament de motors i avaries en vehicles   |  | Mitjana           |    |

| REVISAR LES ESPECIFICACIONS DE DISSENY I MANTENIMENT D'INFRAESTRUCTURES VIÀRIES I FERROVIÀRIES PER INCORPORAR QÜESTIONS RELATIVES A L'ADAPTACIÓ AL CANVI CLIMÀTIC   |   |           |   |             |   |          |     |             |   | Subcodi   | 15A  |
|---|---|-----------|---|-------------|---|----------|-----|-------------|---|-----------|------|
|   |   |           |   |             |   |          |     |             |   | Prioritat | Alta |
| Tipus de solució  |   |           |   |             |   |          |     |             |   |           |      |
| Tècnica   | x | Operativa |   | Manteniment | x | Cultural |     | Regulatòria | x |           |      |
| Aplicació per tipus d'infraestructura   |   |           |   |             |   |          |     |             |   |           |      |
| No aplica   |   | Viària    | x | Ferroviana  | x | Existent | (x) | Nova        | x |           |      |
| Aplicació per mitjà de transport  |   |           |   |             |   |          |     |             |   |           |      |
| No aplica   | x | Autobús   |   | Tren        |   | Metro    |     | Tramvia     |   |           |      |
| <p>Descripció de la solució</p> <p>General (obra existent i, particularment, nova):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La normativa i criteris tècnics relatius al disseny i construcció d'infraestructures viàries i ferroviàries és molt extensa i complexa i fa referència a múltiples regulacions sectorials connexes. Pot adoptar la forma de decret, ordre, instrucció tècnica o de simple recomanació, entre d'altres figures i s'ha anat elaborant, desenvolupant i revisant al llarg dels darrers 40 anys.</li> </ul> <p>El ventall d'aspectes tècnics a cobrir per aquesta normativa i criteris és molt ampli, atès que inclou no únicament qüestions merament constructives sinó també múltiples condicionants de seguretat per a la fase operativa. A més, sovint es desagrega en diferents categories per tipus d'element constructiu o funcionalitat: ferms, plataformes, obres de drenatge, ponts i altres estructures, barreres de seguretat, senyalització, etc.</p> <p>Com a conseqüència d'aquesta complexitat, extensió i interrelació, la modificació d'aspectes normatius com a tals és difícil, més encara pel fet que respon a una legislació que s'ha de tramitar principalment a escala estatal.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>En general, aquest corpus normatiu i d'instruccions tècniques no incorpora <i>per se</i> l'adaptació al canvi climàtic, tot i que sí aborda múltiples aspectes potencialment relacionats, com ara el dimensionament de les obres de drenatge atenent a metodologies de càlculs hidràulics. En l'actualitat, doncs, l'increment de la</li> </ul> |   |           |   |             |   |          |     |             |   |           |      |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>resiliència de les infraestructures front el canvi climàtic és un aspecte no necessàriament incorporat en la fase de projecte d'una obra nova –i, encara menys, en les infraestructures existents, moltes de les quals construïdes fa dècades–.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tot i les limitacions imposades per les inèrcies d'aquest context regulador general es poden incorporar qüestions d'adaptació a través dels procediments d'avaluació ambiental:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Els nous projectes avaluats a partir de l'entrada en vigor de la Llei estatal 21/2013 d'avaluació ambiental –que transposa la Directiva 2011/92/UE–han d'incloure valoracions de l'impacte del projecte sobre el canvi climàtic (mitigació i adaptació), per la qual cosa poden arribar a incorporar alguna indicació en aquest sentit, tot i que no necessàriament orientada a la pròpia infraestructura sinó a l'entorn.</li> <li>○ Més específicament, l'article 21 de la Llei catalana 16/2017 del canvi climàtic estableix la necessitat que els projectes constructius de noves infraestructures (incloses les viàries i ferroviàries incorporin –en el marc de l'avaluació ambiental estratègica de plans i en el marc de l'avaluació d'impacte ambiental de projectes– l'anàlisi de la seva vulnerabilitat davant els impactes del canvi climàtic d'acord amb el coneixement científic actual. A més, quan així ho determini, l'anàlisi de vulnerabilitat efectuat, s'han de preveure mesures d'adaptació als impactes del canvi climàtic així com el seu seguiment i monitoratge.</li> </ul> </li> <li>• En aquest context els operadors poden actuar proactivament, sense esperar canvis normatius de la legislació troncal en la matèria, que es produiran a un ritme molt més lent, mitjançant l'aplicació de directrius o normes internes (molt més fàcils d'adaptar que no pas la normativa estatal). Entre les estratègies a plantejar cal considerar les següents:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Establir un protocol d'avaluació de la vulnerabilitat climàtica en els nous projectes que es licitin, a través del qual es puguin identificar eventuais riscos i, en cas afirmatiu, plantejar les mesures preventives o correctores pertinents. Cal destacar que alguns operadors, com Adif, ja disposen d'un protocol en aquest sentit: recentment (gener 2020) ha elaborat la norma interna <i>Metodologia per a l'anàlisi del risc i l'adaptació als efectes del canvi climàtic</i>.</li> <li>○ Contemplar, de manera genèrica en els nous projectes, una assumpció dels paràmetres constructius més exigents que estableixi la normativa, en cas que existeixi un rang de</li> </ul> </li> </ul> |
|--|---|

|   |   |
|---|---|
|   | <p>possibilitats, per aquelles variables altament dependents d'escenaris climàtics futurs, com ara els càlculs hidràulics. En alguns casos, de fet, es pot contemplar un increment percentual, a mode de resguard addicional, respecte el valor normatiu de referència (per exemple, incrementar un 20% el resguard al dimensionament d'una obra de drenatge respecte el càlcul obtingut en aplicació de la normativa).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Una tercera estratègia, en aquest cas aplicable, tant en obra nova com existent, passa per establir criteris per incidir sobre l'aplicació d'eines de monitoratge i sensorica, així com en relació amb la periodicitat i abast de les tasques incloses en el manteniment o fins i tot a protocols d'operació en cas d'incidència, bé sigui de manera directa per part de l'operador, bé sigui a través dels contractes de conservació i explotació que es licitin. Les qüestions a considerar en aquesta estratègia han estat tractades ja en diverses fitxes (vegeu Fitxes 1B, 4C, 11A, 12A, 12B).</li> </ul> |
| <b>Indicacions pels projectes i/o els operadors</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorporar, per part de cada operador, normes internes relatives a l'avaluació de riscos climàtics en noves infraestructures i instal·lacions, així com per reforçar la resiliència d'infraestructures existents incidint sobre l'operació i el manteniment.</li> </ul>  |
| <b>Àmbit territorial d'aplicació</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Àmbit general: arreu de l'àmbit SIMMB</li> </ul>   |
| <b>Agents implicats en la implementació</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DTS)</li> <li>• Direcció General de Carreteres (MITMA)</li> <li>• Gerència de Serveis d'Infraestructures Viàries i Mobilitat (DIBA)</li> <li>• ADIF (MITMA)</li> <li>• FGC (DTS)</li> <li>• Ferrocarril Metropolità de Barcelona (TMB)</li> <li>• Trambaix i Trambesòs (TRAM)</li> </ul>   |
| <b>Beneficis de la solució</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Millora general de la capacitat d'adaptació i resiliència de les infraestructures, recolzada en documentació i normativa generada específicament amb aquesta finalitat.</li> </ul>   |
| <b>Barreres a la implementació</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessitat d'establir i fixar nous criteris tècnics de disseny, operació i manteniment difícils d'objectivar i generalitzar.</li> <li>• Increment del volum de documentació tècnica a revisar i/o generar en la redacció de nous projectes.</li> </ul>   |

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Termini convenient d'implementació | <ul style="list-style-type: none"><li>• Curt (1-3 anys) i mitjà (4-8 anys) terminis. Acció a mantenir al llarg del temps amb revisions /actualitzacions periòdiques, si s'escau.</li></ul>  |
| Consideracions al cicle de vida    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Qualsevol intervenció preventiva que millori el comportament de la infraestructura envers un risc climàtic és susceptible d'evitar o reduir l'impacte del risc i, en conseqüència, d'allargar el cicle de vida de la infraestructura.</li></ul>   |
| Indicadors de seguiment            | <p>Indicadors generals:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Establiment de normes internes d'avaluació del risc climàtic i d'estratègies per incrementar la resiliència, per part de cada operador.</li><li>• Nombre (i percentatge) de nous projectes respecte el total que incorporin una valoració específica i detallada de riscos i que defineixen les mesures preventives i correctores pertinents.</li></ul> |



## 8. Avaluació de costos de les actuacions infraestructurals

Les actuacions sobre les infraestructures que es proposen a les fitxes de mesures representen un cost a considerar en les estratègies d'adaptació de les infraestructures del sistema de mobilitat, tant en fase d'execució –si es tracta d'una infraestructura nova– com, sobretot, en el manteniment i operació de les infraestructures existents. La Comissió Europea estima que entre el 30% i el 50% dels costos de manteniment de les carreteres estan vinculats a fenòmens provocats pel canvi climàtic, fet que representa entre 8 i 13 bilions d'euros anuals<sup>4</sup>. Considerant l'abast de la xarxa viària europea aquests xifres es tradueixen en valors mitjans entre 800 i 1.200 euros per quilòmetre de carretera i any.

Les mesures exposades a les fitxes –d'abasts i implicacions força heterogènies– poden aplicar a situacions i moments ben diferents del cicle de vida de cada infraestructura. Des del punt de vista metodològic, els efectes econòmics sobre la pròpia infraestructura o la seva explotació, es poden determinar com es fa habitualment, definint el cost unitari de cada mesura i aplicant-lo a l'extensió del seu àmbit d'aplicació. Aquesta metodologia requereix, com es veurà, definir les unitats de mesura i el nombre de vegades que s'aplicarà.

L'objectiu de la valoració de les mesures, no és altre que el de contemplar la previsió dels recursos necessaris per fer front a l'adaptació de les infraestructures al canvi climàtic, des del moment actual, en que els efectes ja són apreciables, fins a escenaris futurs on la magnitud i intensitat dels fenòmens extrems augmentarà.

Els nivells d'aplicació van des dels documents de planificació sectorial, a la previsió del cost del manteniment anual de les infraestructures existents, a la seva renovació o reposició i a la inclusió de les bones pràctiques recomanades en els projectes de noves infraestructures.

### 8.1. Una aproximació als costos d'adaptació

Les actuacions que es proposen a les fitxes implicaran un cert cost a considerar en una o més de les diverses fases del cicle de vida d'una infraestructura: planificació, projecte, construcció i explotació o operació.

En funció de l'actuació, el cost només serà d'aplicació en una d'aquestes fases o en més d'una. Tanmateix, hi ha costos que es produiran un sol cop al llarg de la vida de la infraestructura, relacionats amb la inversió en la fase de construcció, i d'altres que es produiran repetidament, de manera constant al llarg de l'explotació vinculats al seu manteniment.

A efectes pràctics, els costos d'adaptació es poden associar a dos supòsits principals, atenent al moment en que s'implanten a la infraestructura:

- Adopció de les mesures en el disseny i construcció d'una nova infraestructura. Per definició, limitades a l'execució de noves infraestructures i, per tant, amb un capacitat d'incidència

reduïda, atès que els trams de nova infraestructura representen un percentatge molt baix respecte el conjunt de les xarxes ja existents.

- Implantació de millores en una infraestructura existent per augmentar-ne la resiliència. Cas més habitual. Dins l'àmbit SIMMB això representa incidir, potencialment, sobre 1.284 km de xarxa viària principal, 2.718 km de xarxa viària no principal i 938 km de xarxa ferroviària (incloent totes les tipologies: ferrocarril, metro, tramvia).

Així, per exemple, en el cas d'una obra de drenatge transversal (ODT) d'un tram de xarxa viària o ferroviària aquests diferents moments d'implantació es tradueixen en:

- Incorporació d'un criteri de disseny més exigent en els càlculs de dimensionament hidrològic tenint en compte increments de cabal per augment de la pluviometria en una conca determinada o, simplement, la probabilitat més gran d'ocurrència d'un episodi de pluja intensa en un curt període de temps en qualsevol punt del territori. Aquest serà un cost en la fase de projecte que es traslladarà directament a la inversió de la nova infraestructura.
- Per contra, en el cas d'una ODT (obra de drenatge transversal) existent, que evidenciï manca de capacitat –ja constatada per episodis històrics o com resultat de nous càlculs hidrològics en la conca contemplant nous escenaris climàtics–, requerirà d'un augment de capacitat. Aquest augment de capacitat es podrà resoldre bé com ampliació o reforç de l'element existent o bé com a duplicació. En aquest sentit, sovint pot resultar més fàcil duplicar l'element estructural que no pas intervenir per ampliar un element existent.

La inversió a fer en funció de cada situació serà ben diferent, atès que no és el mateix considerar de bell nou el cost d'un element constituït d'una via amb unes dimensions més grans o unes especificacions més exigents, que modificar un element existent. Aquesta segona situació és normalment més difícil de resoldre i la seva repercussió econòmica més gran. D'altra banda, la modificació d'una infraestructura existent presenta sovint un ventall d'alternatives o opcions que caldrà avaluar cas per cas.

En general, la complexitat de l'avaluació del cost d'adaptació de manera genèrica, aplicada a "la xarxa d'infraestructures" és molt elevada i la seva discretització, mesura a mesura, és una tasca força aproximada, que cal fer per escales o fases, tot mirant d'assolir una avaluació raonable del cost global on es minimitzin o contrarestin les fonts d'error acumulat.

Aquesta avaluació ha d'esdevenir, doncs, una eina vàlida a nivell de planificació, que permeti als responsables del desenvolupament de cada fase, disposar dels recursos necessaris per afrontar les accions concretes a implementar, tant a nivell d'inversió en obra nova com a nivell de gestió del manteniment o millora de les infraestructures existents.

Hi ha un estadi intermedi en que aquesta metodologia té una importància rellevant, que és l'anomenat estoc de projectes: tots aquells projectes d'infraestructura ja redactats, però on no s'ha considerat el cost d'adaptació associat a mesures per incrementar la resiliència al canvi climàtic, i que haurien de ser revisats amb aquest criteri abans de la seva execució.

<sup>4</sup> Dades obtingudes de l'informe final del projecte europeu Peseta II: *Climate impacts in Europe. The JRC Peseta II project* (2014).

## 8.2. Metodologia de valoració

Habitualment, en projectes d'infraestructura, les valoracions es fan pel mètode de discretitzar el disseny dividint-lo en unitats repetitives. Són les partides d'obra, que agrupen més o menys detalladament tots els elements necessaris per a definir una unitat d'un concepte determinat del projecte.

Per exemple, el cost unitari d'un metre quadrat de paviment de carretera. Inclou tots els elements de mà d'obra, eines i maquinària, materials i despeses auxiliars necessaris per a executar aquest metre quadrat. La seva definició incorpora també, les condicions de recepció de materials, posada en obra i qualitat de la unitat acabada.

Definida la partida d'obra, resta comptabilitzar el nombre de vegades que es repeteix en el disseny, el que s'anomenen amidaments. A partir d'aquestes dues variables, multiplicant el preu d'una unitat pel nombre d'unitats, s'obté l'import corresponent. I repetint per a totes les partides en que s'ha subdividit un determinat tram o part d'una infraestructura, s'arriba a disposar del cost global d'execució.

En valoracions de manteniment o explotació, es procedeix de manera semblant, però a falta d'element físic a discretitzar, s'obtenen els amidaments per estimació a partir de l'experiència del nombre de vegades que caldrà repetir una determinada unitat d'obra. Per exemple, en el cas del manteniment, el cost de neteja d'un metre lineal de cuneta, o el cost de retirada d'un obstacle accidentalment caigut sobre la calçada per un despreniment.

Aquesta és la manera com es planteja fer primera aproximació, per a la valoració i integració dels costos de les actuacions infraestructurals d'adaptació al canvi climàtic proposades. D'una banda definir les unitats d'obra, i de l'altra, comptar o estimar el nombre de vegades que caldrà aplicar-la en una determinada infraestructura o tipologia infraestructural.

### 8.2.1. Quadre de preus

A partir de les fitxes incloses en el capítol anterior s'han definit una sèrie de costos unitaris representatius de les diferents actuacions proposades, tal i com es mostra a la taula següent.

Taula 8.1. Barems de preus unitaris per a una selecció representativa d'actuacions d'adaptació al canvi climàtic de les infraestructures viàries i ferroviàries. Aquests preus unitaris no inclouen les despeses d'execució per contracte (x1,2) i gestió (x1,25), que suposen multiplicar els imports respectius en conjunt per 1,5.

| Codi | Mesura/actuació   | Unitat de mesura   | Barem  |
|------|---|--|--|
| 1    | Millorar la capacitat de drenatge amb solucions tècniques i de manteniment                                    |  |  |
| 1A   | Millorar l'eficiència i capacitat dels sistemes de drenatge   | m <sup>2</sup> o ml Ampliació obra de drenatge transversal | Segons tipologia i mida:<br>ODT fins a 1500 mm: 1.750 €/ml<br>ODT calaix: 1.800-3.600 €/m <sup>2</sup><br>Ponts: 18.000 a 36.000 €/ml  |
|      |   | m <sup>3</sup> Bassa de laminació                          | 10 €/m <sup>3</sup>  |
| 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 | Ut Aixecament accés d'estació                              | Molt variable en funció de les característiques de cada estació (existència o no d'escales mecàniques i/o ascensors, condicions de l'entorn urbà, etc.). Com a ordre de magnitud cal considerar entre 20.000 i 50.000 €/ut.<br><br>Algunes mesures no depenen del propi operador sinó de tercers, com ara la millora de drenatges o col·lectors fora de les instal·lacions. Així, per exemple, les obres d'ampliació del col·lector de l'av. Paral·lel a Barcelona estan valorades en 30 M€. |
|      |   | Ut Col·locació porta estanca a estació                     | 3.500 a 12.000 €/ut  |
|      |   | Ut Aixecament ventilació                                   | 35.000 €/ut  |

| Codi | Mesura/actuació   | Unitat de mesura   | Barem  |
|------|---|--|--|
| 3    | Reforçar l'estanqueïtat de les 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 | Ut Canvi d'armaris   | 6.000 a 10.000 €/ut                                  |
|      |   | Ut Impermeabilització  | ---  |
| 4    | Reforçar l'estabilitat dels talussos  |  |  |
| 4A   | Reconsiderar paràmetres constructius en talussos per incrementar l'estabilitat                                | ml Cuneta  | 50-60 €/ml   |
|      |   | ml Rebaix inclinació   | 60-500 €/ml  |
|      |   | m <sup>2</sup> Expropiació per ampliació espai ocupat pel talús                        | En funció del tipus de sòl: 1 a 400 €/m <sup>2</sup> |
| 4B   | Aplicar mesures de protecció i contenció artificial front esllavissades i desprendiments                      | m <sup>2</sup> Malla de contenció  | 35-50 €/m <sup>2</sup>                               |
|      |   | m <sup>2</sup> formigó projectat amb armadura  | 45-60 €/m <sup>2</sup>                               |
|      |   | m <sup>2</sup> Geomalla de revegetació i revegetació                                   | 30-45 €/m <sup>2</sup>                               |
|      |   | ml Mur o tanca de contenció a peu de talús   | 120-160 €/ml   |
| 5    | Millorar les mesures de protecció física en zones costaneres  |  |  |
| 5A   | Millorar les mesures de protecció física en zones costaneres  | ml Creació duna (per unitat de duna)   | 400-600 €/ml   |
|      |   | m <sup>2</sup> Arranjament de platja   | 4-6 €/m <sup>2</sup>                                 |
|      |   | T Espigó submergit   | 18-20 €/T  |
|      |   | m <sup>3</sup> Arranjament escullera protecció   | 115-200 €/m <sup>3</sup>                             |
| 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                  | m <sup>2</sup> Canvi de betum en capa rodadura (sobrecost pel canvi de tipus de betum) | 1 €/m <sup>2</sup>                                   |
|      |   | m <sup>2</sup> Pintat paviments  | 2-3 €/m <sup>2</sup>                                 |
|      |   | ml Canvi de rails  | 50 €/ml  |
|      |   | ml Canvi de catenàries de coure a alumini  | 45-60 €/ml   |
|      |   | ut/ml Millora del sistema de tensat de catenària                                       | 40-50 €/ml   |

| Codi | Mesura/actuació   | Unitat de mesura   | Barem  |
|------|---|--|--|
| 6B   | Adequar instal·lacions, amb equips elèctrics i electrònics sensibles, a temperatures de funcionament més elevades | Ut Equip o component   | Molt variable en funció de cada cas  |
| 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 disposin                                   | m <sup>2</sup> Marquesina andana   | 80-100 €/m <sup>2</sup>  |
|      |   | ut Marquesina parada bus   | 18.000-24.000 €/ut   |
|      |   | ut Pal de parada amb protecció solar   | 6.000 €/ut   |
|      |   | m <sup>2</sup> Lona tensada  | 150 €/m <sup>2</sup>   |
| 7B   | Protegir les cotxeres i les platges de vies de la radiació solar directa  | ml Vegetació d'ombra   | 20-25 €/ml   |
|      |   | m <sup>2</sup> Marquesina  | 80-100 €/m <sup>2</sup>  |
|      |   | ut Aïllament tèrmic vagons   | ---  |
| 8    | Millorar el confort climàtic en el transport públic   |  |  |
| 8B   | Optimitzar el sistema de ventilació d'andanes i túnels de les estacions ferroviàries subterrànies                 | Ut Equip o component   | Molt variable en funció de cada cas<br>Metro de Barcelona contempla unes inversions d'1 M€/any per renovació dels sistemes de ventilació en túnels existents i 1 M€/any per renovació de ventiladors d'estació fins al 2050. |
| 10   | Millorar i reforçar la robustesa del subministrament elèctric   |  |  |
| 10A  | Millorar i reforçar el sistema de subministrament elèctric a elements crítics                                     | Ut instal·lacions (subestacions, transformadors, fonts energètiques alternatives, etc.)<br>ml cablejat | Molt variable en funció de cada cas  |

Font: elaboració pròpia.

### 8.2.2. Amidaments

Una vegada establerts els costos unitaris, caldria definir el nombre de cops que es repeteixen les unitats establertes. Aquesta és una tasca molt complexa que depassa l'abast del present informe, atès l'elevat nombre d'elements a considerar repartits en una xarxa viària de 4.001 km i una ferroviària de 938 dins l'àmbit del SIMMB, on cada tram o secció pot presentar característiques o contextos diferenciats. El mateix s'esdevé amb elements puntuals: 376 estacions ferroviàries (203 de les quals soterrades) i més de 5.100 parades d'autobús interurbanes, també considerant únicament l'àmbit SIMMB.

Es poden fer aproximacions, però. Per veure quines magnituds es veuen afectades per cada aspecte climàtic, es poden creuar les dades disponibles de les xarxes d'infraestructures amb dades de diferents tipus, temàtiques, sectorials, territorials o climàtiques, i a partir d'aquest creuament deduir els amidaments sobre els que aplicar el quadre de preus anterior.

Per tal de fer correctament aquesta estimació d'amidaments caldria disposar, en una situació ideal, 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 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.

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. D'altra banda, pràcticament no existeixen referències per a l'establiment de correlacions quantificables causa-efecte.

Malgrat les notables dificultats metodològiques exposades, a l'apartat següent s'exposen, a títol d'exemple, enfocaments i valoracions per a tres casos pràctics i concrets, sempre en funció de la informació disponible

### 8.3. Aplicació de la metodologia d'avaluació general de costos d'adaptació d'infraestructures en tres estudis de cas

Com a exemples de valoració econòmica d'actuacions, s'han triat tres casos corresponents a les categories més importants de mesures d'adaptació de les infraestructures existents, com són el drenatge, l'estabilitat de talussos, i la protecció física en zones costaneres.

Per a cadascun d'aquests casos, s'indiquen les variables considerades i les hipòtesis i estimacions realitzades per arribar a disposar d'una aproximació integrada de costos.

#### Cas 1. Millora de la capacitat de les obres de drenatge transversal (ODT) de la xarxa de carreteres i de la xarxa ferroviària (Fitxa 1A)

Es tenen en compte les següents premisses per tal de fer una primera aproximació:

- S'identifiquen, mitjançant anàlisi SIG, els punts d'intersecció entre la xarxa d'infraestructures i la xarxa fluvial de rang inferior (nivells 1 a 3 definits per l'ACA), assumint que les categories 4 a 7 corresponen a cursos fluvials de prou importància com per que la majoria d'interseccions es facin amb obres de fàbrica (ponts) i no amb ODT<sup>5</sup>.
- Es contempla que en els casos on es detecti intersecció en aquests nivells 1 a 3 es prevegi, amb caràcter general, una duplicació de l'ODT existent amb canonades de fins a 1.500 mm de diàmetre.

La longitud de cada obra de drenatge es dedueix del nombre de carrils de la via al punt d'intersecció segons les taules adjuntes.

| Nombre de carrils (carreteres) | Longitud ODT (m) |
|--------------------------------|------------------|
| 2                              | 19               |
| 3                              | 23               |
| 4                              | 32               |
| 5                              | 42               |
| 6                              | 45               |
| 8                              | 60               |
| Nombre de vies (ferrocarril)   | Longitud ODT (m) |
| simple                         | 24,5             |
| doble                          | 31,0             |

<sup>5</sup> En aquesta anàlisi SIG s'exclouen creuaments amb xarxa fluvial que la cartografia de l'ACA indica que corresponen a "integrada en trama urbana o viària" i que, de fet, són trams canalitzats o actualment inexistents en superfície.



A partir de l'anàlisi SIG realitzada s'ha constatat l'existència de 150 interseccions entre la xarxa viària principal i la xarxa hidrogràfica en les categories 1, 2 i 3; 95 en xarxa viària secundària i 82 en xarxa ferroviària.

Tenint en compte el nombre de carrils, la longitud total d'obres de drenatge d'aquests punts en la xarxa viària és de 4.809 metres per la xarxa viària principal, 1.805 metres per la secundària i 2.393 metres per la ferroviària. En total 9.007 metres d'obres de drenatge.

Aplicant el barem mitjà de 2.625 €/ml (incloses despeses d'execució per contracte i gestió), l'import de duplicar totes les ODT referenciades seria de **12,6 M€ en xarxa viària principal**, **4,8 M€ en xarxa viària secundària** i **6,3 M€ en xarxa ferroviària**. En total **23,7 M€**.

La xifra resultant correspon a la quantitat d'inversió teòrica per millora la capacitat de desguàs de les obres de drenatge de les característiques definides, sense aplicar altres mètodes de discriminació. Òbviament, però, no totes requeriran el seu reforç, ja que algunes poden estar correctament dimensionades als nous escenaris i d'altres se situen en zones menys sensibles en funció de la seva localització i característiques.

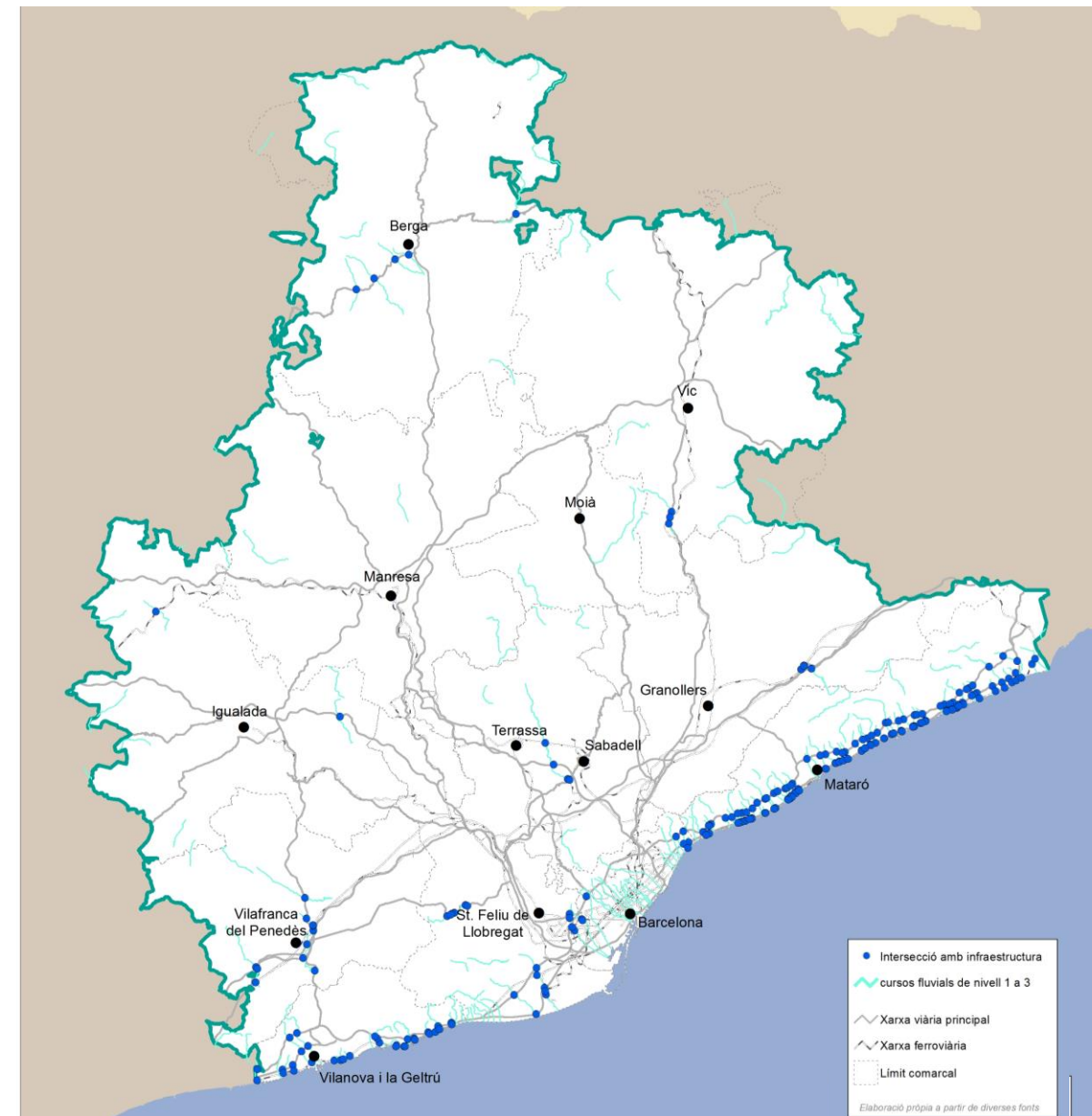
Per afinar aquesta estimació, s'ha fet un exercici d'anàlisi amb una metodologia alternativa en el cas de la xarxa ferroviària. Mitjançant anàlisi SIG de la xarxa ferroviària s'han obtingut longituds de línia amb talussos. A partir d'aquí s'han aplicat les següents hipòtesis de càlcul:

- Es contemplen, de mitjana, dues obres de drenatge per cada quilòmetre de via.
- Es considera que cal actuar sobre el 25% de línies que es troben en zona de variació important del nombre de dies de precipitació significativa.

D'acord amb aquests supòsits, del total de 786,15 km de via de ferrocarril cal actuar sobre 393 ODT que, per una longitud mitjana de 27,75 m, fan una longitud total de 10.905,75 m.

Aplicant a aquest valor el mateix preu unitari anterior de 2.625 €/ml, i el valor resultant és de **28,6 M€**, xifra sensiblement superior als 6,3 M€ calculats segons la primera metodologia.

Figura 8.1. Interseccions de la xarxa fluvial de nivells 1 a 3 amb la xarxa ferroviària.



Font: elaboració pròpia a partir de diverses fonts.

## Cas 2. Reforç de l'estabilitat de talussos en desmunt (Fitxes 4A i 4B)

En aquests cas cal estimar la superfície de talussos potencialment inestables. Es tracta predominantment de talussos en desmunt, situats en zones amb risc alt d'esllavissades o desprendiments.

Es disposa de fulls de risc geològic a escala 1:25.000 de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya que cobreixen molt parcialment l'àmbit SIMMB, en concret un 22%. En aquest cas, l'heterogeneïtat geològica del territori i el fet que els fulls existents estan elaborats en funció de la disponibilitat d'informació geològica prèvia, però sense cap representativitat atenent al risc potencial, fa que el resultat obtingut no pugui ser extrapolable al conjunt de l'àmbit SIMMB. El gruix dels fulls disponibles abasta, entre d'altres, àrees del Vallès, el Bages o Osona però no inclou, per exemple parts de Montserrat, el Montseny o el Berguedà.

D'altra banda, l'anàlisi SIG està condicionada per la resolució escalar de les diferents capes SIG disponibles, així com pel fet que la xarxa infraestructural disponible ve donada per només una línia sense amplada. Aquest fet, unit al caràcter del risc (que, per definició, s'inicia fora de la calçada) dificulta l'anàlisi, per la qual cosa s'ha utilitzat una zona tampó d'intersecció, d'amplada fixa, amb les àrees de risc. Tot i així, els resultats de l'anàlisi en zones concretes evidencien que aquesta metodologia d'anàlisi comporta un grau d'inexactitud difícil de resoldre.

En qualsevol cas, els resultats obtinguts –amb totes les cauteles exposades– indiquen per a la xarxa viària principal, un sumatori mínim de trams exposats en zona d'alt risc de desprendiment dins l'àmbit cartografiat de riscos geològics de 603 m, als quals cal afegir 9.658 m en xarxa viària secundària i 4.685 m en xarxa ferroviària.

Com a alternativa a aquesta falta d'informació s'ha plantejat una metodologia alternativa; assajada amb la xarxa ferroviària, bé que extrapolable a la viària. Sense perdre de vista la proporció de longitud de xarxa inclosa en zona de risc, ja sigui de desprendiment com d'esllavissada, es determina la superfície de talús sobre la que cal actuar a partir del model digital del terreny (model d'elevacions del terreny de 5x5 m de l'ICGC) i del graf de la xarxa ferroviària. En aquest cas s'han definit unes línies paral·leles als arcs del graf i s'han projectat sobre el model d'elevacions. Per diferència d'elevació entre l'eix i la paral·lela, es poden determinar, algebraicament, les alçades de talús a banda i banda de la línia. El signe indica si es tracta de desmunt (-) o de terraplè (+). Amb aquesta metodologia la longitud de talús sobre el que cal actuar és més ajustada a la realitat física, i es discrimina el rang d'alçades amb un criteri geogràfic molt més precís que amb la simple suposició de l'alçada mitjana del talús.

Figura 8.2. Talussos en desmunt, d'alçada superior a 5 m, en la xarxa ferroviària.



Font: elaboració pròpia a partir de diverses fonts.

Les actuacions exposades a les Fitxes 4A i 4B, inclouen intervencions de naturalesa diversa, que caldrà aplicar segons es determini en cada cas particular. Les opcions considerades per a l'elaboració d'aquest cas han estat:

- a) Rebaixar la inclinació del talús –la qual cosa pot comportar costos d'expropiació per disposar del sòl necessari per assolir un menor pendent–, així com instal·lar cunetes de protecció recobertes de formigó.
- b) Sanejar el parament del talús, construcció de cunetes i eventual protecció amb malla simple.
- c) Protecció del parament del talús amb malla ancorada i formigó projectat, incloent la construcció de cunetes de cap o peu de talús i baixants necessaris

A partir d'aquestes actuacions –i dels preus unitaris indicats anteriorment– s'ha generat la següent taula de valoracions per metre lineal d'infraestructura en funció de l'alçada del talús.

| Alçada de talús (m) | Import actuacions d'adaptació (€/ml infraestructura) |          |          |
|---------------------|--|----------|----------|
|                     | Opció a)   | Opció b) | Opció c) |
| 3                   | 142,35 €   | 101,93 € | 176,58 € |
| 5                   | 290,25 €   | 135,13 € | 259,55 € |
| 7                   | 555,58 €   | 172,58 € | 346,76 € |
| 9                   | 978,68 €   | 205,78 € | 429,73 € |
| 12                  | 2.061,28 €   | 320,11 € | 618,71 € |

A efectes de la valoració s'han considerat dues hipòtesis de càlcul:

- Hipòtesi 1, aplicada tant a xarxa viària com ferroviària. S'assumeix una alçada mitjana de talús de 8 m, amb un cost unitari per metre lineal d'infraestructura de 767 € (1.150 € incloent execució per contracte i gestió). Aplicant aquesta ràtio a les longituds més exposades a desprendiments d'acord amb els percentatges obtinguts de la informació compilada dels fulls disponibles de l'ICGC –que, ara com ara, només estan disponibles per un 22% de l'àmbit SIMMB– s'obtenen uns costos d'actuació de 0,70 M€ per a la xarxa viària principal, 11,11 M€ per a la xarxa viària secundària i 5,39 M€ per a la xarxa ferroviària.

Com s'ha indicat aquests costos no són necessàriament representatius ni extrapolables al conjunt de l'àmbit SIMMB. Amb tot un simple exercici de proporcionalitat, atenent al percentatge de territori que s'ha avaluat, situaria els costos globals d'adaptació de talussos, amb mesures de les característiques exposades, pel conjunt de l'àmbit SIMMB en 78,15 M€, dels quals 53,70 M€ en xarxa viària (principal i secundària) i els 24,6 M€ restants a la xarxa ferroviària.

- Hipòtesi 2, assajada només per a la xarxa ferroviària. S'utilitzen les alçades calculades amb el mètode del model d'elevacions del terreny aplicades al cas de la xarxa ferroviària, que proporciona els resultats següents pel que fa a longituds i alçades de talús:

| Alçada talús   | Longitud (m)        | Porció sobre la que s'actua |                  |
|----------------|---------------------|-----------------------------|------------------|
|                |                     | %                           | m                |
| Fins a 1 m     | 1.002.446,32        | 0,00%                       | 0,00             |
| Entre 1 i 5 m  | 726.580,67          | 7,40%                       | 53.766,97        |
| Entre 5 i 10 m | 116.406,09          | 14,10%                      | 16.413,26        |
| Més de 10 m    | 11.869,97           | 23,20%                      | 2.753,83         |
| <b>TOTAL</b>   | <b>1.857.303,05</b> |                             | <b>72.934,06</b> |

Considerant el pas a execució per contracte dels valors de la taula de preus unitaris segons tipus d'actuació (factor 1,2) i les despeses associades a la gestió (factor 1,25), i aplicant la columna del cas c) com a valor mitjà, s'obté un import total per a la xarxa ferroviària de 34,04 M€, xifra que representa un increment del 50% respecte el valor obtingut amb la primera hipòtesi i que es considera més realista atenent a la metodologia aplicada.

Longituds de xarxa ferroviària segons alçada de talús en desmunt o en terraplè, i per costat de cada arc.

| LEFT                     |                    | RIGHT                    |                    |
|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| Etiquetas de fila        | Suma de Shape_Leng | Etiquetas de fila        | Suma de Shape_Leng |
| Dades a Revisar          | 9.248,65           | Dades a revisar          | 6.838,01           |
| Desmunt entre 0 i 1 m    | 274.063,84         | Desmunt entre 0 i 1 m    | 206.534,32         |
| Desmunt entre 1 i 5 m    | 178.372,58         | Desmunt entre 1 i 5 m    | 148.067,46         |
| Desmunt entre 5 i 10 m   | 24.650,77          | Desmunt entre 5 i 10 m   | 47.848,93          |
| Desmunt superior a 10 m  | 3.754,95           | Desmunt superior a 10 m  | 7.272,15           |
| Terraplè entre 0 i 1 m   | 229.550,23         | Terraplè entre 0 i 1 m   | 292.297,93         |
| Terraplè entre 1 i 5 m   | 192.406,40         | Terraplè entre 1 i 5 m   | 208.979,57         |
| Terraplè entre 5 i 10 m  | 25.006,60          | Terraplè entre 5 i 10 m  | 19.312,57          |
| Terraplè superior a 10 m | 469,90             | Terraplè superior a 10 m | 372,98             |
| <b>Total general</b>     | <b>937.523,92</b>  | <b>Total general</b>     | <b>937.523,92</b>  |

Font elaboració pròpia

Valoració de les actuacions d'estabilització de talussos en la xarxa ferroviària.

| Paràmetre                     | D01         | T01         | D15                 | T15                  | D510                | T510                | D+10                | T+10              | Total                |
|-------------------------------|-------------|-------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| Shape_Length                  | 480.598,16  | 521.848,16  | 326.440,04          | 400.140,63           | 72.086,91           | 44.319,17           | 11.027,10           | 842,87            |                      |
| Actuem sobre                  | 0,0%        | 0,0%        | 7,4%                | 7,4%                 | 14,1%               | 14,1%               | 23,2%               | 23,2%             |                      |
| Actuació net                  | 0,00        | 0,00        | 24.078,93           | 29.515,24            | 10.198,77           | 6.270,22            | 2.560,58            | 195,72            |                      |
| Preu unitari                  | 0,00        | 0,00        | 259,55              | 259,55               | 429,73              | 429,73              | 618,71              | 618,71            |                      |
| Import material               | 0,00        | 0,00        | 6.249.632,49        | 7.660.616,38         | 4.382.716,94        | 2.694.502,73        | 1.584.250,58        | 121.094,50        | 22.692.813,62        |
| Execució per contracte        | 0,00        | 0,00        | 7.499.558,99        | 9.192.739,65         | 5.259.260,33        | 3.233.403,28        | 1.901.100,69        | 145.313,40        | 27.231.376,35        |
| <b>Amb despeses de gestió</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>9.374.448,74</b> | <b>11.490.924,57</b> | <b>6.574.075,41</b> | <b>4.041.754,10</b> | <b>2.376.375,86</b> | <b>181.641,75</b> | <b>34.039.220,43</b> |

Significat dels paràmetre en columnes:

|            |  |
|------------|--|
| D01/T01:   | Talussos en Desmunt i Terraplè de fins a un metre    |
| D15/T15:   | Talussos en Desmunt i Terraplè d'entre 1 i 5 metres  |
| D510/T510: | Talussos en Desmunt i Terraplè d'entre 5 i 10 metres |
| D+10/T+10: | Talussos en Desmunt i Terraplè de més de 10 metres   |

Font: elaboració pròpia



### Cas 3. Millora de la protecció de la línia R1 front a temporals marítims (Fitxa 5A)

En aquest cas, les principals solucions proposades són, d'acord amb fitxa 5A, el reforçament dels trams d'escullera existents, i la recuperació, en cas que sigui factible, de la càrrega de sorra a les platges, bé sigui pel propi recrescut per aportació de sorra, o per recuperació de camps dunars que afavoreixin la resistència de la costa envers l'erosió en cas de temporal.

Per a la valoració s'ha analitzat sobre ortoimatge i a partir de cartografia d'usos del sòl, la tipologia dels trams de costa paral·lels a la R1 al seu pas pel Maresme, en total 44,6 km entre Montgat i Malgrat de Mar (vegeu Fitxa 5).

Dels resultats obtinguts s'han seleccionat els trams actualment protegits amb escullera i els trams amb platja, així com els trams on conviuen ambdós elements. De fet, un mateix tram ferroviari pot contenir tram d'escullera i tram de platja i això explica que la suma d'aquestes dues tipologies superi la longitud de la via fèrria en aquest tram del Maresme.

| Tipologia de tram               | Longitud (km) | Superfície (m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------|---------------|------------------------------|
| Trams amb, si més no, escullera | 14,5          | 132.909                      |
| Trams amb, si més no, platja    | 35,8          | 336.397                      |
| Trams amb escullera i platja    | 10,0          |                              |

Aplicant els preus unitaris de les operacions previstes a la taula de l'apartat anterior, s'obté la següent valoració agregada de **37,4 M€**:

| Actuació   | Amidament              | Preu unitari           | Import (€) |
|--|------------------------|------------------------|------------|
| Reforç esculleres  | 145.000 m <sup>3</sup> | 157,5 €/m <sup>3</sup> | 22.837.500 |
| Formació de dunes <sup>6</sup>                                 | 25.830 ml              | 500 €/ml               | 12.915.000 |
| Arranjament platges  | 336.397 m <sup>2</sup> | 5 €/m <sup>2</sup>     | 1.681.985  |
| TOTAL  |                        |                        | 37.434.485 |
| Import total en execució per contracte (x1,2) i gestió (x1,25) |                        |                        | 56.151.727 |

La ràtio repercutida per quilòmetre de línia ferroviària, atenent als 44,6 km de recorregut paral·lel a la línia de costa, és d'uns **1.258.000 €/km de R1 al Maresme**.

<sup>6</sup> La formació de dunes només s'aplica a trams de platja on no existeix escullera, per tant no sobre 35,8 km lineals sinó sobre 25,8 km lineals.

Els estudis de cas exposats en el present apartat –en particular l'1 i el 2– evidencien les notables diferències de valoració que es produeixen en funció de les hipòtesis de càlcul considerades i del nivell d'informació de base disponible i/o utilitzat.

En conseqüència, les aproximacions a la valoració de les inversions a fer per a les diferents mesures, constitueixen un exercici complex i delicat. En aquest sentit, cal disposar de fonts fiables i completes de dades tant geogràfiques com climàtiques; i els algorismes de formació de valoracions han de ser contrastats, tenint en compte la sensibilitat dels diferents paràmetres, i assolir un nivell de complexitat representatiu de la situació real a valorar. L'escala d'aquestes dades ha de ser congruent, és a dir, que si la precisió del model de terreny és d'una malla 5 x 5 m i una exactitud altimètrica de l'ordre del decímetre, l'escala dels elements a valorar ha de ser semblant, i la densitat de les dades climàtiques suficient per permetre discriminar variacions que aportin informació rellevant.



#### 8.4. Estimació de costos infraestructurals globals d'adaptació per al pdl-2021-2030

En el context de l'elaboració del pdl 2021-2030, s'ha fet una aproximació global als costos d'adaptació infraestructurals vinculats als operadors de transport públic col·lectiu (TPC), compilant el resultat obtinguts en els estudis de cas exposats a l'apartat anterior i establint altres metodologies de valoració particularitzades per la resta d'accions de caire infraestructural plantejades en el present informe.

El resultat d'aquesta feina s'ha recollit en una mesura específica del programa de manteniment i millora del pdl 2021-2030 denominada "MM10. 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 amb els imports agregats pel conjunt d'operadors són les següents (entre parèntesi s'indica la relació amb les fitxes d'accions respectives):

- Adequació d'obres de drenatge transversal i altres actuacions per prevenir inundacions a la xarxa ferroviària: 41,6 M€ (vegeu fitxa 1A i estudi de cas 1 de l'apartat 8.3).
- Actuacions per reforçar l'estabilitat de talussos i prevenir desprendiments i esllavissades sobre la xarxa ferroviària: 34,0 M€ (vegeu fitxes 4A i 4B i estudi de cas 2 de l'apartat 8.3).
- Adequació d'accessos a estacions soterrades per reduir la inundació en cas de precipitació intensa: 14,4 M€ (vegeu fitxa 2A).
- Intervencions de protecció física de la R1 de Rodalies al Maresme envers llevantades i ascens del nivell del mar: 56,1 M€ (vegeu fitxa 5A i estudi de cas 3 de l'apartat 8.3).
- Optimització del sistema de ventilació d'andanes i túnels de les estacions ferroviàries subterrànies: 20,0 M€ (vegeu fitxa 8B).
- Cobertura de platges de vies 32,0 M€ (vegeu fitxa 7B).
- 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€ (vegeu fitxes 7A i 7B, respectivament).
- Altres actuacions (ús de materials i equips més resistents a altes temperatures, etc.): 22,3 M€ (vegeu fitxes 6A i 6B).

## 9. Anàlisi cost-benefici

Tradicionalment, l'anàlisi cost-benefici parteix d'un determinat escenari amb un seguit de paràmetres coneguts: relacions de mobilitat, intensitats de fluxos, repartiment modal, temps de viatge, hores perdudes, costos externs de la mobilitat, etc.

En aquest context, el plantejament d'una determinada actuació infraestructural i/o de millora de servei de la mobilitat suposa alterar els paràmetres anteriors mitjançant una prognosi que haurà de sospesar:

- El cost de nova inversió.
- Cost de manteniment de la mateixa.
- El canvi modal que implicarà.
- La inducció de nova mobilitat.
- Els estalvis pels viatgers directament implicats quant a cost, temps de desplaçament, reducció de la congestió, etc.
- La reducció dels costos externs pel conjunt de la societat.
- Altres paràmetres.

### 9.1. Complexitat de l'avaluació cost-benefici aplicada a les mesures previstes a l'informe i limitacions a l'anàlisi

La característica principal és que tots aquests paràmetres són, o bé coneguts, o bé s'utilitzen eines per tal d'estimar-los, podent considerar una forquilla per a diferents valors i apreciar la variabilitat del resultat en funció de com ho fan els diferents factors. En general, però, es pot considerar que la situació es troba acotada a l'anàlisi d'una realitat i la seva transformació mitjançant una actuació concreta.

En el cas del present treball concorren diferents casuístiques, com poden ser:

- Una situació de partida que es pot considerar estable, amb un sistema de mobilitat format per diferents elements que compleixen una determinada funcionalitat, que de sobte pateix una afectació de magnitud imprevisible que introdueix en el sistema unes disfuncions també imprevisibles amb uns costos temporals per fer front a la incidència (inversions, alternatives, etc.) durant un període de temps indeterminat i, finalment, un cost de reposició de la infraestructura malmesa.
- Una situació existent d'inconfort per part de l'usuari(a), consistent en exposició a temperatures elevades, radiació solar directa, etc. –normalment durant el temps d'espera o de pausa en un desplaçament– que el viatger captiu no deixa de fer per aquests motius, però que pot comportar la pèrdua d'algun viatger no captiu. Aquesta situació es pot millorar mitjançant una inversió en elements fixos i/o de gestió de les condicions ambientals.
- Una situació coneguda d'exposició de vehicles a la radiació solar estant aturats a les cotxeres. Per exemple una platja de vies d'un sistema ferroviari totalment exposada a la insolació directa, en la qual es mantenen els sistemes d'aire condicionat dels vehicles activats per evitar un sobreescalfament del seu interior. Això provoca un consum elèctric que es tradueix en cost i en impacte ambiental. La consideració d'una inversió, que es podria anomenar com a correctiva per tal de minimitzar aquesta insolació directa, permetria avaluar-ne el cost-benefici a partir d'una estimació del seu cost i la reducció d'alguns dels efectes que es produeixen en la situació actual (consums elèctrics, emissions, durabilitat, etc.).

Existeixen, doncs, diferents situacions a les quals fer front per tal de mitigar la vulnerabilitat als efectes del canvi climàtic –amb una determinada informació de partida sobre realitats i/o efectes coneguts i quantificables en diferent grau– però d'altres d'imprecisos o difícilment quantificables, una afectació potencial d'efectes desconeguts i per tant d'impacte incert i un cost d'actuació i/o de restitució que cal estimar. En altres casos, com en el tercer indicat, la informació assolible pot ser més assimilable a la realitat.

## 9.2. Apunts metodològics per a una aplicació simplificada del SAIT

Per tal de plantejar l'enfocament de l'anàlisi cost-benefici, s'ha fet un exercici d'identificació dels diferents paràmetres que caldria considerar en funció de la casuística –a partir dels que contempla la darrera versió del SAIT (2020)–, pels quals caldria obtenir-ne magnituds estimades, valors de referència, etc. Els paràmetres s'han agrupat en les categories següents:

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:

- Costos de manteniment
- Costos d'inversió

Sobre el cost de l'actuació, intervenir abans que la infraestructura col·lapsi pot ser d'una magnitud totalment diferent a què hagi quedat inutilitzada, per tant hi hauria dos possibles costos a calcular: la millora de la infraestructura i la seva construcció de bell nou.

A continuació es mostra quina podria ser l'estructura de recopilació de les dades, formada per camps funció de paràmetres a estimar i d'altres corresponents a valors que ja es poden estar aplicant en altres formulacions (aquí apareixen a títol indicatiu).

Figura 9.1. 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>               |             | valor utilitzat      |             |
| TOTAL PASSATGERS VEHICLE PRIVAT                                 | 0           |                      | 1,3         |
| <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  |             |                      |             |
| cost mort €/persona   |             | valor utilitzat      |             |
| cost ferit greu €/persona                                       | 2.964.074 € |                      | 2.964.074 € |
| cost ferit lleu €/persona                                       | 322.138 €   |                      | 322.138 €   |
|   | 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>                            |             |                      |             |
| cost hora passatger vehicle lleuger €/hora                      |             | valor utilitzat      |             |
| cost hora mercaderia carretera €/hora                           |             |                      | 10 €        |
| cost hora usuari transport públic €/hora                        |             |                      | 18 €        |
|   |             |                      | 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 minuts-passatger/dia |            |
| nombre d'usuaris afectats passatgers                 |            |
| dies d'afectació dies/any                            |            |
| temps considerat anys                                |            |
| cost hora €/hora                                     |            |
| subtotal   | <b>0 €</b> |
| <b>Situacions correctives</b>                        |            |
| consums energètics consum/dia                        |            |
| dies d'afectació dies/any                            |            |
| cost energètic unitari €                             |            |
| costos econòmics €                                   | <b>0 €</b> |
| costos ambientals €                                  |            |
| subtotal   | <b>0 €</b> |
| <b>COST ALTRES AFECTACIONS</b>                       | <b>0 €</b> |
| <b>TOTAL COSTOS NO INTERVENCIÓ</b>                   |            |
|  | <b>0 €</b> |

**COSTOS DE L'ACTUACIÓ:**

|  |            |
|--|------------|
| <b>Costos de manteniment</b>   |            |
| Costos per increment del dispositiu de manteniment €/dia                         |            |
| dies d'afectació dies/any  |            |
| 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.



### 9.3. Aplicació de la metodologia SAIT simplificada en tres casos pràctics

A títol il·lustratiu, s'han cercat tres casos reals recents que serveixen d'exemple sobre com abordar els càlculs d'anàlisi cost-benefici en funció de les dades disponibles en cada cas.

#### Cas 1. Tall de la línia R1 de Rodalies entre Malgrat de Mar i Blanes per l'enfonsament del pont del riu Tordera (gener de 2020)

Arran de l'episodi del temporal Glòria, es va enfonsar el pont de ferrocarril de la línia R1 sobre la Tordera entre Malgrat i Blanes. La informació que s'ha pogut obtenir fins ara de l'episodi és la següent:

- El tram afectat es preveu que estigui refet al cap d'aproximadament un any de la seva interrupció (la declaració d'estat d'alarma per l'episodi de la COVID-19 n'allargarà el termini d'execució però, alhora, en reduir-se la mobilitat l'afectació també serà menor).
- L'obra nova està valorada en 8,5 M€.
- El nombre d'usuari(e)s que abans agafaven el ferrocarril era de 4.400 al dia.
- Hi ha un servei substitutori per carretera amb autocars cada 10 minuts, que agafen uns 2.000 viatgers als dia (la meitat que els que utilitzaven el ferrocarril).

A partir d'aquesta informació s'ha estimat un ordre de magnitud del cost del servei substitutori i un increment de temps de desplaçament de 30 minuts. S'ha considerat que l'afectació és pels 4.400 viatgers que utilitzaven el ferrocarril, tot i que la meitat hagin canviat de mode o no facin el desplaçament.

Tant per l'oferta com per la demanda s'ha aplicat un factor de 275 dies equivalents-any per passar a anuals les dades calculades per un dia feiner tipus.

S'ha contactat amb ADIF per si disposaven de la quantificació econòmica d'altres costos al respecte per danys materials, però se'ns ha dit que no es trobaven en disposició de donar-nos aquestes dades. En conseqüència es fa la simplificació de considerar que el cost del pont és el mateix que si s'hagués refet en condicions normals.

Amb aquests supòsits, s'obtenen, per aquest cas concret, els costos següents:

- Costos de no intervenció: 15,9 M€
- Costos de l'actuació: 8,5 M€

No s'ha comptat que en el cas de la intervenció en condicions normals s'haguessin produït igualment costos per interrupció temporal del servei.

A partir d'aquestes estimacions, es constata que els costos de no intervenció representen aproximadament el doble dels costos d'actuació si aquesta s'efectués de manera preventiva.

Figura 9.2. Cas pràctic de l'enfonsament del pont ferroviari de la Tordera (gener de 2020).

| COSTOS DE NO INTERVENCIÓ:  |                    | Valors de referència |
|--|--------------------|----------------------|
| <b>PARÀMETRES GENERALS DE DEMANDA</b>  |                    |                      |
| <b>transport públic</b>  |                    |                      |
| viatgers afectats línies regulars autobús <i>passatgers/dia</i>                  |                    |                      |
| viatgers afectats ferrocarril <i>passatgers/dia</i>                              | 4.400              |                      |
| <b>INCREMENT TEMPS DE VIATGE</b>   |                    |                      |
| línies regulars d'autobús <i>minuts-autobús/dia</i>                              |                    |                      |
| ferrocarril <i>minuts-tren/dia</i>   | 30                 |                      |
| dies d'afectació <i>dies/any</i>   |                    |                      |
| dies equivalents-any <i>dies/any</i>   | 275                |                      |
| cost hora usuari transport públic €/hora   | 10 €               | 10 €                 |
| cost línies regulars autobús   | 0 €                |                      |
| cost ferrocarril   | 6.050.000 €        |                      |
| <b>COST PER INCREMENT TEMPS DE VIATGE</b>  | <b>6.050.000 €</b> |                      |
| <b>ALTERNATIVA PROVISIONAL</b>   |                    |                      |
| Cost inversió mesura provisional €   |                    |                      |
| vida útil anys   |                    | 25                   |
| Cost del dispositiu €/dia  | 5.000 €            |                      |
| <b>COST ALTERNATIVA PROVISIONAL</b>  | <b>1.375.000 €</b> |                      |
| <b>REPOSICIÓ INFRAESTRUCTURA</b>   |                    |                      |
| Danys materials inicials €   |                    |                      |
| Cost inversió reposició €  | 8.500.000 €        |                      |
| vida útil anys   |                    | 25                   |
| <b>COST REPOSICIÓ INFRAESTRUCTURA</b>  | <b>8.500.000 €</b> |                      |
| <b>TOTAL COSTOS NO INTERVENCIÓ</b>   |                    | <b>15.925.000 €</b>  |
| <b>COSTOS DE L'ACTUACIÓ:</b>   |                    |                      |
| <b>Costos d'inversió</b>   |                    |                      |
| Cost d'inversió per l'anticipació de l'actuació abans que tingui cap afectació € | 8.500.000 €        |                      |
| vida útil anys   |                    | 25                   |
| <b>COSTOS D'INVERSIÓ</b>   | <b>8.500.000 €</b> |                      |
| <b>TOTAL COSTOS DE L'ACTUACIÓ</b>  |                    | <b>8.500.000 €</b>   |

Font: elaboració pròpia.

**Cas 2. Tall de la carretera GI-6831 entre Malgrat de Mar i Blanes per l'enfonsament del pont del riu Tordera (gener de 2020)**

El mateix episodi del temporal Glòria va ensorrar el pont de carretera situat a 30 metres aigües avall del de ferrocarril. La informació que s'ha pogut recopilar en aquest cas és la següent:

- El tram afectat es preveu que estigui refet al cap d'aproximadament un any de la seva interrupció (la declaració d'estat d'alarma per l'episodi de la COVID-19 n'allargarà el termini d'execució, però alhora en reduir-se la mobilitat l'afectació també serà menor).
- L'obra nova està valorada en 5,3 M€. Aquest cost s'ha trobat tant pel projecte que ja hi havia de construir de bell nou el pont abans de l'episodi succeït segons una actualització del 2015 del projecte constructiu del 2008, com el cost que s'ha donat després de l'esdeveniment que ha causat la interrupció de la carretera.
- La IMD que s'ha publicat és de 8.000 vehicles/dia, i s'ha considerat una ocupació d'1,2 passatgers/vehicle.
- Es considera un volum de pesants del 5%, a partir de dades d'estacions d'aforament de la zona.
- Es considera que el transport privat que passava per aquesta carretera utilitza durant el tall la B/GI-682.
- No s'ha estimat costos de demora pels usuari(s) del transport públic, atès que les línies regulars circulen per la carretera paral·lela B/GI-682.

En ser la dada de referència una IMD, és a dir una mitjana diària del trànsit, s'ha considerat la seva aplicació sobre un any sencer.

Amb aquests supòsits s'obtenen, per aquest cas concret, els costos següents:

- Costos de no intervenció: 14,3 M€
- Costos de l'actuació: 5,3 M€

No s'ha comptat que en el cas de la intervenció en condicions normals s'haguessin produït igualment costos per interrupció temporal del servei.

A partir d'aquestes estimacions, es constata que els costos de no intervenció són de l'ordre de dues vegades i mitja superiors als costos dels costos de l'actuació si aquesta s'efectués de manera preventiva.

Figura 9.3. Cas pràctic de l'enfonsament del pont viari de la Tordera (gener de 2020).

| COSTOS DE NO INTERVENCIÓ:  |                    | Valors de referència |  |
|--|--------------------|----------------------|--|
| <b>PARÀMETRES GENERALS DE DEMANDA</b>  |                    |                      |  |
| <b>vehicle privat</b>  |                    |                      |  |
| IMD veh/dia  | 8.000              |                      |  |
| vehicles pesats %  | 5%                 |                      |  |
| valor utilitzat  |                    |                      |  |
| ocupació vehicle privat passatgers/vehicle                                       | 1,2                | 1,3                  |  |
| <b>TOTAL PASSATGERS VEHICLE PRIVAT</b>   | <b>9.120</b>       |                      |  |
| <b>INCREMENT TEMPS DE VIATGE PER L'AFECTACIÓ</b>                                 |                    |                      |  |
| vehicles lleugers minuts-vehicle/dia   | 15                 |                      |  |
| vehicles pesants minuts-vehicle/dia  | 15                 |                      |  |
| línies regulars d'autobús minuts-autobús/dia                                     |                    |                      |  |
| ferrocarril minuts-tren/dia  | 15                 |                      |  |
| dies d'afectació dies/any  |                    |                      |  |
| dies equivalents-any dies/any  | 365                |                      |  |
| valor utilitzat  |                    |                      |  |
| cost hora passatger vehicle lleuger €/hora                                       | 10 €               | 10 €                 |  |
| cost hora mercaderia carretera €/hora  | 18 €               | 18 €                 |  |
| cost hora usuari transport públic €/hora   | 10 €               | 10 €                 |  |
| cost vehicle lleuger   | 8.322.000 €        |                      |  |
| cost vehicle pesant  | 657.000 €          |                      |  |
| <b>COST PER INCREMENT TEMPS DE VIATGE</b>  | <b>8.979.000 €</b> |                      |  |
| <b>REPOSICIÓ INFRAESTRUCTURA</b>   |                    |                      |  |
| Danys materials inicials €   |                    |                      |  |
| Cost inversió reposició €  | 5.300.000 €        |                      |  |
| vida útil anys   |                    | 25                   |  |
| <b>COST REPOSICIÓ INFRAESTRUCTURA</b>  | <b>5.300.000 €</b> |                      |  |
| <b>TOTAL COSTOS NO INTERVENCIÓ</b>   |                    | <b>14.279.000 €</b>  |  |
| <b>COSTOS DE L'ACTUACIÓ:</b>   |                    |                      |  |
| <b>Costos d'inversió</b>   |                    |                      |  |
| Cost d'inversió per l'anticipació de l'actuació abans que tingui cap afectació € | 5.300.000 €        |                      |  |
| vida útil anys   |                    | 25                   |  |
| <b>COSTOS D'INVERSIÓ</b>   | <b>5.300.000 €</b> |                      |  |
| <b>TOTAL COSTOS DE L'ACTUACIÓ</b>  |                    | <b>5.300.000 €</b>   |  |

Font: elaboració pròpia.

### Cas 3. Descarrilament d'un tren de la R4 a Vacarisses (novembre de 2018)

El descarrilament va ser degut a una esllavissada causada per un episodi de fortes pluges.

L'accident es va saldar amb:

- Una persona morta, 5 de ferides greus i 44 de lleus.
- Quatre dies d'interrupció total del servei entre Terrassa i Manresa, amb servei substitutori per carretera.
- 4.000 passatgers diaris afectats.
- Un mes addicional de circulació per una única via, que suposava l'increment de temps de recorregut de fins a 15 minuts, i menor oferta de circulacions. Tanmateix el dia de l'esllavissada els retards van afectar tota la línia R4, podent superar els 30 minuts.
- 450 m<sup>3</sup> de materials caiguts a la via.
- Els danys materials a la via es van traduir en les feines següents:
  - Substitució de 80 travesses
  - Substitució de 54 metres de carril
  - Anivellament d'un tram de 200 metres afectats per la caiguda de roques
  - Reposició d'un pal de la catenària

Recursos esmerçats per la reparació dels danys a la via:

- Mobilització d'un tren taller, maquinària específica de via i electrificació, a més d'excavadores, retroexcavadores, dúmpers i maquinària lleugera.
- Equip humà d'ADIF, format per una vintena de tècnics especialitzats per torn treballant les 24 hores del dia, a més d'efectius de Circulació i Seguretat.
- Renfe va desplaçar un total de 25 tècnics per treballar a les tasques de desballestament i encarrilament del tren.

Recursos esmerçats en el servei alternatiu durant els 4 dies d'interrupció total de la línia:

- Dispositiu especial entre Terrassa i Manresa amb 15 autobusos i 20 persones d'informació i atenció al client distribuïdes a les estacions afectades.

Actuació recent:

- En aquest punt s'havien fet importants obres de tractament i consolidació durant l'any 2017, que van consistir en el desbrossat, neteja, consolidació dels materials, col·locació de barreres estàtiques i dinàmiques i de malla protectora i canalitzacions, entre altres treballs.
- L'import total fou de 2 milions d'euros.

- Tanmateix el lloc del despreniment era un punt "singular" per l'alçada, sistema constructiu i antiguitat del talús, sotmès a un pla de vigilància específic.

Es disposa, doncs, d'abundant informació sobre l'esdeveniment, però falta estimar determinats costos (danys materials, efectius mobilitzats, intervenció definitiva, etc.)<sup>7</sup>.

En tot cas s'ha estimat un ordre de magnitud del cost del servei substitutori pels 4 dies que va durar el tall total de la via, afectant els aproximadament 4.000 viatgers diaris del ferrocarril.

Després hi ha una afectació durant un mes addicional que suposa igualment un retard en els usuaris, establert igualment en uns 15 minuts, sense comptar una menor oferta d'expedicions que condicionen els horaris dels usuaris.

Amb aquests supòsits s'obtenen, per aquest cas concret, els costos següents:

- Costos de no intervenció: 8 M€, sense comptar els costos de reposició de la infraestructura ferroviària.
- Costos de l'actuació: 2 M€, considerant el mateix cost d'una actuació recent efectuada en aquesta zona, que és el mateix que es considera dins els costos de no intervenció.

A partir de les estimacions realitzades, els costos de no intervenció són de l'ordre de quatre vegades els costos de l'actuació si aquesta s'efectués de manera preventiva.

---

<sup>7</sup> S'ha contactat amb ADIF per intentar disposar d'una quantificació econòmica precisa de la restitució del servei (l'actuació inicial de retirar el material caigut a la via, el condicionament de la infraestructura i l'electrificació, i l'actuació sobre el terreny), per bé que l'administrador de la infraestructura ha informat que no es trobava en disposició de concretar aquestes dades.

Figura 9.4. Cas pràctic del descarrilament d'un tren de la R4 a Vacarisses (novembre 2018).

**COSTOS DE NO INTERVENCIÓ:**

|   | Valors de referència |                          |
|---|----------------------|--------------------------|
| <b>PARÀMETRES GENERALS DE DEMANDA</b>                           |                      |                          |
| <b>transport públic</b>   |                      |                          |
| viatgers afectats línies regulars autobús <i>passatgers/dia</i> |                      |                          |
| viatgers afectats ferrocarril <i>passatgers/dia</i>             | 4.000                |                          |
| <b>AFECTACIÓ EN VIDES HUMANES</b>                               |                      |                          |
| <i>nombre de morts</i>  | 1                    |                          |
| <i>nombre de ferits greus</i>                                   | 5                    |                          |
| <i>nombre de ferits lleus</i>                                   | 44                   |                          |
|   | 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>5.674.115 €</b>   |                          |
| <b>INCREMENT TEMPS DE VIATGE</b>                                |                      |                          |
| línies regulars d'autobús <i>minuts-autobús/dia</i>             |                      |                          |
| ferrocarril <i>minuts-tren/dia</i>                              | 15                   |                          |
|   | 4                    | tall del servei          |
| <i>dies d'afectació dies/any</i>                                | 33                   | afectació als usuaris    |
|   | valor utilitzat      |                          |
| cost hora passatger vehicle lleuger €/hora                      | 10 €                 | 10 €                     |
| cost hora mercaderia carretera €/hora                           | 18 €                 | 18 €                     |
| cost hora usuari transport públic €/hora                        | 10 €                 | 10 €                     |
| cost vehicle lleuger  | 0 €                  |                          |
| cost vehicle pesant   | 0 €                  |                          |
| cost línies regulars autobús                                    | 0 €                  |                          |
| cost ferrocarril  | 330.000 €            |                          |
| <b>COST PER INCREMENT TEMPS DE VIATGE</b>                       | <b>330.000 €</b>     |                          |
| <b>ALTERNATIVA PROVISIONAL</b>                                  |                      |                          |
| Cost inversió mesura provisional €                              |                      |                          |
| <i>vida útil anys</i>   |                      | 25                       |
| Cost del dispositiu €/dia                                       | 20.000 €             |                          |
| <b>COST ALTERNATIVA PROVISIONAL</b>                             | <b>80.000 €</b>      |                          |
| <b>REPOSICIÓ INFRAESTRUCTURA</b>                                |                      |                          |
| Danys materials inicials €                                      |                      | per determinar           |
| Cost inversió reposició €                                       | 2.000.000 €          | cost intervenció recent  |
| <i>vida útil anys</i>   |                      | 25                       |
| <b>COST REPOSICIÓ INFRAESTRUCTURA</b>                           | <b>2.000.000 €</b>   |                          |
| <b>TOTAL COSTOS NO INTERVENCIÓ</b>                              | <b>8.084.115 €</b>   | + costos danys materials |

**COSTOS DE L'ACTUACIÓ:**

|  |                    |    |
|--|--------------------|----|
| <b>Costos de manteniment</b>   |                    |    |
| Costos per increment del dispositiu de manteniment €/dia                         |                    |    |
| <i>dies d'afectació dies/any</i>   |                    |    |
| <i>temps considerat anys</i>   |                    |    |
| <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 € | 2.000.000 €        |    |
| <i>vida útil anys</i>  |                    | 25 |
| <b>COSTOS D'INVERSIÓ</b>   | <b>2.000.000 €</b> |    |
| <b>TOTAL COSTOS DE L'ACTUACIÓ</b>  | <b>2.000.000 €</b> |    |

Font: elaboració pròpia.



## 9.4. Consideracions a l'entorn dels costos de no actuació

A partir de les estimacions efectuades pels tres casos pràctics analitzats en l'apartat anterior, 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*.

El ventall d'aquests costos, en particular per episodis d'afectació important de la infraestructura, és força ampli respecte dels costos d'efectuar l'actuació de manera preventiva i està condicionat, sobretot, per variables com l'existència de víctimes o la durada temporal del període d'afectació i l'alteració consegüent de la mobilitat que comporta.

D'altra banda, la inversió en una actuació o intervenció preventiva –tot i els costos de manteniment incrementals que pugui tenir associada respecte la situació actual– 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.

En aquest sentit, hauria de ser prioritària l'actuació en infraestructures en les que s'és conscient del seu estat precari i on existeix major probabilitat que es produeixen esdeveniments climàtics que les afectin (vegeu 9.5. *Criteris per a la priorització de mesures d'adaptació*).

Cal remarcar que la no aplicació de mesures preventives orientades a incrementar la resiliència del sistema de mobilitat comporta, al capdavant, un risc incrementat de patir alteracions o interrupcions de la mobilitat amb costos potencials associats de diversa índole:

- Costos directes:
  - Despeses de reparació, reposició o substitució d'elements, parc mòbil o trams afectats (incloent recursos materials i humans necessaris).
  - Despeses vinculades a l'establiment d'un servei alternatiu de transport, en el cas que sigui possible (per exemple, un servei alternatiu en autobús en cas d'interrupció del servei ferroviari) o a l'arranjament d'una via alternativa d'ús temporal (per exemple d'una pista forestal en cas d'una esllavissada que hagi afectat la via principal asfaltada).
  - Eventuals indemnitzacions a víctimes directes de la incidència (mortals o ferits en diferent grau).
  - Costos addicionals associats a increments en l'ús de combustible i a l'aire condicionat, en vehicles o combois aturats, movent-se a baixa velocitat o en zones congestionades.

- Costos indirectes (externalitats), de caràcter temporal mentre duri l'afectació:
  - Increment del temps de desplaçament i/o de congestió de passatgers/usuari(e)s.
  - Sobrecàrrega de vies o serveis alternatius, habitualment no saturats.
  - Aïllament de parts del territori, amb potencial afectació de l'activitat socioeconòmica associada.
  - Immobilització de mercaderies, amb diversos tipus d'efectes potencials: alteració del subministrament de matèries primeres o productes de diversa índole, pèrdua de productes peribles (com els aliments frescos), incompliment de terminis dels proveïdors envers els clients, etc.
  - Dificultat d'accés de serveis d'emergència (bombers, ambulàncies, protecció civil, etc.) a zones amb vies tallades.
  - Augment de l'accidentalitat pels condicionants imposats per la situació (com ara calçades habilitades més estretes de l'habitual, senyalització insuficient de la incidència, vies alternatives poc conegudes pels usuari(e)s, etc.).
  - Increment del desconfort d'usuari(e)s i treballador(e)s, per exemple per aturada d'un vehicle o comboi durant un cert període de temps a ple sol o per fallada dels sistemes de climatització, situacions que poden arribar a comportar indisposicions que requereixen atenció mèdica (cops de calor, deshidratacions, desmaís, etc.).
  - Augment de queixes, associades a una pèrdua de qualitat del servei o al seu funcionament en condicions no òptimes.
  - Increment d'impactes ambientals, per exemple en relació amb l'emissió de contaminants atmosfèrics locals (òxids de nitrogen i partícules) en cas de substitució d'un servei ferroviari per un discrecional fet amb autobús dièsel.

Aquesta extensa relació de costos directes i indirectes –alguns dels quals inclosos en la valoració cost-benefici exposada a l'apartat precedent– faria pensar que l'establiment 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, a l'igual que passa amb els altres riscos esmentats, la consideració dels escenaris més desfavorables *per se*, sense contemplar aspectes com la probabilitat d'ocurrència o la magnitud de l'afectació, comportaria un sobredimensionament de totes les infraestructures –no només de les viàries i ferroviàries– inviable a la pràctica des del punt de vista econòmic, per bé que no pas tecnològic.

En el cas específic dels riscos vinculats al canvi climàtic (riscos climàtics, en general), a la incertesa sovint associada a la probabilitat d'ocurrència a una escala molt local s'hi afegeix la dificultat de valorar la

magnitud del dany associat, atès que en pocs casos es pot establir una correlació clara entre la magnitud del fenomen i el dany potencial. Això és així, fins i tot en el cas de l'increment de temperatura, paràmetre respecte el qual tots els models climàtics mostren una tendència clara a l'alça. Malgrat tot, aquest coneixement no és suficient per avaluar el dany potencial sobre la infraestructura, pel fet que no hi ha una relació causa-efecte quantificable fàcilment amb les eines disponibles. Un exemple, en aquest sentit és la dificultat de donar resposta a la pregunta següent durant quant de temps ha d'estar exposat un ferm de carretera o els rails del tren a una determinada temperatura ambient per a que aquests elements se sobreescalfin fins al punt que es produeixi un dany sobre la infraestructura?

Aquestes reflexions posen de relleu la importància de treballar també en les mesures orientades a la gestió eficient del risc –com les eines de *nowcasting* o *early warning* (vegeu 7.12. *Millorar la capacitat predictiva a molt curt termini d'incidències climàtiques*)– com a estratègia de base indispensable a la que s'han d'afegir les mesures –infraestructurals, operatives o de manteniment– orientades a incrementar la resiliència *per se* de determinats trams d'infraestructura o serveis de mobilitat.

En definitiva, les consideracions exposades –a banda de la complexitat inherent al càlcul de bona part de les externalitats potencials indicades– evidencien la necessitat de prioritzar l'aplicació de mesures d'adaptació, atenent a d'altres criteris més enllà dels costos de no aplicació, tal i com es desenvolupa a l'apartat següent.

## 9.5. Criteris per la prioritització de les mesures d'adaptació

El plantejament de criteris per la prioritització de mesures d'adaptació als efectes del canvi climàtic hauria de combinar diversos factors, com poden ser:

- Una relació de punts vulnerables, clarament identificats per incidències ja documentades: per exemple línia R1 de Rodalies al Maresme.
- Punts on, encara que no constin incidències rellevants, es trobin molt exposats a determinats riscos: per exemple, trams d'infraestructures localitzats en zones de flux preferent.
- Punts que, sense conèixer-ne la vulnerabilitat o exposició de manera precisa, presentarien una bona relació cost/benefici en l'aplicació de mesures d'adaptació atenent a un o més d'aquests factors en cas d'afectació:
  - Alteració del servei per un període prolongat de temps: per exemple el cas dels ponts viaris i ferroviaris de la Tordera.
  - Afectació a un nombre important de desplaçaments quotidians (a partir d'IMD, viatgers transportats, etc.).
  - Absència d'alternatives de mobilitat (és a dir, casos on tot el flux de mobilitat pivoti sobre una única infraestructura).
- Estat de conservació i criteris de disseny original d'una infraestructura en concret que, de manera complementària als criteris anteriors, mostri un elevat risc de col·lapse envers determinats episodis.

Un criteri merament quantitatiu (mobilitat afectada) pot afavorir un enfocament de la zona central de l'àmbit SIMMB en la prioritització de mesures d'adaptació, per la qual cosa no s'ha de menystenir aquells altres que posin en valor la interrupció de l'efecte xarxa de mobilitat en el territori, per tant un potencial aïllament d'alguna zona.

En aquest sentit també hi podria haver una altra línia en la prioritització de mesures d'adaptació consistent a diferenciar tres tipologies principals en funció dels seus efectes pràctics:

- Mesures que poden garantir la mobilitat en cas d'incidència derivada d'un risc molt probable i directe (per exemple protecció de talussos o increment de la capacitat de drenatge).
- Mesures que poden contribuir a garantir la mobilitat en cas d'incidència derivada d'un risc menys probable o més incert, però que no són necessàriament essencials (per exemple l'esquerdat de l'asfalt per elevades temperatures).
- Mesures relacionades amb el confort dels passatgers, la no aplicació de les quals pot causar disfuncions (o un increment en la despesa energètica per climatització) però no la interrupció del servei.

## 10. 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. Aquesta col·laboració ha de permetre, entre d'altres aspectes:

- Una millora en la detecció precoç d'eventuals situacions de risc o de vulnerabilitat.
- Una millor coordinació per optimitzar la gestió abans, durant i després d'una determinada incidència o situació d'emergència que afecti més d'una infraestructura, de manera simultània o derivada.
- L'establiment d'un registre homogeneïtzat d'incidències derivades d'episodis climàtics que faciliti l'anàlisi posterior per àrea geogràfica, tipus d'esdeveniment o d'infraestructura, etc. Aquest registre ha de concretar-se en un SIG que disposi d'una base cartogràfica potent sobre l'estat i característiques constructives de la xarxa d'infraestructures, per tal de reforçar la capacitat d'anàlisi i la identificació de punts o trams crítics.
- L'establiment de sinèrgies i d'economies d'escala per dur a terme actuacions preventives conjuntes que poden beneficiar més d'un operador, com ara la construcció d'una bassa de laminació en una ubicació estratègica.

Els principals agents implicats a considerar són els següents:

- 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

L'ATM –que té entre les seves funcions la planificació d'infraestructures i serveis a l'àmbit SIMMB i la relació amb operadors de transport col·lectiu– 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.

En aquest sentit, els instrument de planificació de l'ATM constitueixen una eina útil per incorporar l'adaptació al canvi climàtic en les previsions i inversions relatives a la mobilitat. Un exemple d'aquesta orientació és la incorporació en el nou Pla director d'infraestructures (pdl) 2021-2030 d'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, gairebé, 250 M€.

La inclusió al pdl d'aquesta mesura facilita que estigui incorporada en la planificació dels diferents operadors i gestors implicats en els modes ferroviaris i en els serveis d'autobús i que sigui objecte d'un seguiment específic en el marc del pdl. Al seu torn, la revisió i actualització periòdica del pdl amb caràcter decennal permetrà la valoració dels progressos assolits, l'actualització d'actuació i, si s'escau, la incorporació de noves per adaptar-se a situacions o contextos no previstos en l'actualitat.

De manera anàloga al pdl, el Pla director de Mobilitat (pdM) –que es revisa cada 6 anys– es susceptible d'incorporar un eix i/o una o més mesures específiques orientades a potenciar l'adopció de mesures de gestió –operacionals, de manteniment– que afavoreixin la resiliència, més enllà de les estrictament infraestructurals. Atès que, s'acaba d'aprovar el pdM 2020-2025 –sense referències explícites a l'adaptació al canvi climàtic– aquestes qüestions es podrien incorporar en el proper pdM.

A mode de síntesi de les accions proposades i la seva temporalització, la taula següent indica, per cadascuna de les 24 accions, el període considerat per a la seva implantació, d'acord amb les categories establertes en les fitxes (vegeu 7. *Fitxes de les actuacions*). Aquestes categories contemplen tres períodes: curt termini (1-3 anys), mitjà termini (4-8 anys) i llarg termini (> 8 anys).

La taula permet constatar que:



- En obra existent, el gruix de les accions no infraestructurals es preveu que s'iniciïn a curt termini, mentre que les de caire més infraestructural –en particular si són d'elevada envergadura com actuacions sobre obres de drenatge, talussos protecció de la R1 al Maresme– es contemplen a mitjà i llarg terminis. D'aquesta manera es disposa d'un marge per realitzar estudis de detall previs que permetin concretar i prioritzar els punts sobre els quals intervenir.
- Totes les accions que són d'aplicació a obra nova s'assignen a un termini curt d'implementació. Això implica que els nous projectes d'infraestructura que es redactin a partir d'ara ja han d'incorporar la resiliència com un paràmetre més de disseny.

Més enllà dels terminis indicats, diverses accions, una vegada implementades per primera vegada s'han de mantenir i consolidar al llarg del temps. Aquesta situació és particularment evident en accions vinculades a manteniment i monitoratge com ara l'1B, la 4C, la 6B, l'11A, la 13A, la 14A i la 15A.

Taula 10.1. 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 pdl |
|------|--|-----------------|---|-------------------------|-------------------------|---|-----------------|---|------------------------------------|
|      |  |                 |   |                         | 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 desmuntats 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, rails 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.   |                                    |
| 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.  |                 |   |                                    |

| 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)  |   |                                    |
| 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'early warning 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.

## ANNEX 1. ESCENARIS CLIMÀTICS A L'ÀMBIT SIMMB



Tal i com s'ha exposat (vegeu 1.1. *Cinquè informe de l'IPCC*), l'IPCC dedica grans esforços a l'elaboració de projeccions climàtiques. 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 els apartats següents s'exposen 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 (vegeu Annex 4. Cartografia climàtica i de riscos) –atès el seu abast, grau d'actualització i resolució territorial– són els dos següents:

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

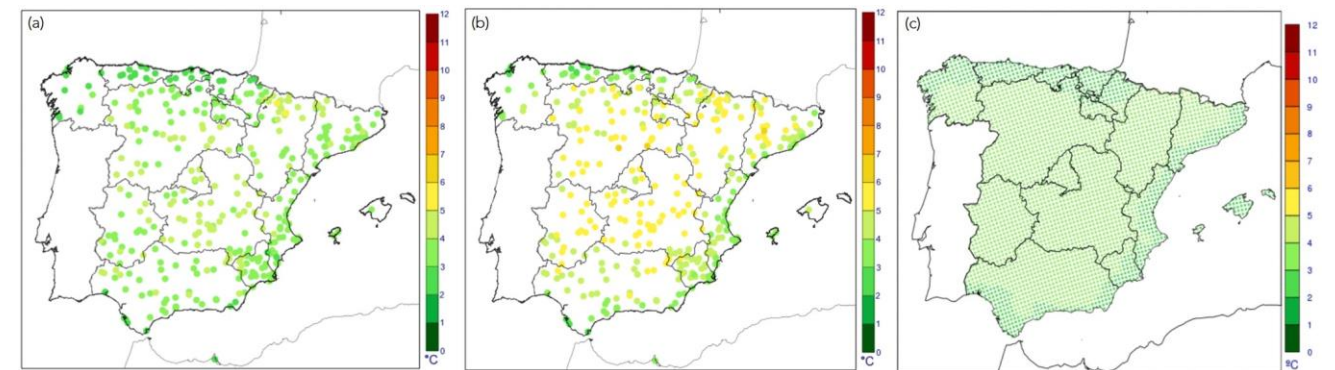
## 1. Projectes desenvolupats per l'AEMET

L'AEMET disposa d'una sèrie de mapes de projeccions regionalitzades basades en l'informe AR5 de l'IPCC. Per tal de regionalitzar les projeccions a partir de models climàtics globals, l'AEMET utilitza tres tècniques diferents classificades en dues categories: les estadístiques i les dinàmiques. Les tècniques estadístiques relacionen les dades a gran escala dels models climàtics globals amb dades climàtiques a escala local o regional. Aquestes, poden obtenir-se a partir d'algorismes empírics basats en anàlegs i de regressió lineal. D'altra banda, les tècniques dinàmiques s'obtenen de niar models climàtics regionals en models climàtics globals.

Amb aquestes tècniques s'han obtingut resultats per a dos horitzons temporals diferents: el 2046-2065 i el 2081-2100, considerant valors mitjans anuals i estacionals. No obstant, mentre que les tècniques estadístiques consideren tres escenaris climàtics –RCP4,5, RCP6,0 i RCP8,5–, la tècnica de regionalització dinàmica només té en compte els escenaris RCP4,5 i RCP8,5. Aquesta última, però, analitza variables climàtiques que les altres tècniques no avaluen. En concret la velocitat del vent a 10 m, la ratxa màxima diària del vent a 10 m, l'escorrenia, la nuvolositat i l'evapotranspiració real.

Les variables de temperatura màxima i mínima, i la precipitació futura, per contra, sí que ha estat projectades per totes les tècniques de regionalització. Tot i així, com es pot veure a la següent figura, els resultats de les projeccions mostren algunes diferències entre elles, més o menys significatives depenent del cas.

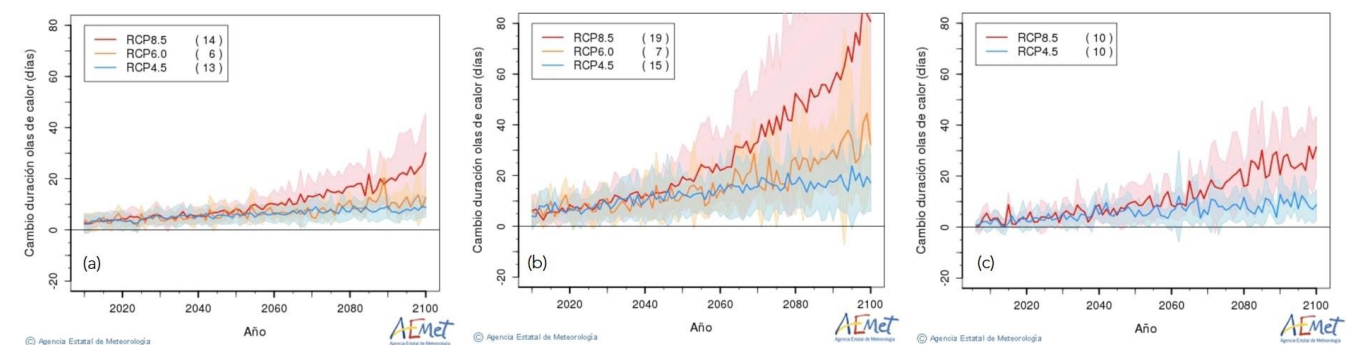
Figura 1.1. Comparació de les projeccions de la variació en la temperatura màxima a l'estiu pel període 2046-2065 considerant l'escenari climàtic RCP8,5. Tècnica emprada (a) Regionalització estadística per anàlegs; (b) Regionalització estadística per regressió lineal; (c) Regionalització dinàmica.



Font: AEMET ([http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat/result\\_graficos](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos)).

A banda dels mapes de projeccions, l'AEMET també elabora gràfics d'evolució relacionats amb les variables projectades. En aquest cas i a diferència dels mapes de projeccions, l'escala no és només peninsular sinó que també autonòmica i/o provincial. A la figura adjuntada a continuació se n'exposa un exemple per la província de Barcelona: com es pot observar, els resultats dels gràfics també difereixen en funció de la tècnica utilitzada per a regionalitzar la informació.

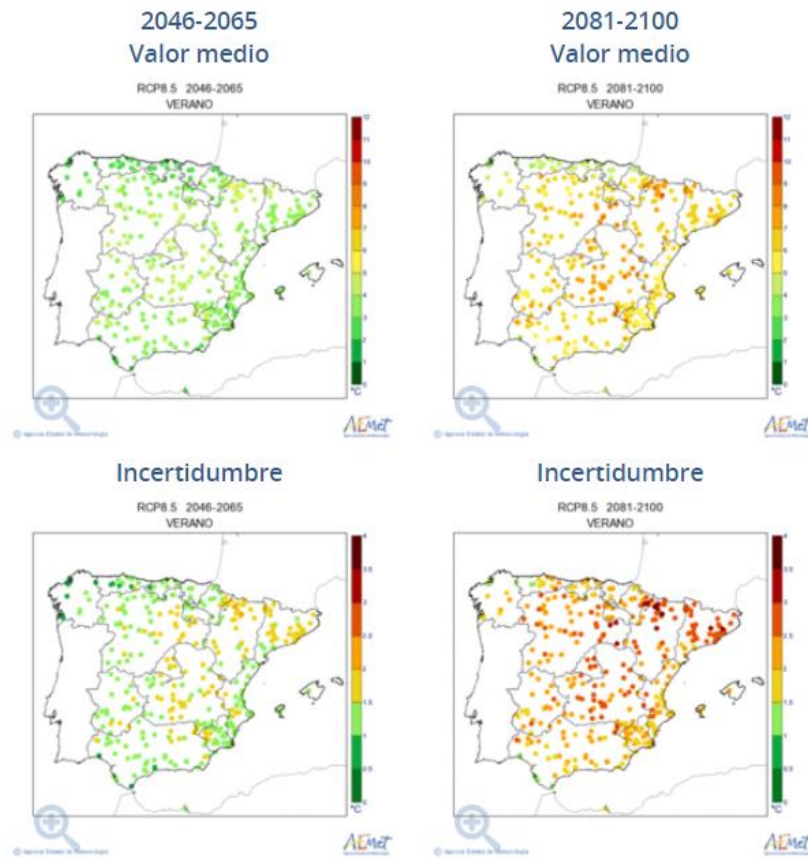
Figura 1.2. Comparació dels gràfics d'evolució dels canvis en la durada de les onades de calor anuals a la província de Barcelona pel període 2000-2100. Tècnica emprada (a) Regionalització estadística per anàlegs; (b) Regionalització estadística per regressió lineal; (c) Regionalització dinàmica.



Font: AEMET ([http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat/result\\_graficos](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos)).

La banda de color associada a cada RCP mostra la incertesa dels resultats associada a les dades disponibles. Pel que fa als mapes de projeccions, l'AEMET inclou mapes d'incertesa associats a les projeccions.

Figura 1.3. Mapes de projeccions. Per tots els mapes resultants de cada tècnica de regionalització, s'inclou un mapa associat d'incertesa.



Font: AEMET ([http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat/result\\_graficos](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos)).

Aquesta incertesa s'atribueix a tres factors diferents. En primer lloc, a la incertesa associada a les emissions futures de GEH i altres contaminants, i d'aquesta manera, als escenaris climàtics. En segon lloc, a la incertesa provocada per la modelització degut a les limitacions existents relatives al coneixement del sistema climàtic i l'habilitat per a representar-ho en models climàtics. Per últim, la variabilitat natural del clima també aporta un grau d'incertesa. A més, les diferents tècniques de regionalització emprades per a augmentar la resolució espacial de les projeccions climàtiques generades pels models globals també porten associat un cert grau d'incertesa. Per exemple, les projeccions regionalitzades de canvi climàtic hereten els defectes i debilitats dels models climàtics de partida.

A continuació s'exposen les principals aportacions de les projeccions climàtiques d'AEMET, considerant l'escenari RCP8,5 i el període temporal 2046-2065.

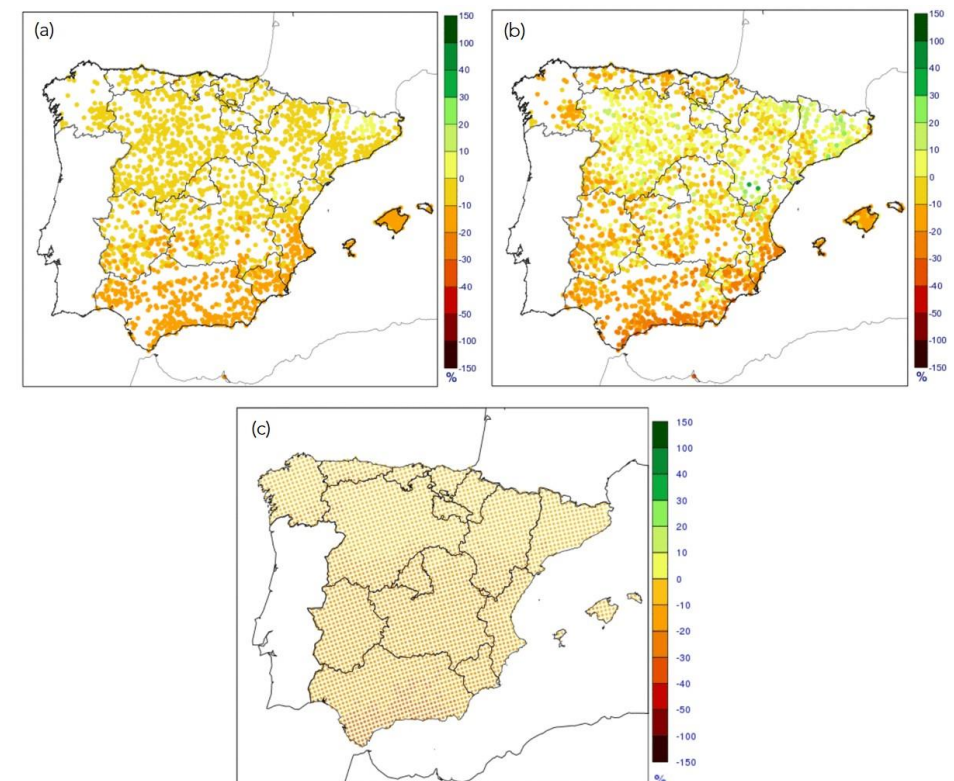
### Temperatura

Tal i com es pot veure a la Figura 3.1, assumint l'escenari més pessimista, l'augment de la temperatura màxima a l'estiu pot arribar fins els 5 °C a algunes àrees de l'àmbit SIMMB, especialment als municipis interiors. Els resultats, però, varien en funció de la tècnica de regionalització emprada: mentre que les tècniques estadístiques preveuen augments d'entre 3 i 5 °C, la tècnica dinàmica únicament preveu un augment de 2 a 3°C, tot associant els valors més baixos a la franja litoral.

### Precipitació

La previsió de la variació en la precipitació anual pel període 2046-2065 també difereix en funció de la tècnica de regionalització utilitzada, tot i que en general es preveu una disminució en l'índex pluviomètric. Els resultats de la tècnica dinàmica preveuen una disminució a tot el territori català de l'ordre del 10%, mentre que aquesta disminució pot arribar a ser del 20% o nul·la considerant la tècnica de regionalització estadística per anàlegs. Per contra, la tècnica estadística per regressió lineal preveu augments de fins el 20% en algunes zones de Catalunya, incloses algunes situades dins l'àmbit SIMMB.

Figura 1.4. Variació (%) en la precipitació mitjana anual per l'escenari climàtic RCP8,5 al període 2046-2065. Tècnica emprada (a) Regionalització estadística per anàlegs; (b) Regionalització estadística per regressió lineal; (c) Regionalització dinàmica.



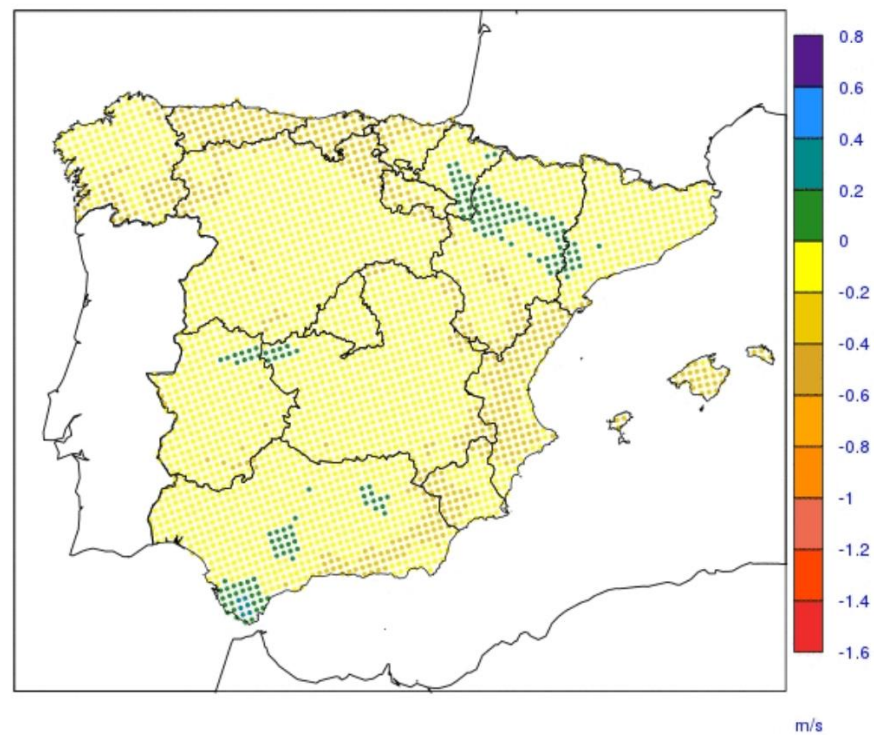
Font: AEMET ([http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat/result\\_graficos](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos)).



### Velocitat màxima del vent

La velocitat del vent, com s'ha comentat anteriorment, és una variable climàtica únicament analitzada pel mètode de regionalització dinàmica. Els resultats de la velocitat màxima mitjana del vent, a 10 m, indiquen una lleugera disminució, de fins a 0,2 m/s a bona part de Catalunya, inclòs l'àmbit SIMMB.

Figura 1.5. Variació en el valor mitjà de ratxa màxima anual del vent (m/s) a 10 m per l'escenari climàtic RCP8,5 al període 2046-2065.



Font: AEMET ([http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat/result\\_graficos](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos)).

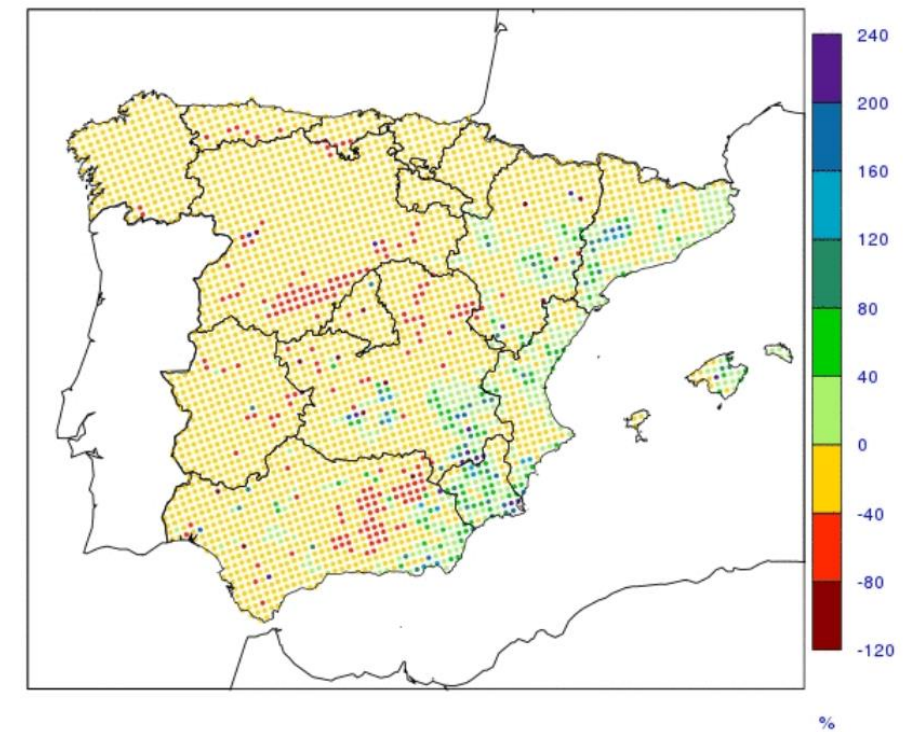
### Escorrentia

Els resultats obtinguts a partir de la tècnica de regionalització dinàmica, preveuen una elevada variabilitat en l'escorrentia<sup>8</sup>, amb reduccions o increments segons l'àmbit considerat, tant a escala estatal, com catalana, com en l'àmbit SIMMB.

D'acord amb una sèrie d'estudis, el patró espacial de l'escorrentia ha de ser similar al de la precipitació tot i que amb major variabilitat a causa de les característiques del territori. Per contra, els canvis en l'escorrentia no es troben linealment correlacionats amb els canvis de la temperatura mitjana global.

<sup>8</sup> L'escorrentia s'ha avaluat avaluada com la suma de l'escorrentia superficial, subsuperficial i subterrània.

Figura 1.6. Variació (%) en l'escorrentia durant la tardor per l'escenari climàtic RCP8,5 al període 2046-2065.



Font: AEMET ([http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat/result\\_graficos](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos)).

Més informació:

[http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat)

## 2. Projectes desenvolupats pel Servei Meteorològic de Catalunya

L'any 2008, el SMC va elaborar unes primeres projeccions regionalitzades del clima a Catalunya durant el segle XXI, amb una resolució de 15 km mitjançant la tècnica de la regionalització climàtica dinàmica. Aquestes projeccions es van utilitzar en nombrosos projectes i informes d'àmbit català – com per exemple, al SICCC, però també en d'altres d'àmbit estatal i europeu. Basant-se en diferents models del quart informe de l'IPCC, en termes generals, es va establir un augment de la temperatura d'entre 1,5 i 6 °C i una disminució de l'ordre del 25% de la precipitació a finals del segle XXI a Catalunya.

Posteriorment, l'SMC ha desenvolupat altres projectes de més entitat que s'exposen tot seguit: el projecte ESCAT, l'ESAMB a l'àmbit de l'AMB i les projeccions fetes en el marc de l'elaboració del Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya.

### 2.1. Projecte ESCAT

El 2011 i a petició de l'OCCC, el SMC va impulsar el projecte ESCAT –Generació d'escenaris climàtics amb alta resolució a Catalunya– en col·laboració amb el *Barcelona Supercomputing Center* – Centro Nacional de Supercomputación (BCS-CNS), que va ser finalment publicat el 2012 i utilitzat per elaborar l'Estratègia catalana d'adaptació al canvi climàtic 2013-2020 (vegeu 2.3. *Estratègia catalana d'adaptació al canvi climàtic*).

L'objectiu principal era l'obtenció de simulacions climàtiques de l'àmbit territorial català amb una resolució horitzontal de 10 km, per tal de poder analitzar les projeccions de la temperatura, precipitació i velocitat del vent a Catalunya, així com la seva evolució esperada. El resultat va ser l'obtenció de projeccions amb una alta resolució per a l'horitzó 2050 d'acord amb els escenaris A2, A1B i B1 –aquests, juntament amb l'A1 i el B2, són els escenaris utilitzats al quart informe de l'IPCC (2007)–. L'escenari B1 es considera optimista, l'A1B moderat (resultat de la combinació de dos models) i l'A2 pessimista, caracteritzat per unes elevades emissions de GEH (vegeu taula següent).

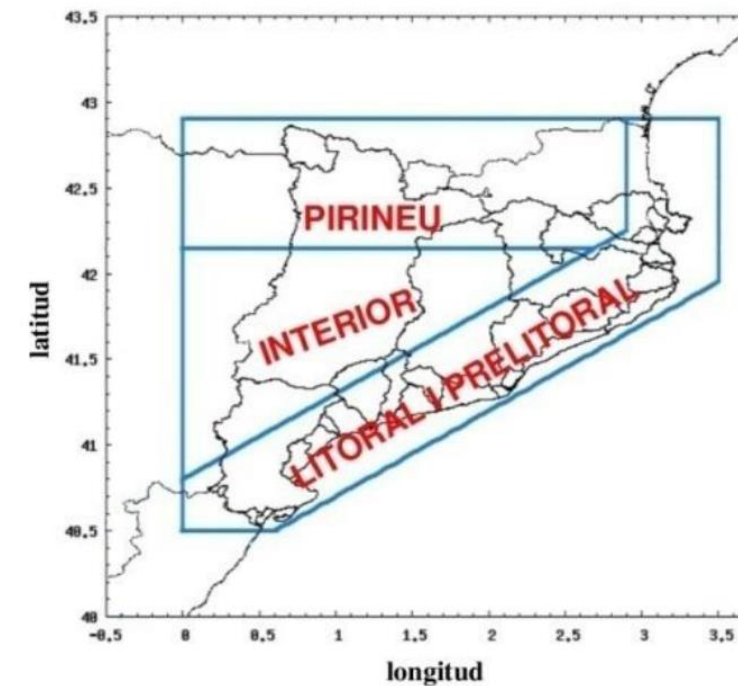
Taula 2.1. Principals variables socioeconòmiques emprades per definir els escenaris d'emissions seleccionats pel projecte ESCAT.

| Escenari d'emissions            | B1                                       | A1B                       | A2                       |
|---------------------------------|--|---------------------------|--------------------------|
| <b>Creixement demogràfic</b>    | Baix                                     | Baix                      | Alt                      |
| <b>Desenvolupament econòmic</b> | Alt. Economia de la informació i serveis | Molt alt. Economia global | Mitjà. Economia regional |
| <b>Consum energètic</b>         | Baix                                     | Molt elevat               | Alt                      |
| <b>Nivell d'emissions</b>       | Baixes                                   | Intermèdies               | Altes                    |
| <b>Canvi tecnològic</b>         | Baix                                     | Ràpid                     | Baix                     |

Font: SMC-BSC (2012). Projecte ESCAT.

Per tal d'obtenir les projeccions, es va utilitzar dues simulacions diferents del model ECHAM5-MPIOM (desenvolupat a Alemanya), com a model de circulació general. D'altra banda, es van emprar dos models d'àrea limitada, el MM5 i el WRF. La resolució del model general era de 200 km, mentre que les simulacions amb els models d'àrea limitada es van fer a una resolució de 30 km (centrada al sud-est d'Europa) i 10 km (centrada a Catalunya). Per tant, el resultat final és una projecció de les variables meteorològiques a 10 km de resolució per a Catalunya i el seu entorn més proper, tot diferenciant tres grans zones climàtiques: litoral i prelitoral, interior i Pirineu.

Figura 2.1. Zones climàtiques de Catalunya establertes al projecte ESCAT.



Font: SMC-BSC (2012). Projecte ESCAT.

Les simulacions es van fer per a un període de 80 anys: des del 1971 fins al 2050. Els resultats de les simulacions del període 1971-2000 van servir per contrastar la idoneïtat de la metodologia. Un cop avaluada, es van establir els valors de les variables meteorològiques obtingudes com a valors de referència per a calcular les variacions durant el període 2001-2050.

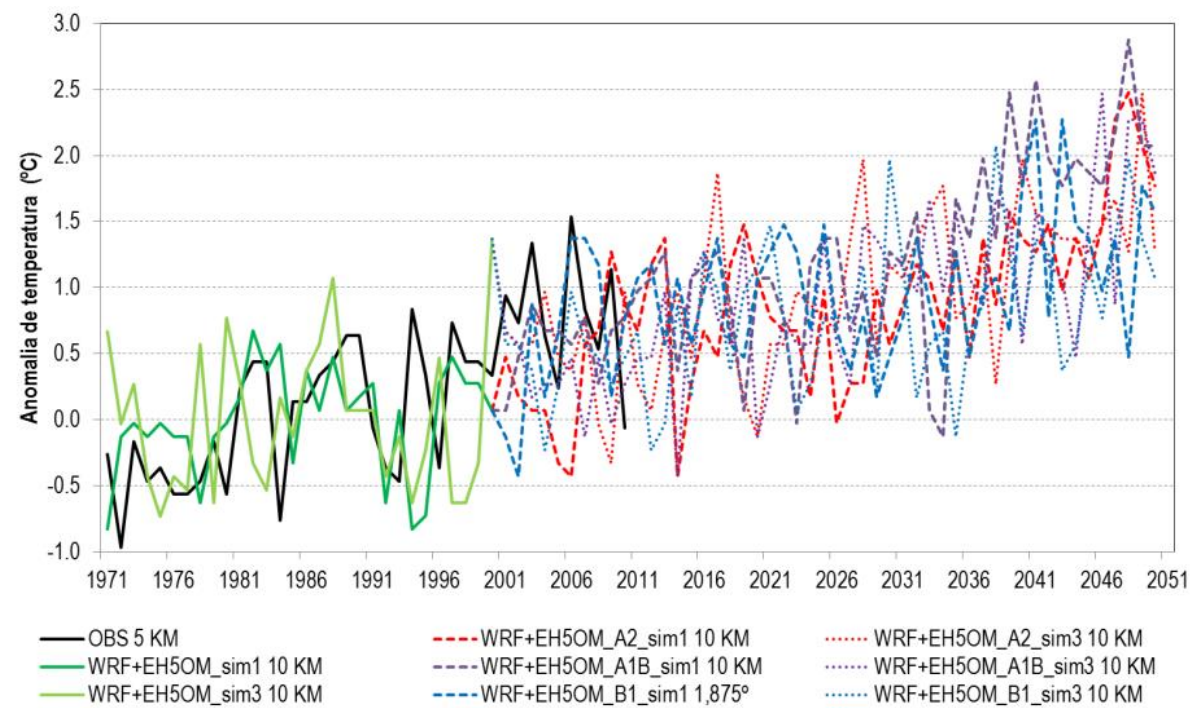
Tot seguit, s'exposa una selecció dels principals resultats obtinguts de les projeccions climàtiques pel que fa a temperatura, a precipitació i velocitat del vent.



## Temperatura

Per tots els escenaris simulats, s'estableix un augment de la temperatura mitjana anual d'1,5 i 2 °C en l'horitzó 2050. Com és d'esperar, els majors increments es preveuen en els escenaris més pessimistes.

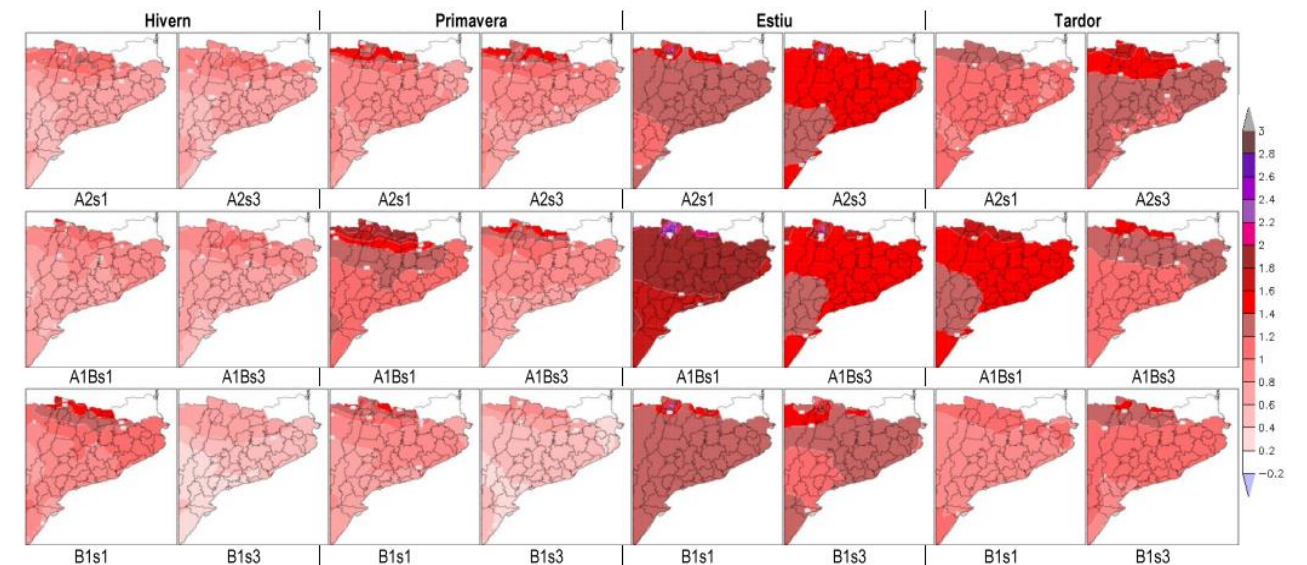
Figura 2.2. Evolució pel període 1971-2050 de les anomalies projectades de la temperatura mitjana anual per diferents models i escenaris.



Font: SMC-BSC (2012). Projecte ESCAT.

Si s'analitzen els resultats per zones climàtiques, es constata que la tendència mitjana d'augment per al període 2001-2050 és superior a la zona dels Pirineus (+1,5°C en 50 anys) respecte la zona de l'interior (+1,3°C en 50 anys) i la litoral-prelitoral (+1,2°C en 50 anys). Així, es pot concloure que la tendència de la temperatura segueix un gradient latitudinal i altitudinal. Pel que fa a l'estacionalitat, la variació màxima de temperatura es produeix a l'estiu i, la mínima, a l'hivern.

Figura 2.3. Variació estacional de la temperatura mitjana en el període 2001-2050 respecte el 1971-2000 per els escenaris A2, A1B i B1. s1 i s3 fan referència a les simulacions del model WRF-ARW/EH5OM.

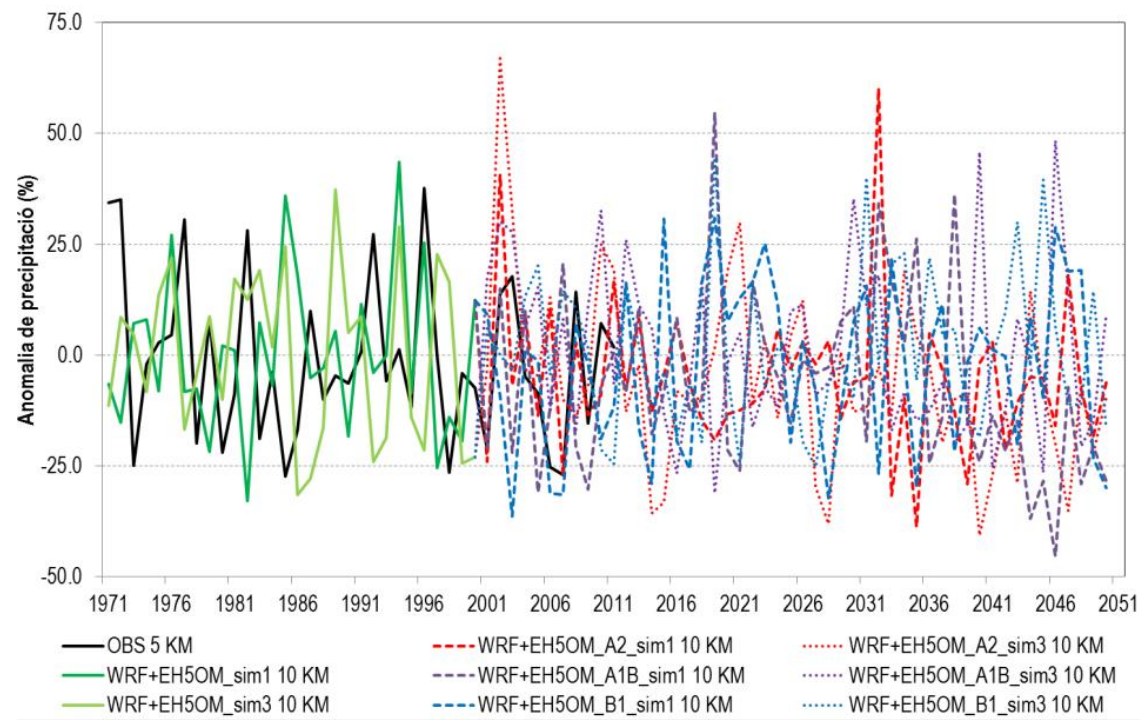


Font: SMC-BSC (2012). Projecte ESCAT.

### Precipitació

En el cas de la variació en la precipitació, les projeccions són més incertes i varien força en funció de l'escenari simulat i l'àrea geogràfica de Catalunya. Per exemple, l'escenari A2 presenta una disminució de la precipitació fins el 2050, mentre que per l'escenari B1 la precipitació es manté constant. Pel que fa a l'escenari A1B, els resultats varien segons la simulació del model global. No obstant, es pot concloure que la tendència mitjana considerant totes les simulacions és d'una reducció del 7,5% pel 2050, tot i que el rang de variació més probable és entre -10% i +5%. No obstant, en zones del litoral podria arribar a augmentar, sobretot al litoral nord.

Figura 2.4. Evolució pel període 1971-2050 de les anomalies projectades de la precipitació mitjana anual.

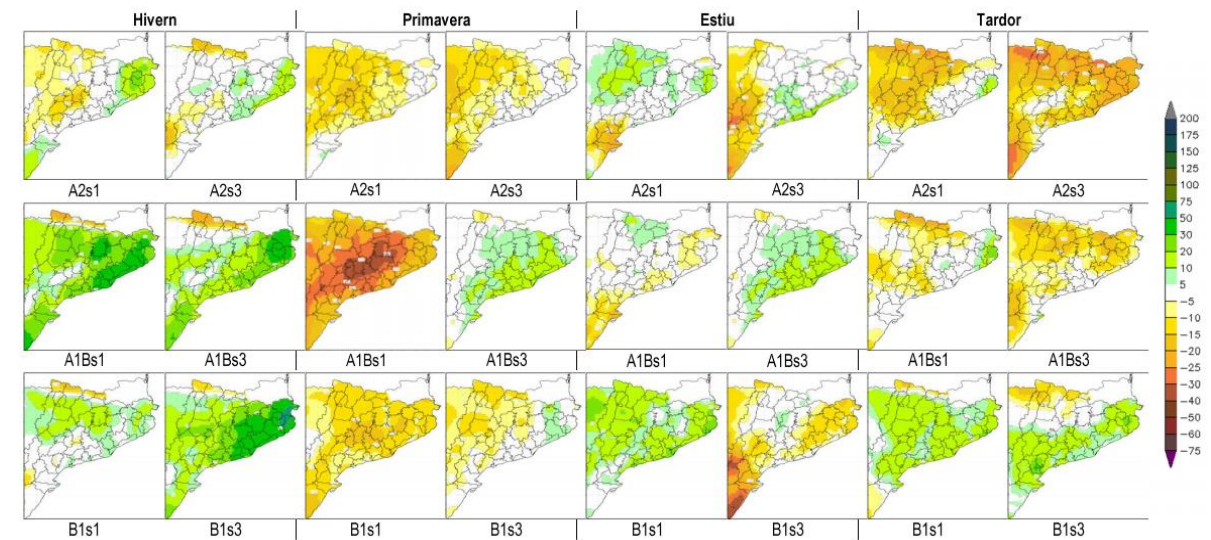


Font: SMC-BSC (2012). Projecte ESCAT.

En aquest cas, la variació més gran en la precipitació s'observa al litoral-prelitoral, en contrast amb la zona dels Pirineus. Tenint en compte l'estacionalitat, tot i la incertesa, la majoria de simulacions indiquen un augment de la precipitació mitjana a l'hivern (sobretot al litoral) i una disminució a la primavera.

Pel que fa a la pluja màxima mensual, tots els escenaris d'emissions determinen un augment en la freqüència de pluja extrema, especialment l'escenari A2.

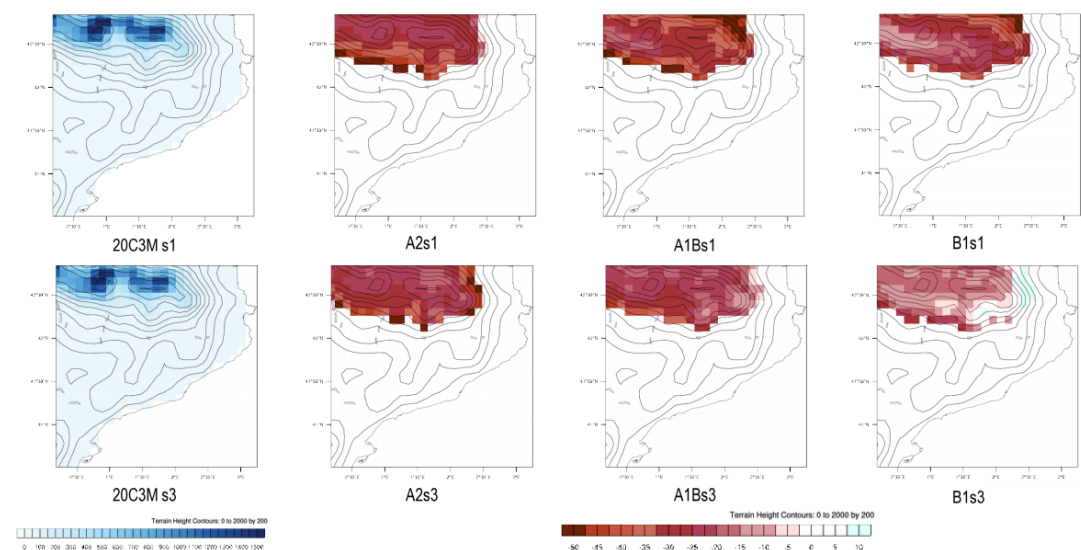
Figura 2.5. Variació estacional de la precipitació mitjana anual en el període 2001-2050 respecte el 1971-2000 per els escenaris A2, A1B i B1. s1 i s3 fan referència a les simulacions del model WRF-ARW/EH50M.



Font: SMC-BSC (2012). Projecte ESCAT.

D'altra banda, a tots els escenaris també s'observa una disminució de la precipitació en forma de neu, sobretot als escenaris A2 i A1B i a les cotes més baixes dels Pirineus. Per contra, l'escenari B1 fins i tot preveu lleugers augments d'innivació al Pirineu Oriental.

Figura 2.6. Precipitació acumulada mitjana anual en forma de neu (mm) per al període 1971-2000 (gràfics en blau) i diferència en la precipitació acumulada mitjana anual en forma de neu projectada pel 2001-2050. s1 i s3 fan referència a les simulacions del model WRF-ARW/EH50M.



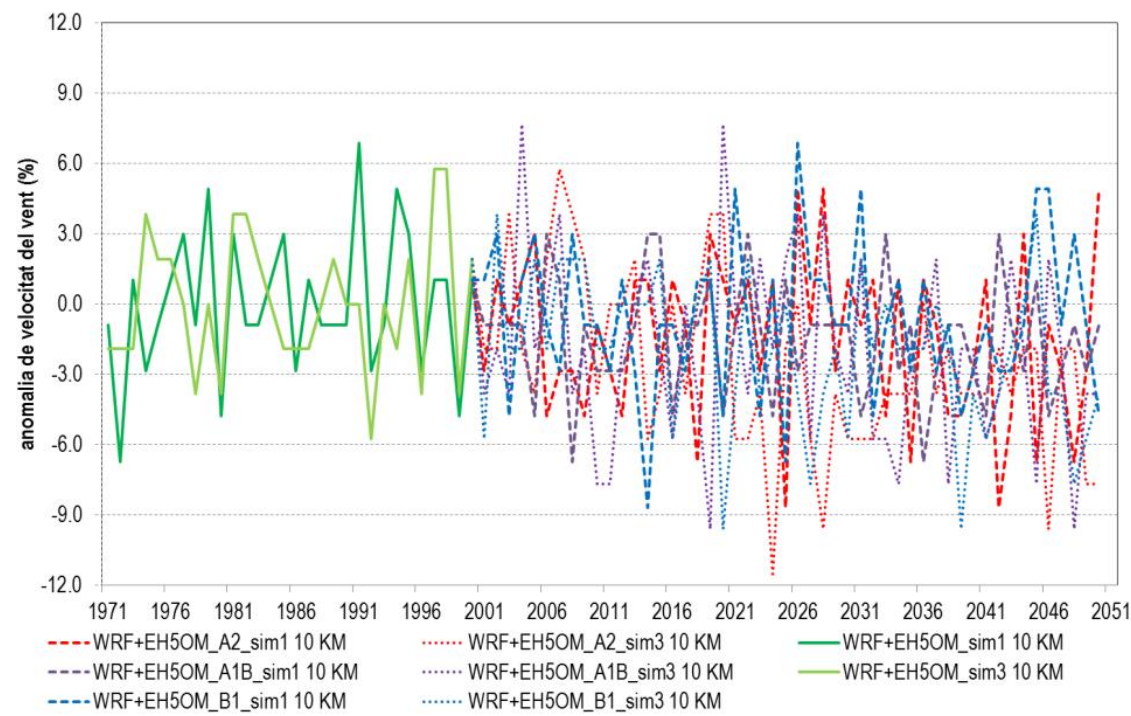
Font: SMC-BSC (2012). Projecte ESCAT.



### Velocitat mitjana anual del vent

Respecte el període 1971-2000, s'espera una lleugera disminució de la velocitat del vent mitjana anual a 10 m d'altitud durant el període 2001-2050. La tendència mitjana considerant totes les simulacions és de -2,7% en 50 anys, sobretot als Pirineus (-3,3% en 50 anys) en contrast amb el litoral-prelitoral (-2,0% en 50 anys). Considerant cada una de les zones climàtiques, la variabilitat de la velocitat mitjana anual del vent és major a la zona dels Pirineus i l'interior de Catalunya.

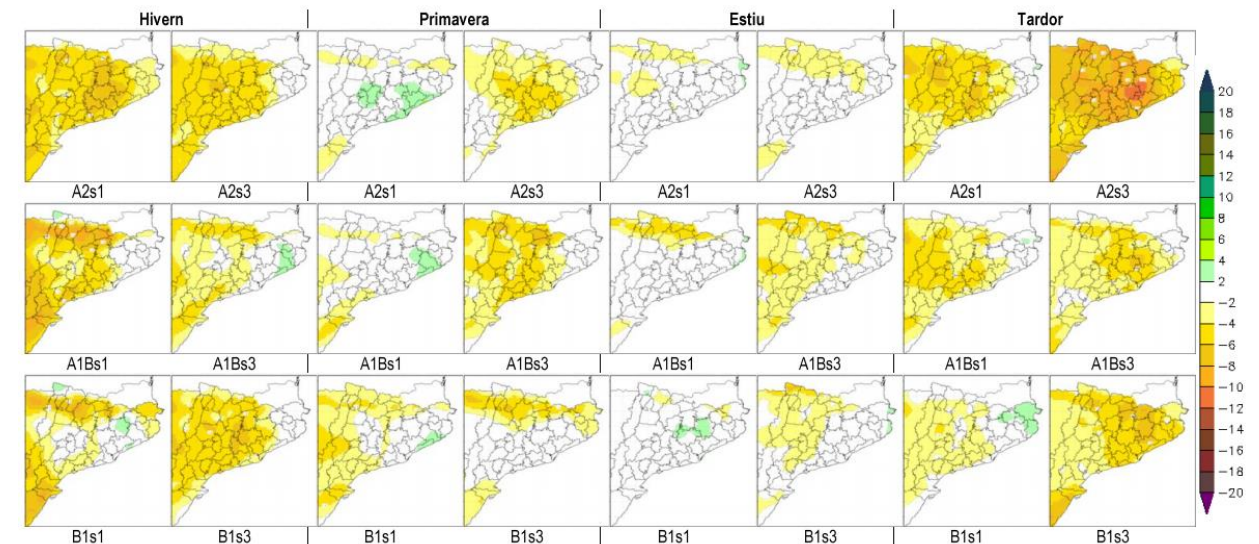
Figura 2.7. Evolució pel període 1971-2050 de les anomalies projectades de la velocitat mitjana anual.



Font: SMC-BSC (2012). Projecte ESCAT.

En aquest cas no s'observa una diferència marcada pel que fa a l'estacionalitat, per bé que alguns escenaris mostren un cert augment a la primavera i d'altres una disminució més significativa que la mitjana a la tardor.

Figura 2.8. Variació estacional de la velocitat mitjana anual en el període 2001-2050 respecte el 1971-2000 per els escenaris A2, A1B i B1. s1 i s3 fan referència a les simulacions del model WRF-ARW/EH5OM.



Font: SMC-BSC (2012). Projecte ESCAT.

Un cop analitzats els resultats pels diferents paràmetres exposats, es pot concloure que l'escenari B1 és el que presenta un clima més humit i una variació de la temperatura menor. En canvi, l'escenari d'emissions A2 defineix un clima més càlid i sec. L'escenari A1B mostra resultats semblants al pessimista, tot i que a partir de l'any 2050 aquests dos escenaris tendeixen a divergir més.

Més informació:

<http://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2015/05/29071222/Informe-ESCAT-NOV2012.pdf>

## 2.2. Projeccions pel Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya (TICCC)

L'SMC, juntament amb el BSC-CNS, l'Institut Català de Ciències del Clima (IC3) i el Grup de Física Ambiental de la Universitat de Girona, va compilar una sèrie de simulacions climàtiques globals i regionalitzades existents que engloben la zona nord-occidental de la Mediterrània per tal d'incorporar informació actualitzada al TICCC.

Per tal d'obtenir projeccions climàtiques de Catalunya, es va realitzar una aproximació per conjunts d'una sèrie de projectes de regionalització que presenten unes característiques diferents (vegeu taula següent). Aquests difereixen, entre d'altres, en el tipus de model o metodologia de regionalització emprada, en l'escenari climàtic o en la resolució espacial considerada.

Taula 2.2. Principals característiques dels projectes de regionalització de les projeccions climàtiques utilitzades a Catalunya.

| Projecte / Base de dades | Mètode                       | Escenari(s) | Resolució                     | Membres (models) | 2012-2021 | 2031-2050 |
|--------------------------|------------------------------|-------------|-------------------------------|------------------|-----------|-----------|
| ESCAT / MERCAT           | R. dinàmica / R. estadística | B1, A1B, A2 | 10 km (0,1°) 0,04° lat.-long. | 6 (1) 3 (1)      | CAT/3SR   | CAT/3SR   |
| ESCENA / ESTCENA         | R. dinàmica / R. estadística | A1B         | 0,2° lat.-long.               | 11 (3) 15/16 (4) | CAT/3SR   | CAT/3SR   |
| CORDEX / EuroCORDEX      | R. dinàmica                  | RCP4.5      | 0,11° lat.-long.              | 10 (4)           | CAT/3SR   | CAT/3SR   |
| CMIP5                    | GCM                          | RCP4.5      | > 1° lat.-long.               | 15 (4)           | CAT       | CAT       |
| DCPP                     | GCM amb inicialització       | RCP4.5      | > 1° lat.-long.               | 37 (6)           | CAT       | —         |

Font: CADS, OCCC, SMC, IEC i GECC (2016). Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Capítol 5. Projeccions climàtiques i escenaris de futur.

Tots els projectes analitzats estimen un augment continu de la temperatura anual a totes les àrees geogràfiques de Catalunya en els propers anys. Aquest augment s'espera que sigui 0,8 °C major en el present decenni (2012-2021) respecte a la mitjana del període 1971-2000, i d'1,4 °C durant el període 2031-2050.

La predicció de la precipitació és, en canvi, molt més incerta. D'una banda, les prediccions basades en models de regionalització mostren una disminució poc significativa, d'un 2%, durant el període 2012-2021 respecte el 1971-2000, mentre que els models globals estimen un lleuger augment de la precipitació, tot i que tampoc significatiu. Pel període 2031-2050, es preveu una disminució major del règim pluviomètric, proper al 7%, tot i que depèn de la zona de Catalunya que es té en compte.

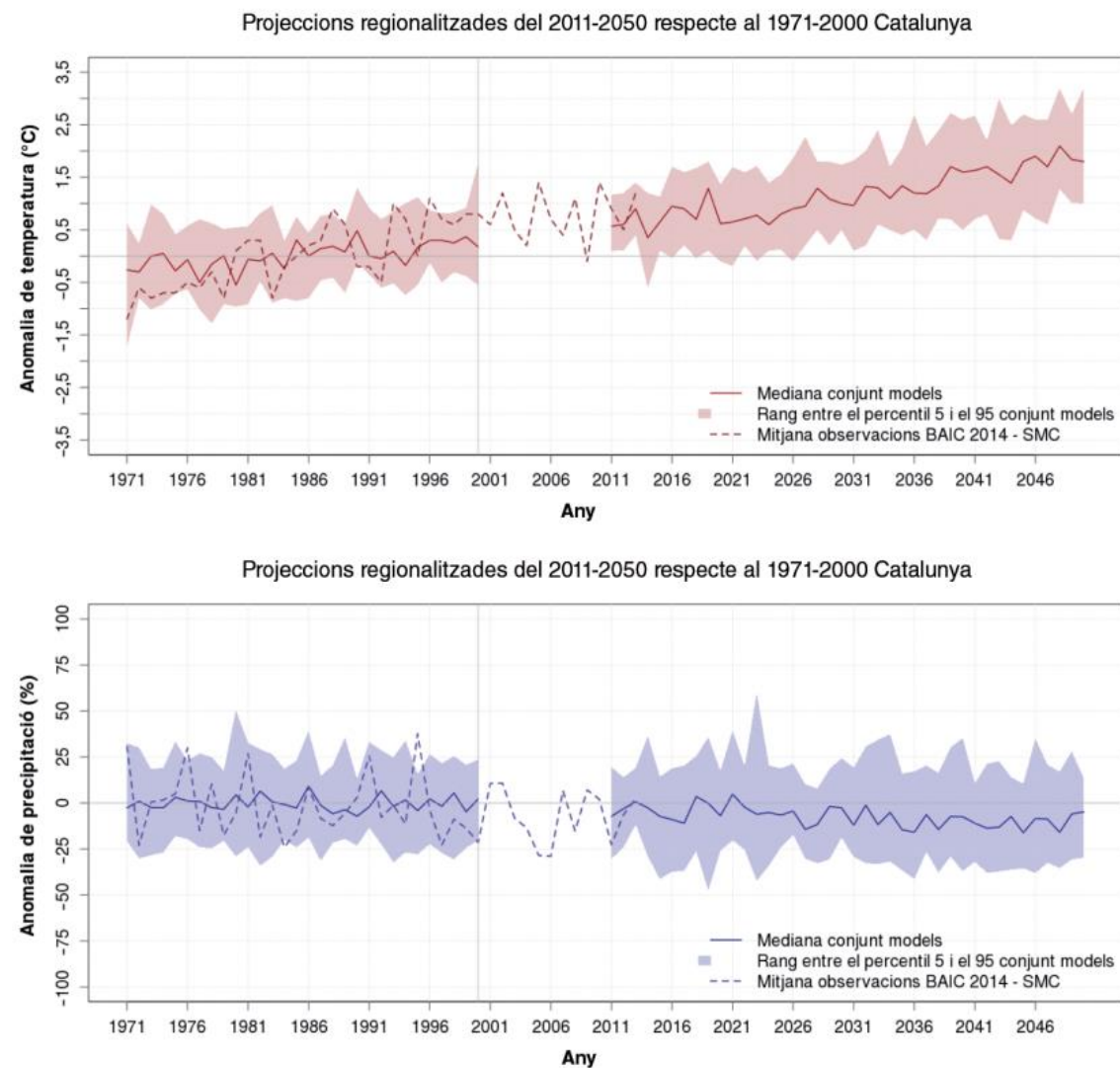
Taula 2.3. Resum dels resultats de les projeccions regionalitzades per al període 2031-2050 respecte de les mitjanes del període 1971-2000.

|                     |                  | Hivern               | Primavera            | Estiu                 | Tardor               | Anual                |
|---------------------|------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Litoral/ Prelitoral | $\Delta T$ (°C)  | 1,2<br>(0,8/1,9)     | 1,2<br>(0,5/2,2)     | 1,8<br>(0,7/2,5)      | 1,7<br>(0,6/2,1)     | 1,4<br>(0,9/2,0)     |
|                     | $\Delta PPT$ (%) | -6,0<br>(-40,2/35,7) | -12,0<br>(-37,5/6,9) | -11,7<br>(-33,8/11,7) | -9,1<br>(-30,2/11,5) | -8,3<br>(-27,1/2,3)  |
| Interior            | $\Delta T$ (°C)  | 1,2<br>(0,8/1,9)     | 1,2<br>(0,4/2,3)     | 1,9<br>(0,7/2,7)      | 1,7<br>(0,8/2,2)     | 1,4<br>(0,9/2,1)     |
|                     | $\Delta PPT$ (%) | -1,1<br>(-30,9/42,0) | -11,5<br>(-32,2/6,4) | -9,9<br>(-28,1/11,5)  | -8,9<br>(-27,5/11,0) | -6,5<br>(-23,7/1,4)  |
| Pirineu             | $\Delta T$ (°C)  | 1,4<br>(0,9/2,1)     | 1,4<br>(0,6/2,5)     | 1,9<br>(0,6/2,8)      | 1,8<br>(0,8/2,3)     | 1,6<br>(0,9/2,2)     |
|                     | $\Delta PPT$ (%) | -1,8<br>(-11,0/22,5) | -8,4<br>(-24,4/5,8)  | -9,0<br>(-24,3/8,2)   | -9,3<br>(-25,4/0,7)  | -5,3<br>(-16,1/-1,2) |
| Catalunya           | $\Delta T$ (°C)  | 1,3<br>(0,8/2,1)     | 1,2<br>(0,5/2,4)     | 1,8<br>(0,7/2,6)      | 1,7<br>(0,7/2,2)     | 1,4<br>(0,9/2,0)     |
|                     | $\Delta PPT$ (%) | -3,8<br>(-28,2/20,7) | -10,7<br>(-31,4/4,0) | -10,2<br>(-28,1/9,8)  | -9,4<br>(-27,5/4,7)  | -6,8<br>(-22,0/-0,7) |

Font: CADS, OCCC, SMC, IEC i GECC (2016). Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Capítol 5. Projeccions climàtiques i escenaris de futur.



Figura 2.9. Variacions de la temperatura i la precipitació a Catalunya, com a resultat dels projectes de regionalització considerats, des del 1971 (inici del període de referència) fins al 2050.



Font: CADS, OCCC, SMC, IEC i GECCC (2016). Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Capítol 5. Projeccions climàtiques i escenaris de futur.

A l'informe TICCC s'indica que tots els models que s'utilitzen per a les prediccions i les projeccions del clima futur, ja siguin globals com regionals, presenten errors sistemàtics com a conseqüència de la simplificació de processos complexos, la falta de comprensió d'alguns processos rellevants o la resolució espacial i temporal inadequada, entre d'altres. No obstant, amb els models regionals s'obtenen, en general, valors més acurats respecte els globals.

### 2.3. Darreres projeccions climàtiques per Catalunya: ESCAT-2020

En el marc de l'elaboració de la nova Estratègia catalana d'adaptació al canvi climàtic 2021-2030, l'SMC ha elaborat projeccions regionalitzades a 1 km fins a mitjan segle XXI per a tot Catalunya a partir de simulacions globals de l'IPCC AR5 (2013).

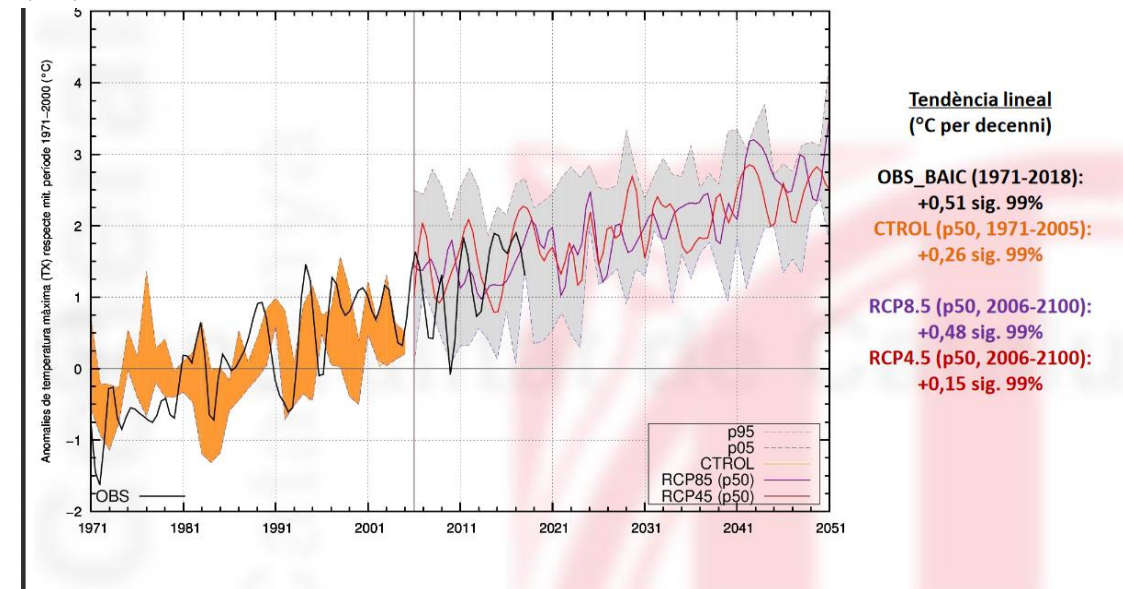
Les variables contemplades en les projeccions són les següents:

- TM, temperatura mitjana; TN, temperatura mínima; TX, temperatura màxima; i PPT, precipitació acumulada (en tots els casos a escala anual i estacional)
- Índexs climàtics termomètrics a escala anual:
  - DT, Dies Tòrrids = dies amb TX > 35 C
  - DC, Dies de Calor = dies amb TX > 30 C
  - DFR, Dies de Fredor = dies amb TM < 10 C
  - DG, Dies de Glaçada = dies amb TN < 0 C
  - TR, Nits Tropicals = dies amb TN > 20 C
  - TO, Nits Tòrrides = dies amb TN > 25 C
- Índexs climàtics pluviomètrics a escala anual
  - LMRS, Longitud màxima de la ratxa seca = màxim de dies consecutius amb PPT < 1,0 mm
  - n5PPT, Nombre de dies amb precipitació feble = dies amb PPT < 5 mm
  - n50PPT, Nombre de dies amb precipitació abundant = dies amb PPT > 50 mm
- Anàlisi de les projeccions
  - Període de control (1971-2000)
  - Projeccions forçades amb els escenaris RCP (2006-2050): RCP4,5 (moderat) i RCP8,5 (intensiu)

Aquestes projeccions consideren els mateixos paràmetres que el projecte previ ESAMB, centrat en l'àmbit metropolità de Barcelona (vegeu apartat 3 del present Annex) i tenen la mateixa resolució (1 km), per bé que comprenen un únic període temporal, el 2021-2050, enlloc dels tres contemplats al projecte ESAMB (2001-2040, 2041-2070 i 2071-2100).

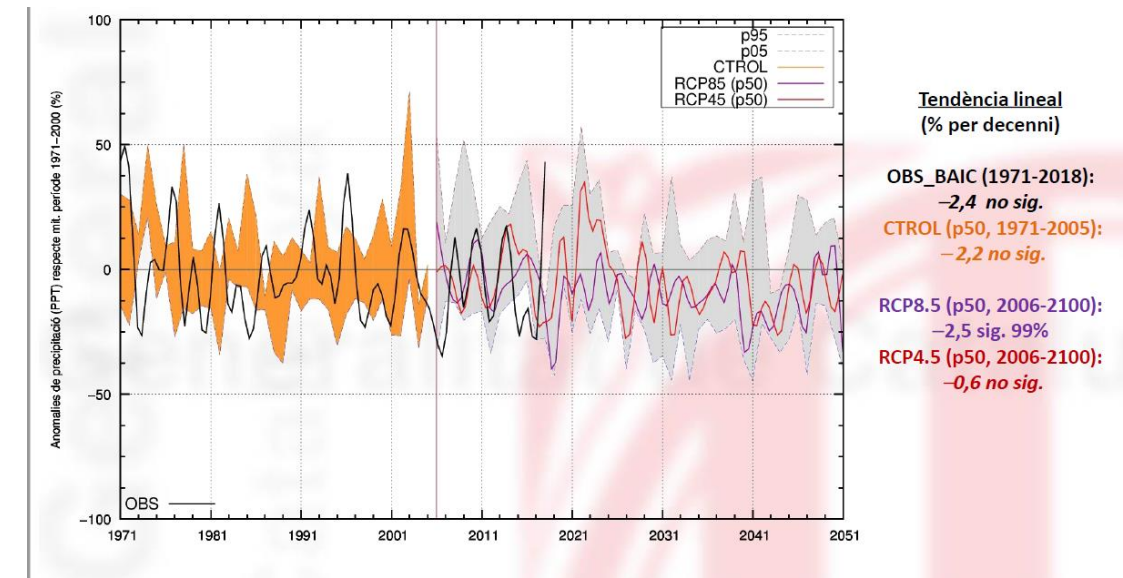
El gruix de la cartografia elaborada expressament per al present projecte s'ha generat a partir d'una selecció de variables del projecte ESCAT-2020 (vegeu Annex 4. Cartografia climàtica i de riscos).

Figura 2.10. Evolució temporal històrica i projectada de les anomalies mitjanes anuals de temperatura màxima, pel període 1970-2050.



Font: SMC. Avanç de les projeccions climàtiques regionalitzades a 1 km de resolució per a Catalunya 1971-2050. ESCAT-2020.

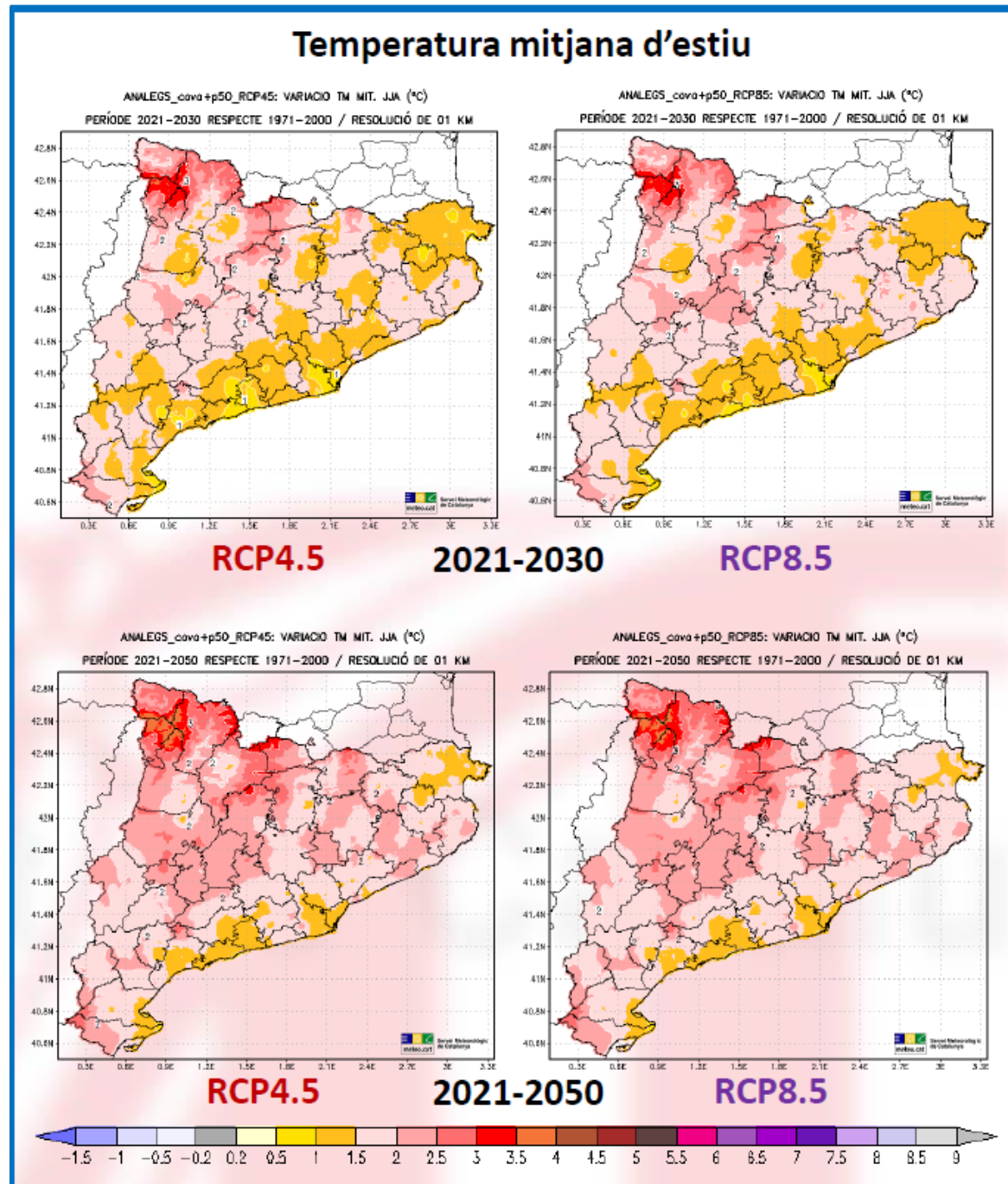
Figura 2.11. Evolució temporal històrica i projectada de les anomalies mitjanes anuals de precipitació acumulada, pel període 1970-2050.



Font: SMC. Avanç de les projeccions climàtiques regionalitzades a 1 km de resolució per a Catalunya 1971-2050. ESCAT-2020.

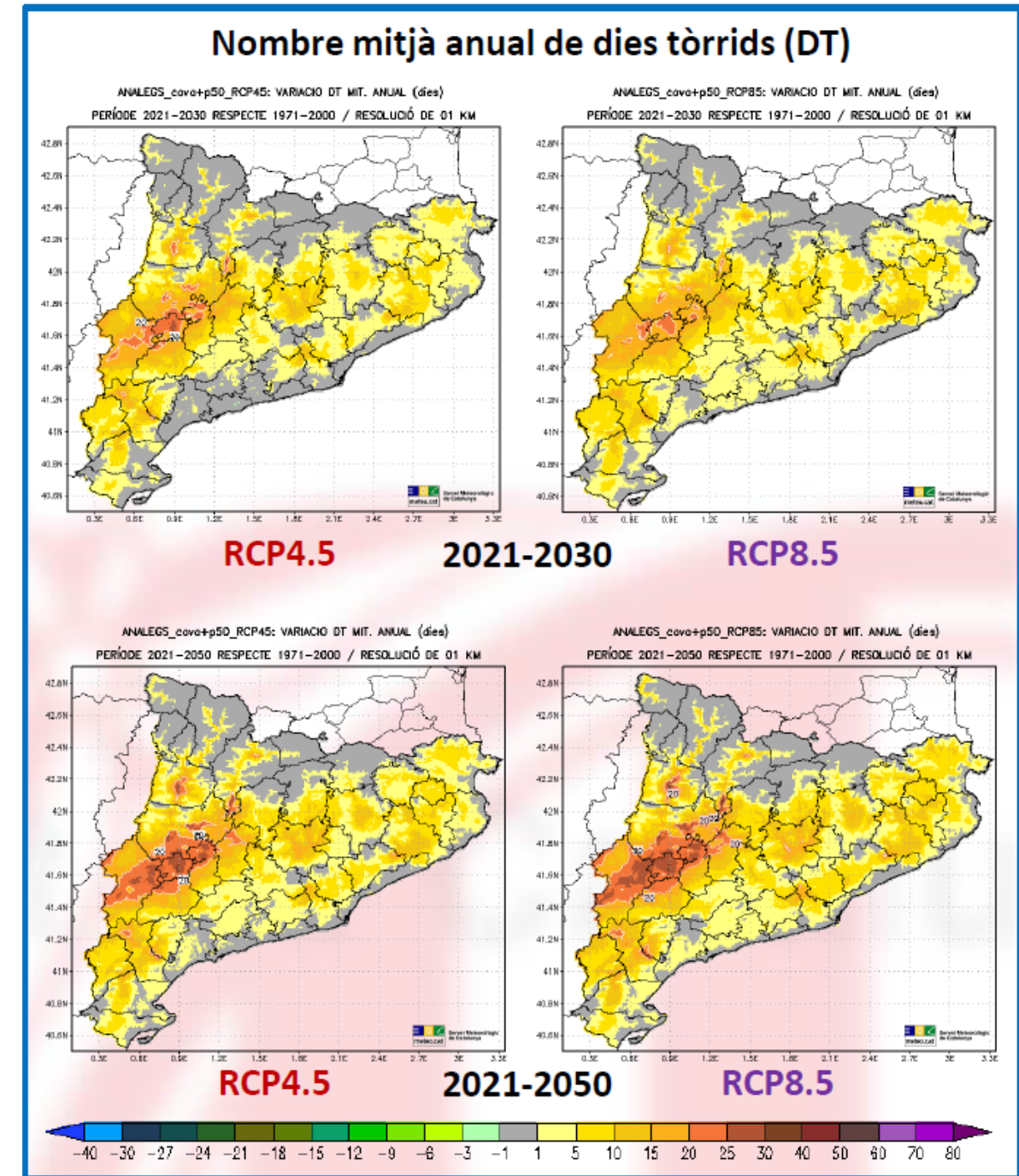


Figura 2.12. Variacions projectades de la temperatura mitjana d'estiu per a dos escenaris climàtics (RCP 4,5 i RCP 8,5) i dos períodes temporals (2021-2030 i 2021-2050).



Font: SMC. Avanç de les projeccions climàtiques regionalitzades a 1 km de resolució per a Catalunya 1971-2050. ESCAT-2020.

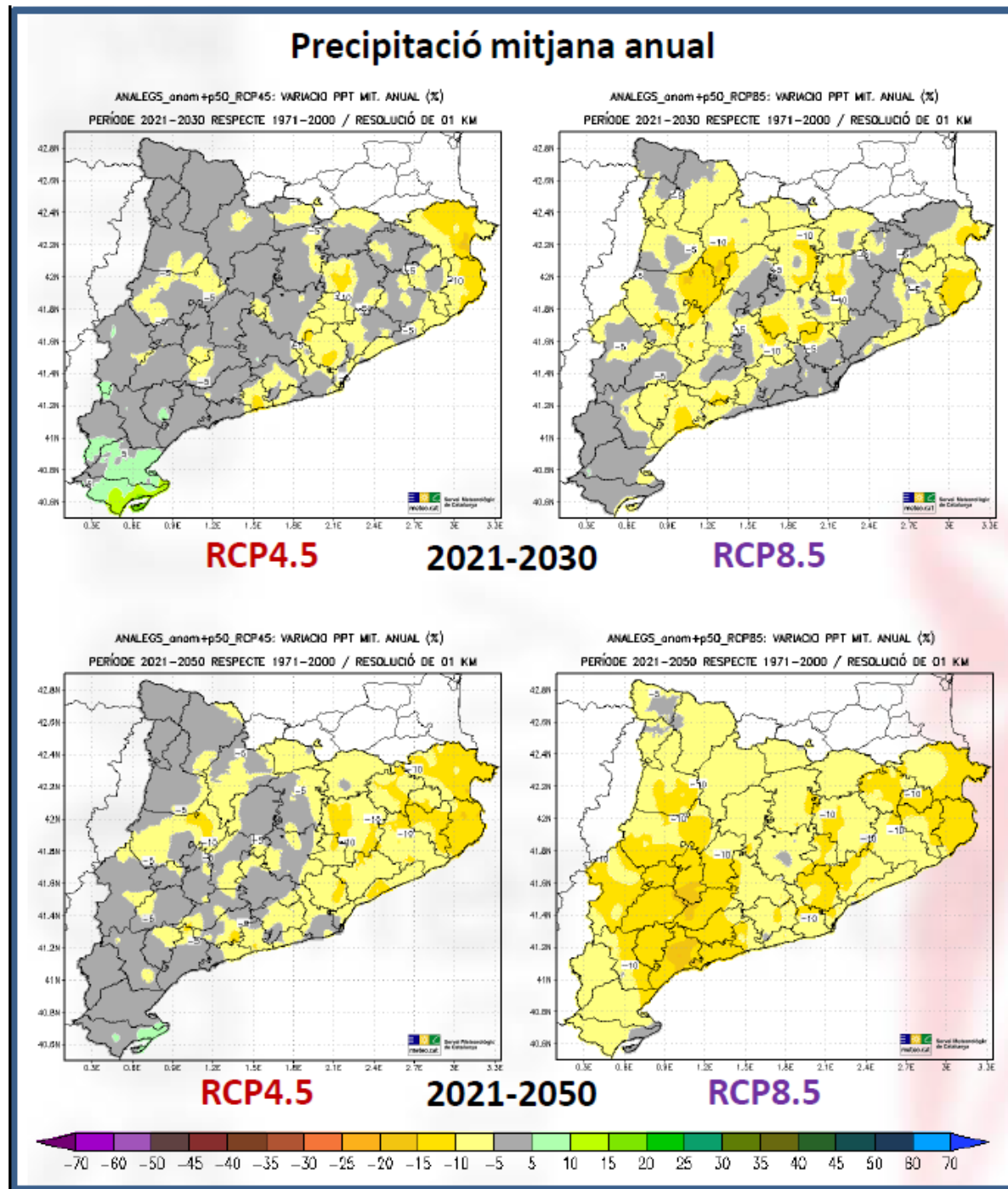
Figura 2.13. Variacions projectades del nombre mitjà anual de dies tòrrids per a dos escenaris climàtics (RCP 4,5 i RCP 8,5) i dos períodes temporals (2021-2030 i 2021-2050).



Font: SMC. Avanç de les projeccions climàtiques regionalitzades a 1 km de resolució per a Catalunya 1971-2050. ESCAT-2020.

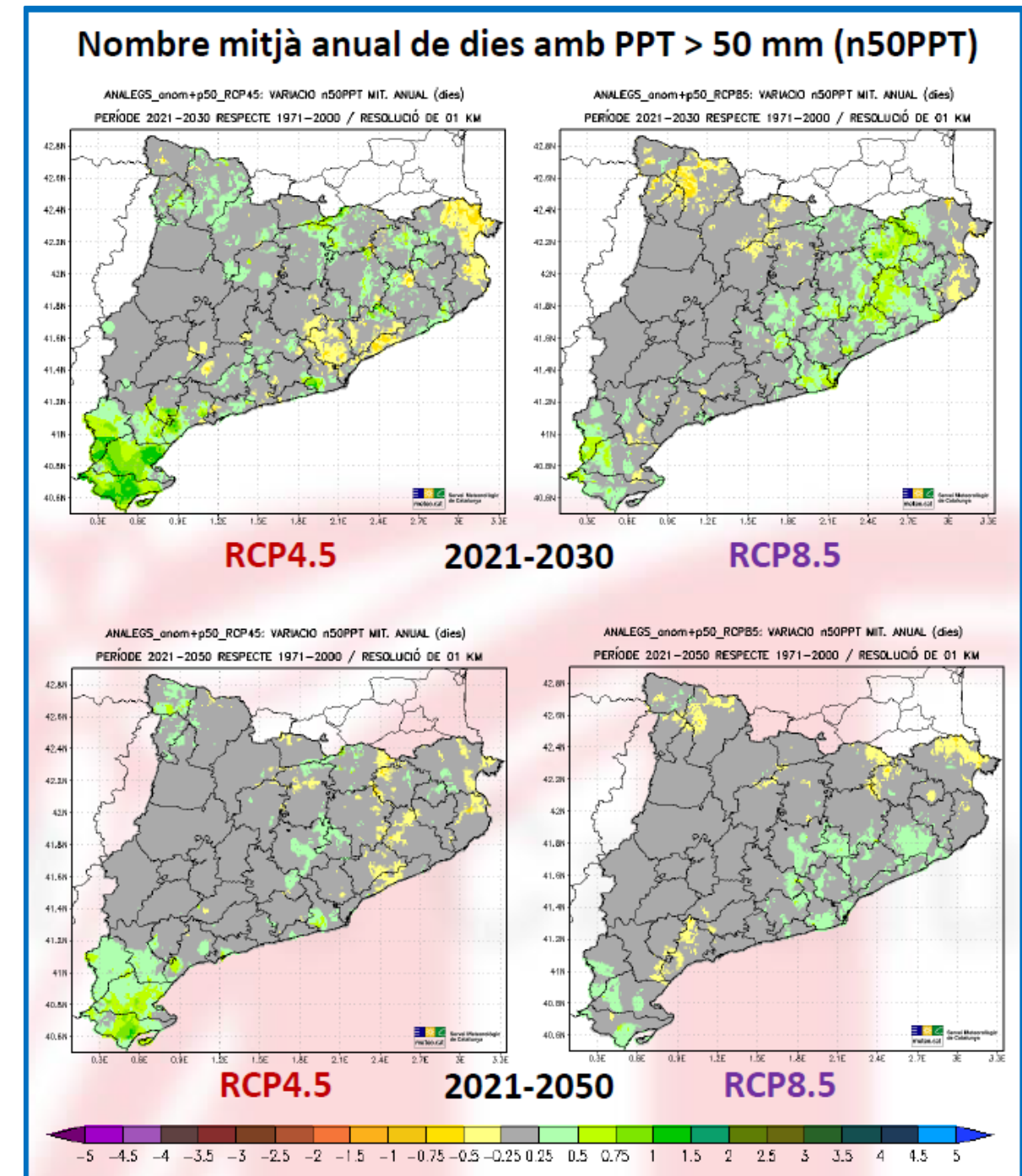


Figura 2.14. Variacions projectades de la precipitació mitjana anual per a dos escenaris climàtics (RCP 4,5 i RCP 8,5) i dos períodes temporals 2021-2030 i 2021-2050).



Font: SMC. Avanç de les projeccions climàtiques regionalitzades a 1 km de resolució per a Catalunya 1971-2050. ESCAT-2020.

Figura 2.15. Variacions projectades del nombre mitjà anual de dies amb precipitació superior a 50 mm (n50PPT) per a dos escenaris climàtics (RCP 4,5 i RCP 8,5) i dos períodes temporals 2021-2030 i 2021-2050).



Font: SMC. Avanç de les projeccions climàtiques regionalitzades a 1 km de resolució per a Catalunya 1971-2050. ESCAT-2020.



### Conclusions generals de l'SMC amb relació a les projeccions ESCAT-2020

- Habilitat de la metodologia emprada / comentaris generals
  - La metodologia reproduïx acceptablement les principals característiques termo-pluviomètriques de Catalunya, sobreestimant la temperatura i subestimant la precipitació . En canvi, reproduïx amb més dificultats l'evolució temporal de la temperatura en el període de solapament entre observacions i projeccions (2006-2017).
  - Els resultats són més robustos per a les zones interior i litoral prelitoral que no pas al Pirineu, on existeix una important sobreestimació de la PPT i una subestimació de la temperatura.
  - Els canvis projectats per al període 2021-2030 són en magnitud força similars als del període 2021 2050. El que vol dir que molts canvis ja estan en marxa.
- Projeccions de la temperatura
  - La temperatura es projecta que augmenti a tot el domini independentment de l'escenari i model considerats , amb increments propers als 3 °C a mitjan segle XXI segons l'RCP8,5.
  - L'increment projectat per la temperatura màxima (TX) és major que el de la temperatura mínima (TN).
  - Majors increments sobretot a la tardor (allargament de les condicions estiuenques ) i l'estiu, menors a la primavera i l'hivern (a la zona litoral prelitoral la primavera s'escalfa més que l'estiu).
- Projeccions de la precipitació
  - Evolució molt incerta de la precipitació acumulada (PPT), però amb una disminució general de la PPT anual, sobretot segons l'escenari RCP8,5. Aquesta disminució seria molt important a l'estiu al conjunt del país, i considerable a la tardor per a la zona litoral i prelitoral.
  - Els majors decreixements s'esperen a les comarques del nord-est i al prelitoral tarragoní mentre que els menors es donarien al Pirineu occidental.
- Projeccions dels índexs climàtics termomètrics
  - Els dies calorosos (DC) i dies tòrrids (DT) es preveu que augmentin acusadament de manera independent de l'escenari i model considerats. Les nits tropicals (TR) també augmentaran, però sobretot a la zona litoral. A més, zones de l'interior que en l'actualitat no en tenen cap en tindran gairebé cada estiu.
  - Els dies de glaçada (DG) i dies de fredor (DFR) es preveu que disminueixin considerablement, independentment de l'escenari i model considerats. Àmplies zones del litoral deixaran de registrar alguna glaçada gairebé cada hivern.
- Projeccions dels índexs climàtics pluviomètrics
  - Es projecta una disminució considerable en els dies amb precipitació feble (n5PPT) independentment de l'escenari i model considerat. En canvi en algunes zones del país, sobretot a les Terres de l'Ebre i més lleugerament a les comarques del nord-est, s'espera que augmentin els dies amb precipitació abundant (n50PPT).
  - S'espera que la longitud màxima de la ratxa seca (LMRS) augmenti a tot el territori fent més intenses les sequeres , especialment a tota la zona litoral prelitoral i les Terres de Ponent.

Més informació:

[https://canvclimatic.gencat.cat/web/.content/03\\_AMBITS/adaptacio/ESCACC\\_2021\\_2030/Previa-Resultats-ESCAT2020\\_versio1.pdf](https://canvclimatic.gencat.cat/web/.content/03_AMBITS/adaptacio/ESCACC_2021_2030/Previa-Resultats-ESCAT2020_versio1.pdf)

### 3. El projecte ESAMB a l'àmbit de l'AMB

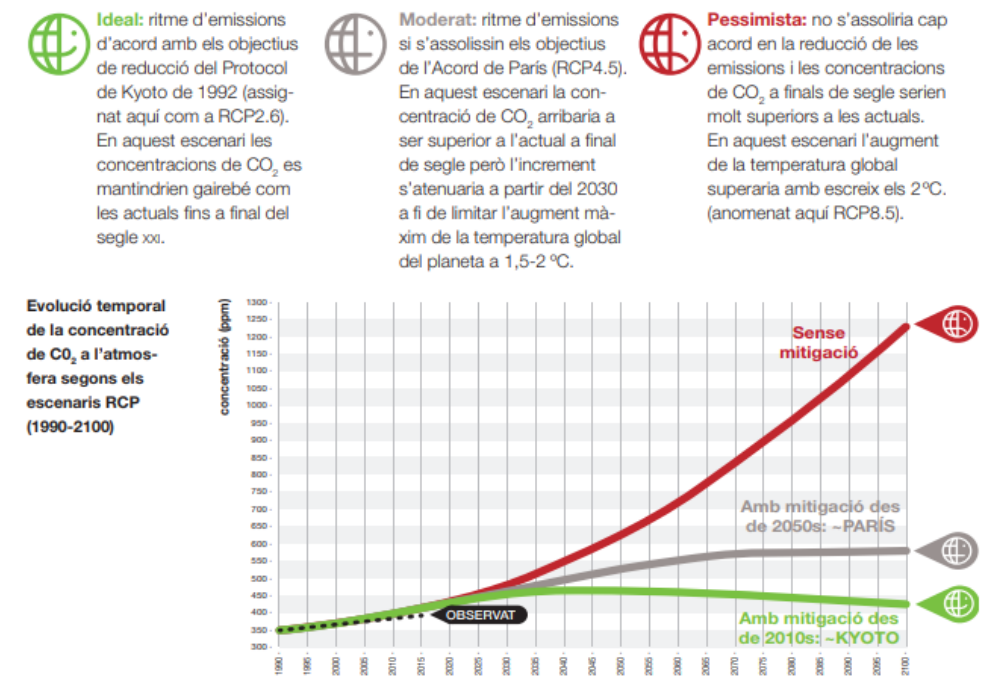
L'AMB, dins del *Pla de Sostenibilitat de l'AMB* (PSAMB) va encarregar al Servei Meteorològic de Catalunya i amb el suport de Barcelona Regional, el projecte titulat *Generació d'escenaris climàtics futurs a molt alta resolució a l'Àrea Metropolitana de Barcelona* (ESAMB, 2014-2016).

Partint de models climàtics globals a diferents resolucions (l'alemany –MPI-ESM–, l'americà –GFDL-ESM2G– i el canadenc –CanESM2–), l'ESAMB ha dut a terme un conjunt de regionalitzacions que han permès reduir l'escala de les projeccions climàtiques futures fins a una resolució d'un quilòmetre. Aquestes projeccions es basen en el concepte de regionalització estadística pel mètode dels anàlegs. Descrit al *Mètode Estadístic de Regionalització a Catalunya* (MERCAT), el qual es va desenvolupar en la tesi d'Altava-Ortiz (2010) i s'ha actualitzat i millorat al llarg de l'elaboració del model PRESCAT i l'execució del projecte ESAMB.

Aquestes projeccions estan concebudes pels 36 municipis integrats a l'AMB, tot i que a la pràctica abasten una porció de territori més extensa, delimitada per un marc territorial de forma rectangular que abasta 116 municipis complerts. Tots els municipis inclosos en aquest projecte, doncs, formen part de l'àmbit SIMMB, per bé que l'abasten només de manera parcial.

El projecte ESAMB va acompanyat d'un visor d'escenaris climàtics futurs, desenvolupat per l'AMB a partir d'aquest treball previ, que té en compte tres períodes temporals: el 2011-2040, el 2041-2070 i el 2071-2100; i tres escenaris d'emissions de CO<sub>2</sub>: l'ideal, el moderat i el pessimista, els quals fan referència als escenaris climàtics del cinquè informe de l'IPCC (AR5) RCP2,6, RCP4,5 i RCP8,5, respectivament.

Figura 3.1. Possibles escenaris de concentració d'emissions de CO<sub>2</sub>.



Font: ÀMB (2016). Escenaris climàtics futurs a l'àrea metropolitana de Barcelona.

El visor permet observar com variaran múltiples paràmetres relacionats amb la temperatura i la precipitació (fins a 35) als diferents municipis de l'àrea metropolitana de Barcelona a molt alta resolució. A més, consta de nou pantalles, que permeten visualitzar la informació combinada segons l'escenari d'emissions de CO<sub>2</sub> i el període temporal considerats. A continuació s'exposen alguns dels resultats més significatius d'aquestes projeccions de cara a l'enfocament del present informe.

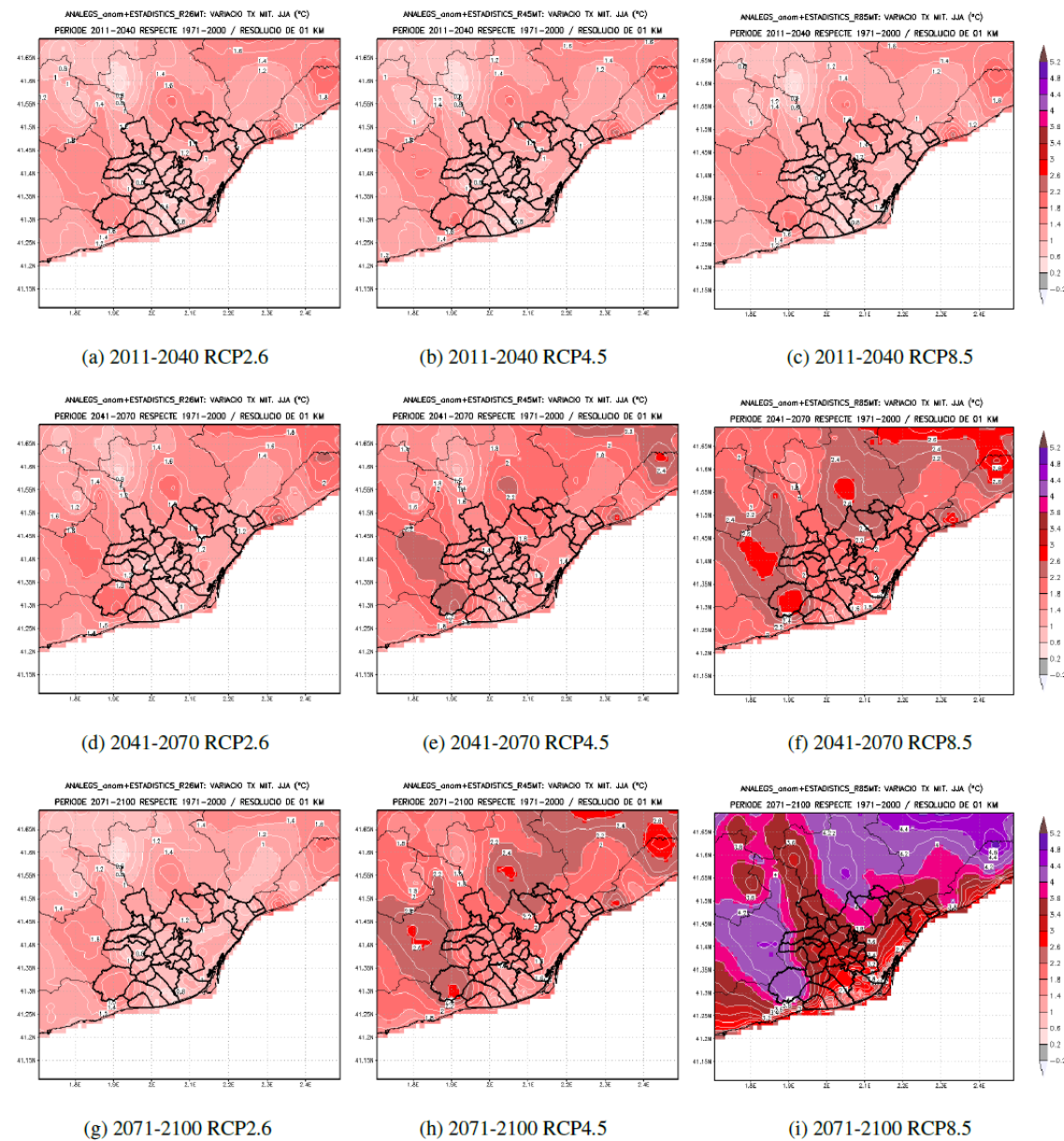
#### Temperatura

D'acord amb les projeccions, s'espera un augment de la mitjana de la temperatura màxima a l'estiu en els propers anys, el qual serà més significatiu a partir de la segona meitat de segle i més pronunciat com més elevades siguin les emissions de GEH. Aquest augment, però, no és tan generalitzat a l'escenari ideal, on l'increment de la temperatura varia entre 0,5 i 1,5 °C respecte el període 1971-2000. Amb tot, l'increment pot ser d'entre 3,8 i 4,7 °C si es consideren els escenaris més pessimistes.

Cal destacar, com es pot veure a la figura següent, que l'augment de la temperatura s'espera que sigui més gran als municipis interiors i del nord-est de l'AMB respecte els municipis de la costa, a excepció d'alguns punts litorals. Barcelona és el municipi on es preveu que es produeixi un augment més gran de la temperatura: a finals de segle, la temperatura mitjana podria ser de 19 °C considerant l'escenari moderat i de 20-21 °C considerant el pessimista. Altres municipis destacats són Castelldefels, Gavà, Viladecans, Sant Vicenç dels Horts, Pallemà i Sant Andreu de la Barca.



Figura 3.2. Mitjana de la temperatura màxima a l'estiu a l'AMB.



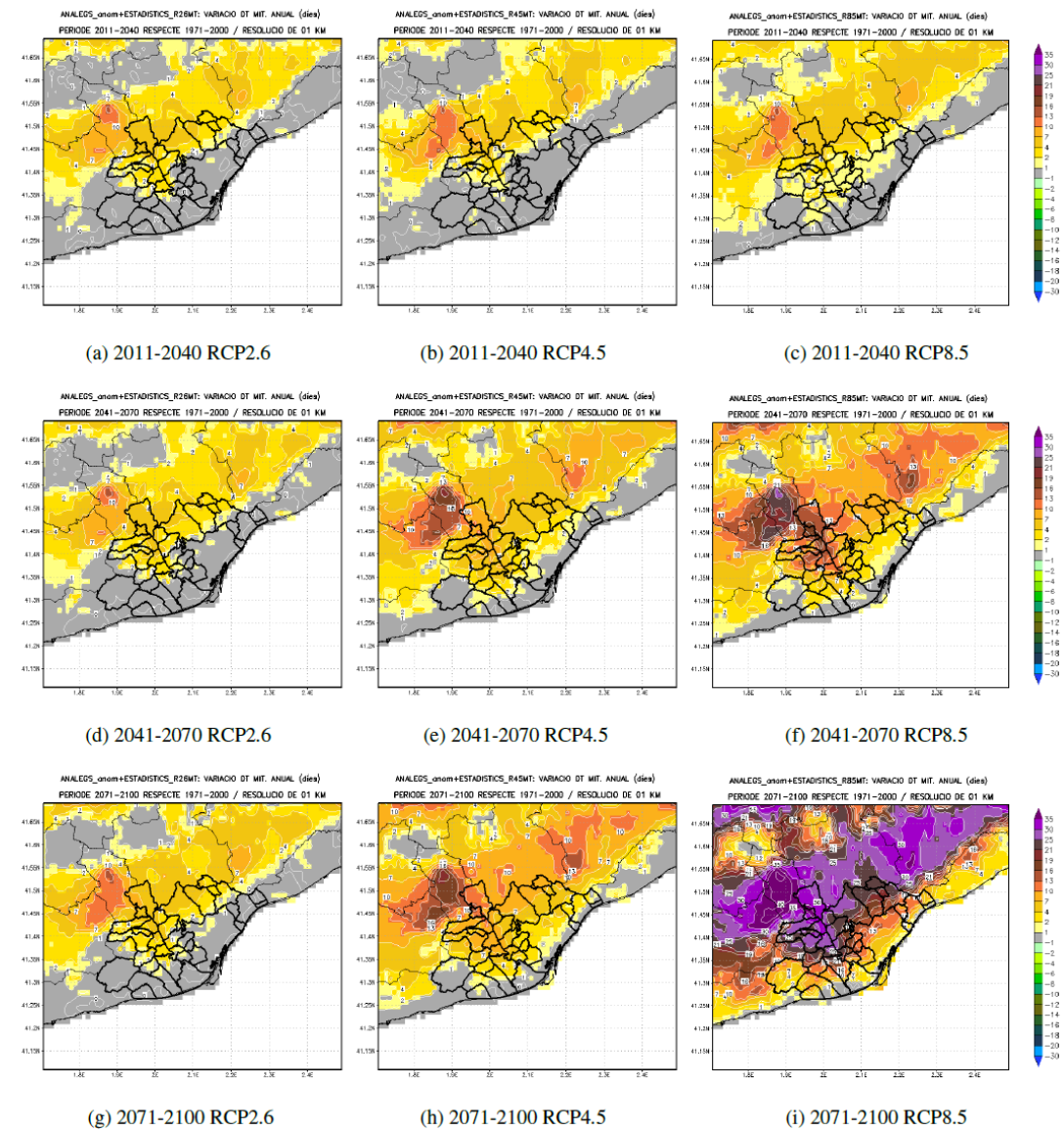
Font: Projecte ESAMB (2016).

Pel que fa al nombre de dies tòrrids, és a dir, dies en els quals es registra una temperatura diürna superior als 35 °C, tant per l'escenari ideal com pel moderat, la majoria de municipis registraran una mitjana d'entre 4 i 10 dies més a l'any respecte el període 1971-2000. No obstant, una vegada més, els registres més elevats es localitzaran a les zones no litorals de l'AMB: l'efecte termoregulador del mar provoca una estabilització quant a les temperatures. A més, l'altitud també té un efecte

termoregulador: les zones més altes de Collserola, la serralada de Marina i el Garraf presenten valors més baixos. D'aquesta manera, pràcticament no es preveuen canvis en aquests municipis pel que fa a aquesta variable.

Cal destacar, a més, els resultats en relació amb l'escenari pessimista. Si les emissions de GEH no es redueixen, alguns municipis podrien registrar entre 30 i 48 dies tòrrids a l'any, entre els quals: Pallejà, Sant Andreu de la Barca, Sant Vicenç dels Horts, Corbera de Llobregat, Santa Coloma de Cervelló, la Palma de Cervelló i Molins de Rei.

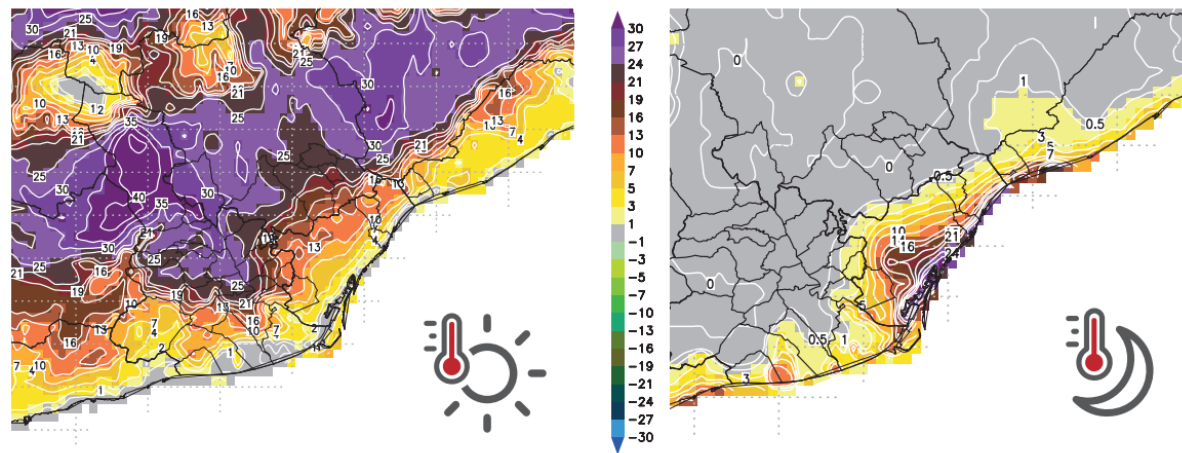
Figura 3.3. Nombre anual de dies tòrrids (TX >35 °C) als municipis de l'AMB.



Font: Projecte ESAMB (2016).

Per contra, les nits tòrrides, és a dir, les que registren temperatures superiors als 25 °C es concentren sobretot a la franja litoral de Barcelona, on podrien arribar a assolir 12 nits tòrrides a l'any.

Figura 3.4. Mapa de dies (dreta) i nits (esquerra) tòrrids (TX >35 °C i TX >25 °C, respectivament) a l'AMB pel període 2071-2100.



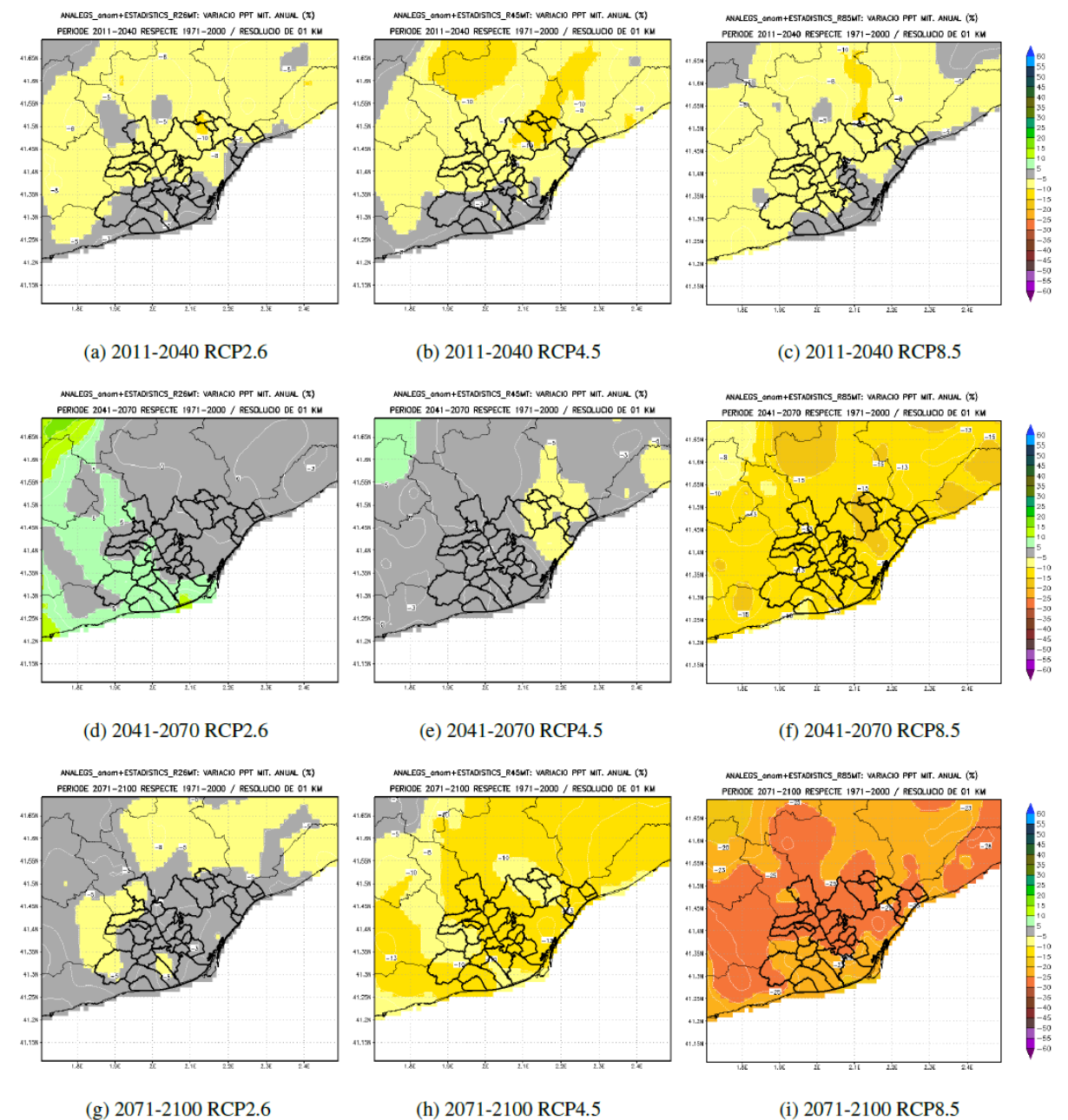
Font: ÀMB (2016). Escenaris climàtics futurs a l'àrea metropolitana de Barcelona.

### Precipitació

La projecció de la precipitació al territori de l'AMB mostra una elevada variabilitat al llarg del segle XXI, que estableix el manteniment de l'alternança actual entre anys secs i humits, sense mostrar una tendència clara entre els diferents models i escenaris. D'altra banda, i a l'inrevés del que s'esdevé amb la temperatura, no es constata una correlació evident entre l'augment de les emissions de GEH i l'increment o disminució de la precipitació. En tot cas, segons els models utilitzats sembla existir un cert acord en una reducció de la precipitació durant la primavera i l'estiu a mesura que s'incrementen les emissions en els escenaris moderat i pessimista.

Aquesta reducció comporta que, a partir del 2070, es projecti una freqüència més elevada de períodes secs i una disminució més consistent de la precipitació mitjana anual. Concretament, sota l'escenari pessimista, a tots els municipis de l'AMB hi hauria una disminució superior al 19 % de la precipitació mitjana anual durant el darrer terç de segle, de la qual la reducció màxima seria la projectada al terme municipal de Barcelona (-30 %).

Figura 3.5. Variació de la precipitació màxima diària anual respecte el període de referència 1971-2000.



Font: Projecte ESAMB (2016).

Pel que fa a la quantitat de precipitació diària, es projecta una reducció del nombre de dies amb precipitació inferior a 5 mm, que seria de fins al 20% a gran part dels municipis de l'AMB. Aquesta disminució presenta una relació directament proporcional amb les concentracions de CO<sub>2</sub> a



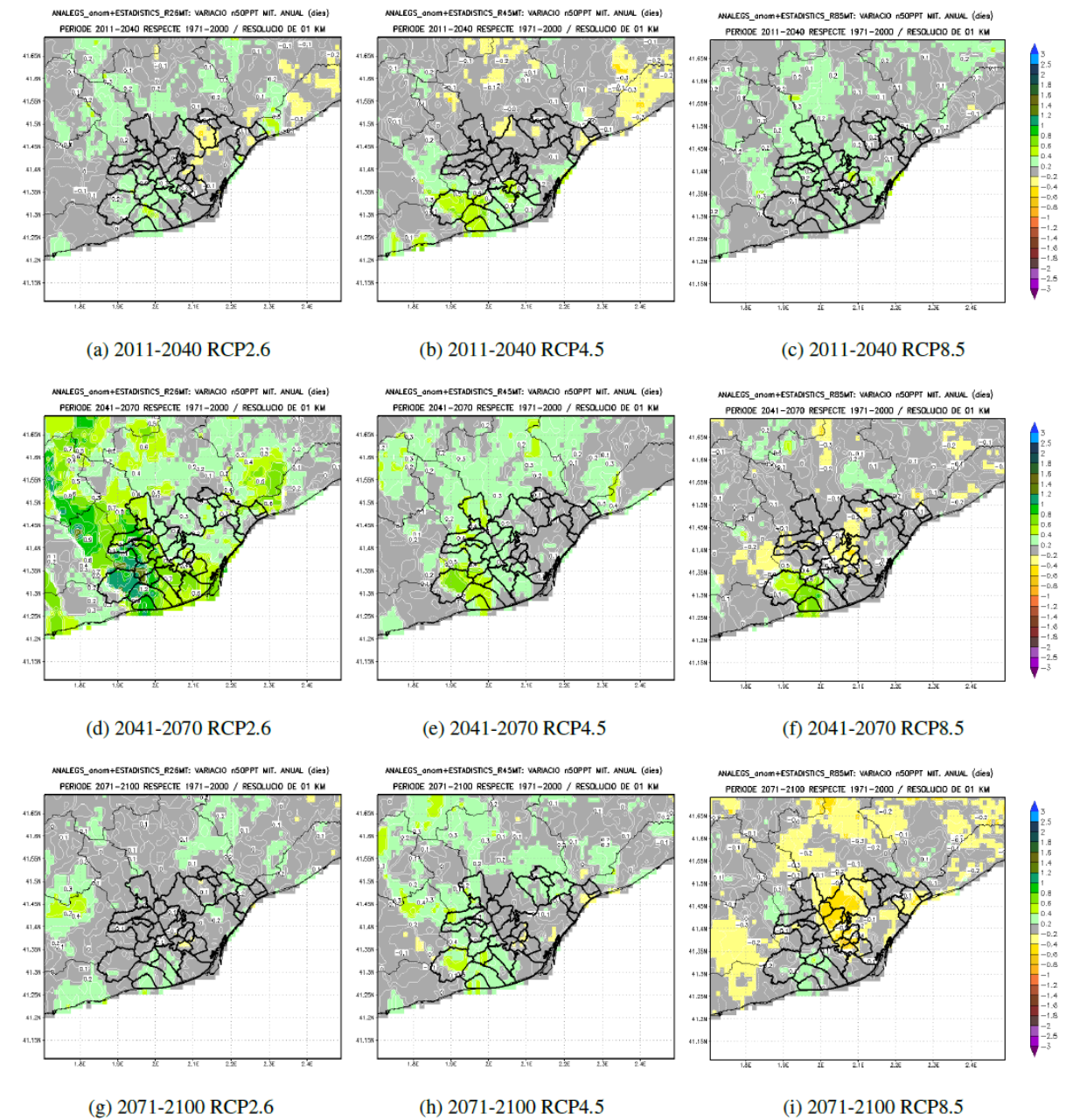
l'atmosfera, atès que com més severitat hi ha de l'escenari d'emissions, més gran és la reducció del nombre de dies.

Per contra, els escenaris indiquen un increment important en la probabilitat d'ocurrència de valors diaris de precipitació molt significativa. Pel que fa a la precipitació diària superior a 50 mm, en general es preveu un augment gairebé independent de l'RCP i període considerat, sobretot centrat a la zona del Baix Llobregat. Concretament, els augments màxims per al període 2041-2070 s'esperen de gairebé un dia, i a finals de segle d'aproximadament 0,5 dies. D'altra banda, amb relació als valors de precipitació superior als 100 mm l'augment projectat també és considerable per a la majoria d'escenaris.

Més informació:

<https://www.amb.cat/es/web/ecologia/actualitat/noticies/detall/-/noticia/escenaris-climatic-futurs/7068651/11818>

Figura 3.6. Nombre anual de dies amb precipitació superior a 50 mm.



Font: Projecte ESAMB (2016).

#### 4. Informes de l'AMB sobre canvi climàtic

L'AMB, a banda del projecte ESAMB presentat a l'apartat precedent –i en el marc del Pla de sostenibilitat ambiental de l'AMB (PSAMB) 2014-2020– ha encarregat una sèrie d'informes específics sobre el canvi climàtic<sup>9</sup>:

Amb relació a l'adaptació, el PSAMB planteja com a mesura l'estudi dels impactes del canvi climàtic sobre el territori Metropolità i la seva capacitat d'adaptació, així com l'estudi de la resiliència de les infraestructures metropolitanas (Eix energia i canvi climàtic). En el mateix eix, també proposa la creació d'un Observatori Metropolità de Canvi Climàtic, el qual avui dia ja és una realitat i es coneix com a METROBS.

El METROBS té per objectiu esdevenir l'eina de comunicació referent de les actuacions en matèria de mitigació i adaptació al canvi climàtic, i ser el punt de trobada entre diferents experts i agents implicats en la temàtica. Sorgeix d'un conveni de col·laboració entre el Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC) i l'AMB, i actualment ja compta amb un gran nombre d'informes accessibles en línia, els més rellevants dels quals als efectes del present informe, s'exposen a continuació.

- Escenaris climàtics futurs a l'àrea metropolitana de Barcelona (2017).

El document té per objectiu facilitar la comprensió de les aportacions del projecte ESAMB (vegeu apartat anterior). D'aquesta manera, fa un recull de la informació obtinguda de les projeccions climàtiques i una síntesi de les variacions esperades en la temperatura i la precipitació al llarg dels tres períodes temporals definits a l'ESAMB segons cada escenari d'emissions de GEH.

Figura 4.1. Dies càlids (TX>30 °C), nits tropicals (TN>20 °C) i dies (TX>35 °C) i nits tòrrides (TN>25 °C) de mitjana anuals en el període 2071-2100 considerant l'escenari moderat i pessimista. Exemple de contingut de síntesi disponible al present informe.

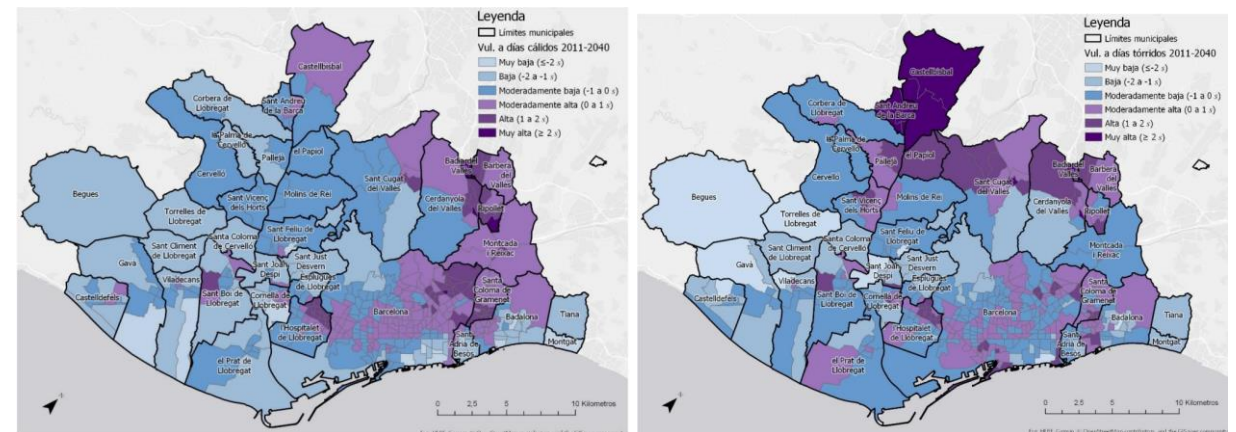
|   | ► 2071-2100 |                               |                                  |                                |                                 |
|---|-------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
|   |             | Dies càlids de mitjana anuals | Nits tropicals de mitjana anuals | Dies tòrrids de mitjana anuals | Nits tòrrides de mitjana anuals |
| valor de referència sobre el qual s'apliquen els canvis |             | 25,5                          | 24,2                             | 2,5                            | 0,3                             |
|   |             | <b>+31,9</b>                  | <b>+25,5</b>                     | <b>+4,1</b>                    | <b>+0,6</b>                     |
|   |             | <b>+58,3</b>                  | <b>+44,3</b>                     | <b>+9,8</b>                    | <b>+1,3</b>                     |

Font: AMB (2016). Escenaris climàtics futurs a l'àrea metropolitana de Barcelona.

- Vulnerabilitat de la població a la calor extrema a l'àrea metropolitana de Barcelona (2018). L'informe és una guia tècnica per calcular la vulnerabilitat de la població de l'AMB a la calor extrema i inclou recomanacions per a futures línies d'acció. Mitjançant una metodologia simplificada aplicada sobre l'escenari RCP4,5 (2011-2040), es determina que les zones vulnerables s'estenen en el territori Metropolità i varien en funció de l'escenari de calor extrema, la sensibilitat de la població i la capacitat adaptativa de la zona en qüestió.

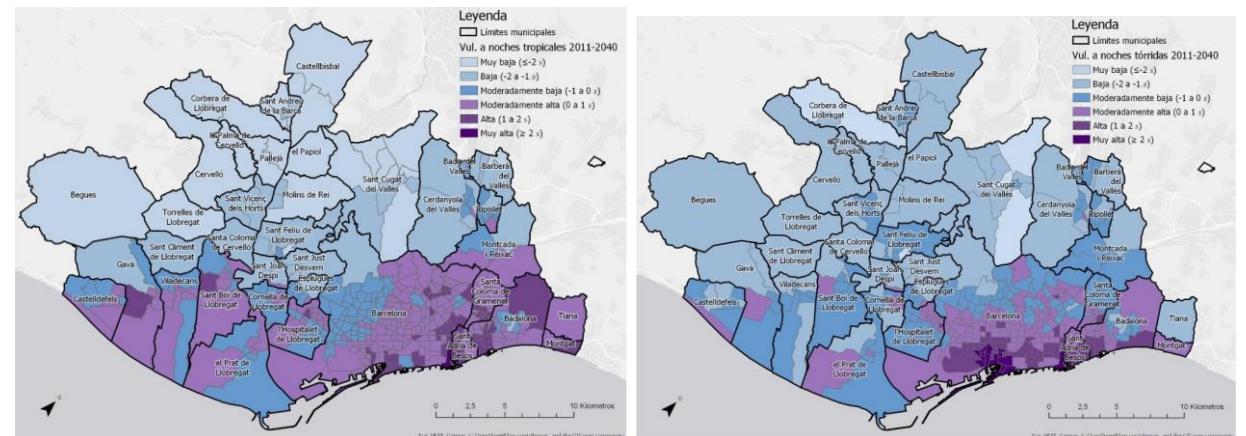
Pel que fa als dies càlids i tòrrids, en general els municipis més vulnerables es troben a la part nord-est i sud-est del territori, mentre que els municipis del sud i sud-est són els més vulnerables a patir nits tropicals i tòrrides (vegeu figures següents).

Figura 4.2. Vulnerabilitat als dies càlids (esquerra) i els dies tòrrids (dreta) a l'AMB.



Font: AMB (2018). Vulnerabilitat de la població a la calor extrema a l'àrea metropolitana de Barcelona.

Figura 4.3. Vulnerabilitat a les nits tropicals (esquerra) i les nits tòrrides (dreta) a l'AMB.



Font: AMB (2018). Vulnerabilitat de la població a la calor extrema a l'àrea metropolitana de Barcelona.

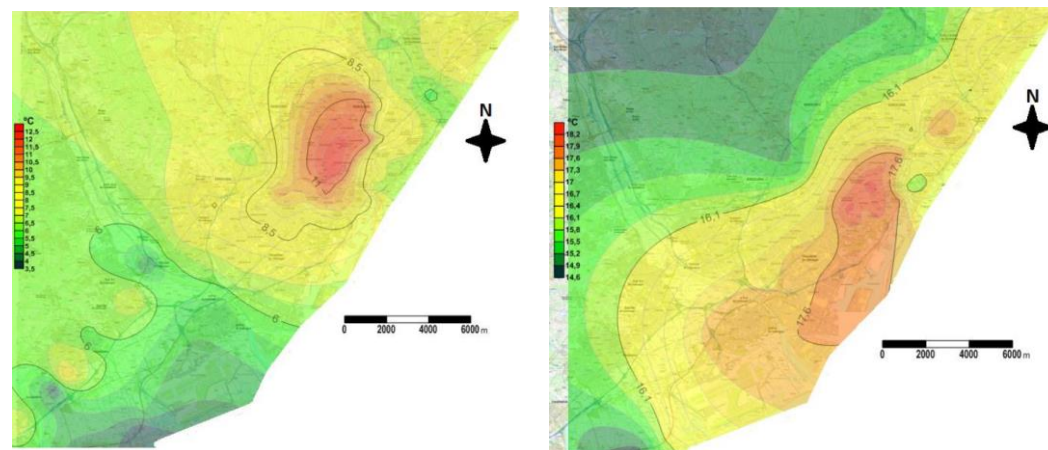
<sup>9</sup> El PSAMB inclou un eix d'actuació relatiu a la mobilitat sostenible, amb mesures orientades a la mitigació com ara el foment dels vehicles elèctrics i la reducció en l'ús dels vehicles privats a través del *carsharing* o el *carpooling*, així com la promoció de la bicicleta com a mitjà de transport sostenible.



- **L'illa de calor a l'àrea metropolitana de Barcelona i l'adaptació al canvi climàtic (2015).** L'informe estableix que el fenomen d'illa de calor urbana és especialment notable a la ciutat de Barcelona, atès que el 90% de les nits s'ha detectat aquest efecte, arribant-se a registrar diferències de temperatura de fins a 7,5 °C. No obstant, s'observen "illots de calor" (efecte illa de calor a menor escala) a tots els municipis de l'AMB.

L'efecte de l'illa de calor és especialment intens entre els mesos d'octubre i març, sent l'hivern l'estació en la qual es manifesta amb una intensitat major. Per contra, es constata un efecte esmoreïdor de la infraestructura verda i blava dels municipis, la qual ajuda a disminuir la temperatura.

Figura 4.4. Configuració de l'illa de calor a l'AMB els dies 17/01/2015 i 7/11/2015.



Font: AMB (2015). L'illa de calor a l'àrea metropolitana de Barcelona i l'adaptació al canvi climàtic.

- **Efectes del canvi climàtic al litoral de Barcelona (2015).** L'informe analitza els efectes del canvi climàtic a les platges de Gavà i Sant Sebastià-Barceloneta (Barcelona) i als ports de Barcelona (Fòrum i Olímpic) i de Badalona pel que a l'augment del nivell del mar, l'onatge i l'acumulació de sedimentació.

Les principals conclusions que s'extreuen de l'estudi són que platja de Gavà és la que pot tenir més afectació ja que és de baixa cota i de tipus dissipatiu, mentre que les afectacions a la platja de Barcelona són més incertes perquè varien molt en funció de la direccionalitat de l'onatge. En el cas dels ports, es determina que el canvi climàtic comportarà canvis en els cabals d'ultrapassament i en els patrons de propagació de l'onatge i, per tant, en l'agitació portuària, tot afectant la seva explotació.

- **Evolució de les inundacions a l'àrea metropolitana de Barcelona des d'una perspectiva holística: passat, present i futur (2017).** Tal i com indica el títol, l'informe analitza les inundacions que ha patit l'àrea metropolitana de Barcelona i com evolucionaran per raó del canvi climàtic.

L'informe indica que s'ha registrat un cert augment de les inundacions als municipis de l'AMB sense considerar el municipi de Barcelona (en el qual han disminuït), principalment per pluges *in situ*, però també pels canvis en els usos del sòl i l'augment de la cobertura impermeable.

Més informació:

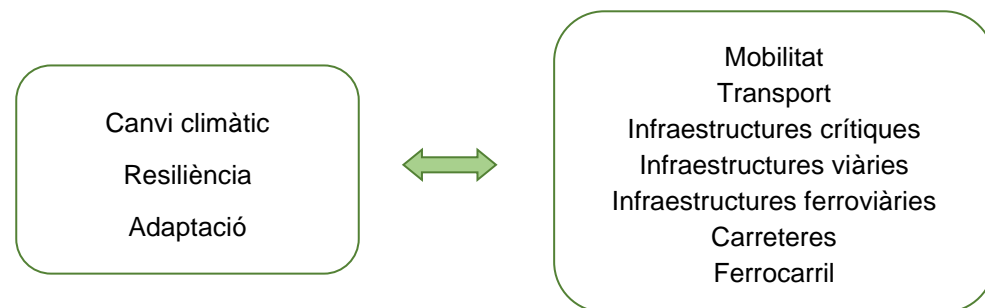
<http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/sostenibilitat/canvi-climatic/projectes-i-adhesions/metrobs>

*ANNEX 2. BENCHMARKING DE PLANS I ESTRATÈGIES D'ADAPTACIÓ*



## 1. Resiliència al canvi climàtic de les infraestructures de mobilitat: benchmarking internacional

Per tenir una visió de conjunt de l'estat de l'art en aquesta qüestió arreu del món s'ha realitzat una cerca general a internet en diferents idiomes –català, castellà, anglès i francès– utilitzant combinacions de les següents paraules clau:



La cerca s'ha prioritzat en països europeus, com a referent més proper, tot i que també s'han inclòs documents o projectes a nivell europeu o global, com es veurà en els següents apartats.

A escala europea, existeixen diverses plataformes que aglutinen informació en línia i de fàcil accés relativa a la mobilitat i/o a l'adaptació al canvi climàtic. En relació amb l'objectiu del present informe cal destacar les següents:

- **Plataforma Europea d'Adaptació al Clima** (Climate-ADAPT); <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>. La plataforma sorgeix de la col·laboració entre la CE i l'EEA. La seva funció és donar suport a Europa en l'adaptació al canvi climàtic, permetent als usuaris compartir i visualitzar dades i informació sobre el canvi climàtic a Europa, la vulnerabilitat actual i futura de diferents regions i sectors, les accions i estratègies d'adaptació nacionals i transnacionals de la UE, els estudis de cas d'adaptació, les possibles opcions d'adaptació i les eines a emprar en l'àmbit de la planificació.

Climate-ADAPT inclou una base de dades que conté informació verificada de qualitat i de fàcil accés, així com informació sobre projectes de recerca d'adaptació procedents de programes marc de la UE, programes de cooperació transnacional de la UE i altres programes internacionals.

- **Plataforma TRIMIS** (*Transport Research and Innovation Monitoring and Information System*); <https://trimis.ec.europa.eu/>. És una plataforma europea que recull tots els projectes i iniciatives promogudes per la CE, tant nacionals com internacionals, relacionades amb les infraestructures i els serveis de transport, la tecnologia i la innovació.

TRIMIS ofereix suport als responsables polítics i als investigadors en la identificació de les innovacions amb més futur i ajuda els responsables polítics a centrar les àrees en les quals la intervenció pública pot generar un valor afegit més gran.

### 1.1. Informes i documents d'organismes internacionals i nacionals

En el present apartat s'exposen les principals aportacions, majoritàriament informes, de diferents organismes internacionals en matèria d'adaptació al canvi climàtic, centrats especialment en adaptació sobre el sector del transport i les infraestructures de mobilitat.

#### 1.1.1. Nacions Unides

Arran de la Cimera de la Terra celebrada a Rio de Janeiro el 1992, va sorgir el tractat conegut com a Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, que respon a les sigles en anglès de UNFCCC –*United Nations Framework Convention on Climate Change*–. Aquest té per objectiu principal "estabilitzar les concentracions de GEH a l'atmosfera a un nivell que impedeixi interferències antropogèniques perilloses en el sistema climàtic. Aquest nivell s'hauria d'aconseguir dins un termini suficient perquè els ecosistemes s'adaptin naturalment al canvi climàtic, per assegurar que la producció d'aliments no es vegi amenaçada i per permetre que el desenvolupament econòmic continuï de manera sostenible". A més, tal i com s'ha explicat anteriorment l'UNEP va col·laborar en la configuració de l'IPCC.

A banda d'esforços en matèria de mitigació, com el Protocol de Kyoto el 1997 o l'Acord de París el 2015, l'adaptació al canvi climàtic és un pilar important per les polítiques de la UNFCCC. Entre d'altres, estableix que els països publiquin "comunicacions nacionals" cada 3-5 anys, on es determinin els impactes i les vulnerabilitats dels mateixos. A més, en matèria d'adaptació, l'Acord de París sorgit de la COP21 estableix que cal:

- Establir l'objectiu de millorar la capacitat adaptativa, reforçar la resiliència i reduir la vulnerabilitat al canvi climàtic.
- Reforçar la capacitat de les societats per afrontar els impactes del canvi climàtic.
- Implicar-se en processos nacionals de planificació de l'adaptació.
- Proporcionar un suport internacional continu per a l'adaptació dels països en desenvolupament.

La Unitat d'Adaptació al Canvi Climàtic de les Nacions Unides, inclosa dins del UNEP, se centra en quatre àrees d'actuació prioritàries:

- Adaptació basada en l'ecosistema: desenvolupament de projectes basats en la biodiversitat i els serveis ecosistèmics com a part d'una estratègia d'adaptació holística.
- Accés a finançament d'adaptació: ajuda a determinats països a disposar de finançament destinat a millorar la capacitat d'adaptació dels mateixos.
- Coneixement, anàlisi i treball en xarxa: difusió de coneixements relatius a l'adaptació a través de xarxes mundials ben connectades.
- Afavoriment de la relació entre la recerca i la presa de decisions en matèria d'adaptació al canvi climàtic a través del Programa mundial de ciències de l'adaptació (*World Adaptation Science Programme*, WASP).

Amb relació al tercer punt, les Nacions Unides va impulsar el **Centre Global d'Adaptació** (*Global Centre on Adaptation*, GCA), fundat com a *Global Centre of Excellence on Climate Adaptation* (GCECA) el 2017 arran de la celebració de la Conferència sobre el Canvi Climàtic (COP23). Amb seu als Països Baixos, engloba fins a 19 països que formen part de la Comissió Global d'Adaptació, de la qual Espanya no en forma part.

El GCA treballa pel desenvolupament d'accions per fer front a les amenaces relacionades amb el clima. Concretament, treballa en els àmbits de les infraestructures –amb l'objectiu de fer-les resistents als efectes del canvi climàtic–, les finances, la seguretat alimentària i els mitjans de vida rurals, les ciutats, les solucions basades en la natura i l'apoderament de les accions locals. A més, actua com a organisme intermediari facilitador de solucions, tot reunint governs, sector privat, societat civil, organismes intergovernamentals i centres de coneixement que poden abordar els obstacles que frenen l'adaptació. El Centre basa la seva activitat, també, en la millora i l'acceleració de solucions innovadores que catalitzin la transformació.

El setembre de 2019, va publicar un document (*Adapt now: A global call for leadership on climate resilience*) on es posa de manifest la necessitat d'actuar a favor de l'adaptació al canvi climàtic. L'adaptació proporciona múltiples beneficis: evita les pèrdues futures, té beneficis econòmics i també socials i ambientals. L'informe estableix que invertir 1,8 bilions de dòlars a escala global en el període 2020-2030 podria generar 7,1 bilions de dòlars de beneficis nets totals.

D'altra banda, el GCA ha desenvolupat una plataforma coneguda com a *UN's Global Adaptation Network* (GAN) que facilita la transmissió de coneixement entre diferents investigadors en temes d'adaptació climàtica. Entre d'altres, el GAN organitza els seus propis fòrums biennals, que reuneixen alguns dels principals experts en adaptació climàtica. Aquests fòrum tenen una gran influència en l'elaboració de polítiques a escala internacional. A més, la xarxa organitza intercanvis de coneixement internacionals arreu del món per compartir coneixements i experiències per a afavorir la resiliència de cada regió.

Pel que fa al WASP, aquest va ser desenvolupat sota el marc de la COP24, el 2018, pel WMO, la UNFCCC, l'IPCC i el Fons Climàtic Verd (GCF). El Programa té per objectiu general promoure el coneixement científic per l'elaboració de polítiques d'adaptació al canvi climàtic. Perquè així sigui, les funcions principals del WASP són:

- Estudiar informació basada en evidències per a la planificació, implementació i avaluació de l'adaptació.
- Identificar i abordar les llacunes de coneixement mitjançant la recerca.
- Enfortir les xarxes dins i a través de les comunitats científiques, polítiques i pràctiques per afavorir l'intercanvi de coneixements, la investigació i l'aprenentatge mitjançant la pràctica.
- Promoure l'enfortiment de la capacitat d'adaptació entre les comunitats investigadores, les polítiques i les professionals.

Prèviament, a la Cimera de Desenvolupament sostenible de Rio+10 a Johannesburg (2002) es van establir els anomenats Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni (ODM), amb horitzó 2015. Deu anys després, a la Cimera de Rio+20, el 2012, que va tenir lloc a la mateixa ciutat que acollí la primera Cimera de Desenvolupament sostenible el 1992, es va acordar iniciar un procés per a definir un nou paquet, més ambiciós i holístic, d'objectius de desenvolupament sostenible.

Els grans reptes identificats per avançar cap a un model de Desenvolupament Sostenible 2016-2030, acordats per l'ONU el 2016 es coneixen com a Objectius del Desenvolupament Sostenible (ODS) i resten definits a l'Agenda 2030 per al Desenvolupament Sostenible. Tenen una clara perspectiva sostenibilista, atès que integren qüestions socials, econòmiques i ambientals, entre les quals figuren temes relacionats amb l'adaptació i la resiliència.

Amb relació a l'àmbit d'interès del present estudi, els ODS més destacats són:

- Construir infraestructures resilents, promoure la industrialització inclusiva i sostenible i fomentar la innovació (Objectiu 9).
- Adoptar mesures urgents per combatre el canvi climàtic i els seus efectes (Objectiu 13).

El Govern de Catalunya va aprovar el setembre de 2019 el Pla nacional per a la implementació de l'Agenda 2030 a Catalunya, que té per objectiu vetllar per l'assoliment dels ODS mitjançant l'impuls de polítiques públiques. Amb un total de 920 compromisos i 169 fites, cal destacar les dues següents: la millora i el desenvolupament d'infraestructures del transport públic i de la mobilitat fiables, sostenibles, resilents i de qualitat (ODS 9) i el suport a les estratègies de resiliència orientades a adaptar els impactes i riscos ambientals, especialment els del canvi climàtic, en particular en els col·lectius més vulnerables (ODS 13).

Més informació:

<https://gca.org/our-work>

<http://web.unep.org/ganadapt/what-we-do>

### 1.1.2. Grup Banc Mundial

El Grup Banc Mundial (GBM) és una entitat internacional financera que tracta també qüestions de canvi climàtic centrades majoritàriament en països en vies de desenvolupament<sup>10</sup>. En concret, els ofereix suport tècnic i econòmic en l'elaboració de projectes relacionats amb el canvi climàtic. A la vegada els ajuda a complir, i fins i tot superar, els objectius establerts a l'Acord de París.

Altrament, el GBM junt amb d'altres entitats i mitjançant el programa de resiliència urbana (*City Resilience Program*, CRP), <https://www.gfdrr.org/en/crp>, ofereix suport econòmic i tècnic a 45 ciutats del món –majoritàriament d'Àfrica, Àsia i Amèrica del Sud– perquè elaborin projectes de resiliència urbana. Finalment, el GBM ha desenvolupat una eina, coneguda com a *Climate Change Knowledge Portal*, <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/spain/adaptation>, que recopila dades climàtiques històriques, projectades i per sectors (energia, aigua, agricultura i salut), així com altres impactes, vulnerabilitats i mesures d'adaptació adoptades a nivell nacional.

<sup>10</sup> Amb la publicació del seu Pla d'Acció d'Adaptació al Canvi Climàtic i Resiliència el 2019, el GBM s'ha compromès a incrementar el finançament destinat de manera directa a projectes d'adaptació al canvi climàtic fins els 50.000 milions de dòlars pel període 2021-2025.

El GBM ha elaborat documents i realitzat projectes de diferents temàtiques en diversos indrets del món (<http://documents.worldbank.org/curated/en/topic>). En matèria de mobilitat i infraestructures de transport cal destacar:

- *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity* (2019)  
<http://documents.worldbank.org/curated/en/596481561015364731/pdf/Lifelines-The-Resilient-Infrastructure-Opportunity.pdf>
- *Transport Sector Recovery: Opportunities to Build Resilience* (2018)  
<http://documents.worldbank.org/curated/en/624471541689229858/pdf/131902-WP-PUBLIC-transport-sector-recovery.pdf>
- Documents a escala local. A nivell europeu, el GBM ha tractat casos de països de l'est d'Europa com Albània (*Climate Resilient Road Assets in Albania*, 2019), Geòrgia (*Secondary Road Asset Management Project*, 2016) o Bòsnia i Hercegovina (*Floods Emergency Recovery Project*, 2019).  
<http://documents.worldbank.org/curated/en/696431556877729366/pdf/Climate-Resilient-Road-Assets-in-Albania.pdf>  
<http://documents.worldbank.org/curated/en/942531541999164564/pdf/SRAMP-EMP-Chrebalo-Nikortsminda-final.pdf>  
<http://projects.worldbank.org/P151157?lang=en>

Dels documents esmentats cal destacar-ne el primer. L'informe, publicat el 2019, defensa que la inversió en infraestructures resilents és una mesura urgent i significativa, ja que les afectacions sobre aquestes generen una sèrie d'impactes, tant directes com indirectes, sobre la població i les empreses, a més d'una sèrie de costos econòmics associats.

Actualment, als països amb ingressos baixos o mitjans –països en els quals se centra l'informe– s'estan realitzant inversions massives en infraestructures però, en moltes ocasions, sense tenir en compte la resiliència, fet que comporta un augment de la seva vulnerabilitat. Cal tenir present que la resiliència s'ha d'entendre a diferents nivells, com pot veure's a la Figura 4.1. Es consideren els actius de la infraestructura, és a dir, les diferents construccions que formen part de la infraestructura com a tal (carreteres, ponts o línies elèctriques, entre d'altres); els serveis que proporcionen; i els usuaris que se'n beneficien.

Figura 1.1. Diferents nivells superposats i complementaris als quals afecta la resiliència d'una infraestructura.



Font: GBM (2019). *Lifelines: Tomando acción hacia una infraestructura más resiliente.*

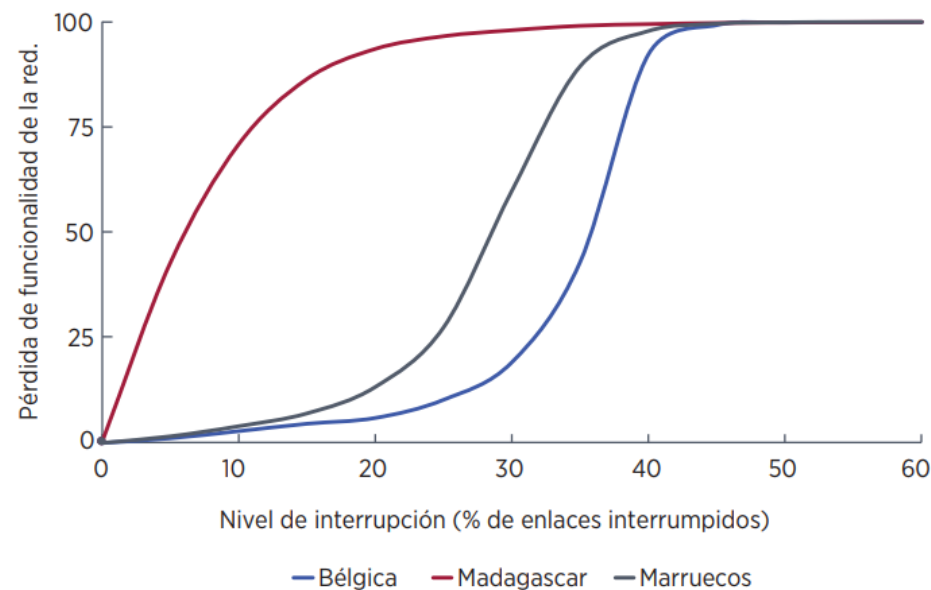
Malgrat que la inversió inicial és elevada, d'acord amb l'informe esmentat, per cada dòlar invertit, es generen beneficis en el 96% dels milers d'escenaris que analitzen possibles futures tendències socioeconòmiques i climàtiques. A l'escenari mitjà, el benefici net d'invertir en una infraestructura més resilient en els països d'ingressos baixos i mitjans és de 4 dòlars per cada dòlar invertit, proporció que es duplica si es té en compte el canvi climàtic.

Aquesta inversió es redueix si es treballa a nivell de xarxa i de sistema, considerant la importància crítica, la redundància, la descentralització i les solucions basades en la natura com a opcions addicionals. Per exemple, tal i com s'il·lustra a la figura següent, una xarxa de carreteres resilient, com seria el cas de Bèlgica, pot tenir molts actius afectats (trams de carretera) sense perdre la seva funcionalitat, mentre que xarxes fràgils amb poca redundància, com la de Madagascar, es tornen poc funcionals fins i tot amb danys lleus.

També s'estableix que comprendre les necessitats i les capacitats dels usuaris ajuda les empreses de serveis públics a determinar millor on invertir i quina part de la xarxa cal enfortir. Així, en cas d'emergència, els elements clau del sistema minimitzen el risc d'eventuals afectacions.



Figura 1.2. Comparació de la capacitat d'absorció de les disrupcions de les infraestructures vials de Bèlgica, Madagascar i Marroc.



Font: GBM (2019). *Lifelines: Tomando acción hacia una infraestructura más resiliente.*

### 1.1.3. Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament (OCDE)

L'Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament (OCDE), fundada el 1961, agrupa 36 països del món amb la missió de promoure polítiques que afavoreixin el benestar social i econòmic de la població. En matèria d'adaptació, l'OCDE recolza els esforços dels països per preparar-se pels efectes del canvi climàtic proporcionant anàlisis imparcials i assessorament polític, i afavorint la difusió d'experiències entre el sector públic i el privat. Als efectes del present informes cal destacar els següents documents:

- **Adapting Transport to Climate Change and Extreme Weather** (2016), publicat pel Fòrum Internacional del Transport –*International Transport Forum* (ITF)–, un organisme de l'OCDE. L'informe analitza els reptes fonamentals causats pel canvi climàtic que afronten les infraestructures. L'informe destaca que els impactes sobre les infraestructures de transport són difícils de predir, de manera que els seus estàndards de disseny poden portar a grans inversions poc productives (pel risc de sobre-especificació) o per degradacions del servei (per risc de sub-especificació). El document, doncs, investiga una sèrie d'estratègies per ajudar les autoritats de transport a mantenir el rendiment de les xarxes en condicions de variabilitat dels patrons meteorològics i en cas d'episodis extrems.

[https://read.oecd-ilibrary.org/transport/adapting-transport-to-climate-change-and-extreme-weather\\_9789282108079-en#page2](https://read.oecd-ilibrary.org/transport/adapting-transport-to-climate-change-and-extreme-weather_9789282108079-en#page2)

- **Investing in Climate, Investing in Growth** (2017). L'informe duu a terme una avaluació sobre com els governs generen un creixement econòmic a curt termini a la vegada que compleixen amb els objectius climàtics, amb la finalitat final d'assolir un creixement sostenible a llarg termini.

<https://www.oecd.org/environment/cc/g20-climate/synthesis-investing-in-climate-investing-in-growth.pdf>

- **Boosting Resilience through Innovative Risk Governance** (2014). L'informe examina què han aconseguit els països en matèria de resiliència mitjançant una millor gestió del risc i identifica els reptes persistents. Se centra en la creació d'un entorn institucional que impliqui totes les parts interessades i que els permeti construir resiliència davant els futurs xocs.

[https://read.oecd-ilibrary.org/governance/boosting-resilience-through-innovative-risk-management\\_9789264209114-en#page1](https://read.oecd-ilibrary.org/governance/boosting-resilience-through-innovative-risk-management_9789264209114-en#page1)

### 1.1.4. Unió Europea

La UE és un organisme rellevant en l'adaptació al canvi climàtic, ja que les estratègies d'adaptació s'apliquen a diferents nivells administratius: no només locals, regionals o estatals, sinó que també a nivell europeu i internacional. El paper de la UE pot ser especialment important en els casos en què els impactes del canvi climàtic traspassin les fronteres dels Estats Membres i també per garantir que, fins i tot les regions més desfavorides, tenen la capacitat de desenvolupar mesures d'adaptació. La UE disposa d'una estratègia d'adaptació pròpia al canvi climàtic (vegeu 2.1 *Estratègia d'adaptació al canvi climàtic de la UE 2013-2020*).

La UE finança, a través de diferents instruments, l'adaptació a Europa. Per exemple, el marc financer plurianual 2014-2020–*Multiannual Financial Framework* (MFF)–, és a dir, el pressupost a llarg termini de la UE, garanteix que almenys el 20% del pressupost europeu vagi destinat a temàtiques relacionades amb el clima. També es destina finançament a través del Banc Europeu d'Inversions i del Banc Europeu per a la Reconstrucció i el Desenvolupament. A més, la UE és la principal contribuïdora de les finances climàtiques als països en desenvolupament.

A banda de l'activitat econòmica, hi ha una sèrie d'organismes i programes europeus que, amb la seva tasca, contribueixen a potenciar l'adaptació. Per exemple, l'EEA és un organisme de la UE que té per missió proporcionar informació rellevant i fiable als diferents agents polítics i públics per avançar cap a un desenvolupament sostenible al continent europeu. L'EEA desenvolupa una important tasca de recerca, i publica periòdicament una sèrie de documents, mapes i dades, de les quals cal destacar l'informe "*Climate change, impacts and vulnerability in Europe*" (vegeu 1.2 *Climate change, impacts and vulnerability in Europe*).

Copernicus, al seu torn, és el programa de la UE de monitorització terrestre. En col·laboració amb l'EEA, combina dades obtingudes a partir d'observacions de satèl·lits i sensors a la superfície terrestre per disposar d'una imatge completa del planeta. Concretament, ha desenvolupat una sèrie de subprogrames temàtics que ofereixen dades i informació de diferents àmbits: el medi marí i terrestre, l'atmosfera, la gestió d'emergències, la seguretat i el canvi climàtic. Aquest darrer, el *Copernicus Climate Change Service* (C3S), proporciona informació consistent i accessible en línia sobre canvi climàtic pel suport en l'elaboració de polítiques d'adaptació i també de mitigació.



Finalment, la UE al llarg dels anys ha desenvolupat i donat suport, tant tècnic com financer, a programes de recerca i innovació, incloent l'adaptació al canvi climàtic., com s'esdevé amb el vigent programa Horizon 2020 (vegeu Annex 2, apartat 1.2. Projectes singulars de la UE).

No obstant, en aquest cas cal destacar l'informe "*Climate change adaptation of major infrastructure projects. A stock-taking of available resources to assist the development of climate resilient infrastructure*" que, malgrat no ha estat elaborat sota el programa Horizon 2020, és d'interès pel present estudi.

En català "Adaptació al canvi climàtic dels principals projectes d'infraestructura. Un estoc de recursos disponibles per ajudar al desenvolupament d'infraestructures resistents al clima" i finalitzat el 2018, l'estudi se centra en l'adaptació del canvi climàtic de grans infraestructures, incloent les infraestructures de transport, però també les de gestió de l'aigua, residus i energia, i altres infraestructures urbanes.

Inicialment, l'informe analitza la disponibilitat de recursos en matèria d'adaptació al canvi climàtic – metodologies, projectes, dades, eines, estàndards, directrius i altra documentació administrativa– a nivell de la UE i de cada país que la conforma (vegeu taula següent).

Taula 1.1. Nombre de recursos identificats per categories a nivell de la UE i dels diferents països que la conformen.

| Identified resources | Data Availability | Methodologies | Tools | Guidance | Design standards | System | Institutional capacity | Transport | Broadband | Urban Development | Energy | Water | Waste | Case studies |
|----------------------|-------------------|---------------|-------|----------|------------------|--------|------------------------|-----------|-----------|-------------------|--------|-------|-------|--------------|
| EU                   | 60                | 27            | 28    | 18       | 39               | 22     | 23                     |           |           |                   |        |       |       |              |
| Austria              | 16                | 12            | 7     | 9        | 3                | 7      | 7                      | 5         | 4         | 10                | 11     | 14    | 7     | 2            |
| Belgium              | 50                | 24            | 22    | 22       | 12               | 31     | 11                     | 17        | 5         | 27                | 10     | 32    | 8     | 3            |
| Bulgaria             | 12                | 4             | 5     | 4        | 3                | 12     | 8                      | 6         | 3         | 6                 | 3      | 13    | 7     | 1            |
| Croatia              | 17                | 2             | 8     | 2        | 4                | 23     | 13                     | 1         | 2         | 1                 | 0      | 12    | 4     | 1            |
| Cyprus               | 15                | 5             | 11    | 3        | 3                | 8      | 12                     | 5         | 4         | 5                 | 3      | 9     | 4     | 3            |
| Czech Republic       | 23                | 3             | 9     | 3        | 4                | 5      | 9                      | 13        | 4         | 7                 | 5      | 15    | 3     | 0            |
| Denmark              | 16                | 5             | 10    | 8        | 3                | 17     | 16                     | 16        | 1         | 7                 | 4      | 15    | 4     | 2            |
| Estonia              | 33                | 8             | 10    | 15       | 5                | 16     | 9                      | 3         | 3         | 7                 | 3      | 12    | 5     | 5            |
| Finland              | 20                | 3             | 12    | 8        | 4                | 19     | 11                     | 5         | 6         | 7                 | 6      | 10    | 5     | 2            |
| France               | 28                | 4             | 18    | 10       | 4                | 13     | 12                     | 11        | 10        | 7                 | 6      | 13    | 4     | 2            |
| Germany              | 25                | 8             | 14    | 3        | 10               | 18     | 8                      | 4         | 3         | 10                | 2      | 18    | 4     | 3            |
| Greece               | 14                | 14            | 6     | 2        | 4                | 6      | 5                      | 6         | 3         | 5                 | 2      | 9     | 4     | 3            |
| Hungary              | 23                | 8             | 7     | 5        | 3                | 9      | 8                      | 3         | 8         | 8                 | 4      | 13    | 9     | 2            |
| Ireland              | 26                | 1             | 11    | 4        | 4                | 13     | 11                     | 4         | 3         | 4                 | 2      | 7     | 2     | 3            |
| Italy                | 10                | 7             | 6     | 10       | 5                | 7      | 3                      | 0         | 2         | 5                 | 0      | 11    | 3     | 2            |
| Latvia               | 25                | 2             | 6     | 4        | 3                | 12     | 12                     | 2         | 3         | 4                 | 4      | 12    | 5     | 1            |
| Lithuania            | 31                | 4             | 5     | 6        | 4                | 19     | 14                     | 8         | 3         | 3                 | 2      | 9     | 5     | 1            |
| Luxembourg           | 10                | 2             | 9     | 5        | 3                | 9      | 4                      | 4         | 2         | 11                | 2      | 16    | 5     | 2            |
| Malta                | 7                 | 4             | 5     | 3        | 3                | 14     | 9                      | 0         | 1         | 0                 | 0      | 10    | 4     | 1            |
| Netherlands          | 30                | 7             | 10    | 18       | 4                | 13     | 10                     | 16        | 7         | 27                | 7      | 18    | 12    | 3            |
| Poland               | 13                | 7             | 8     | 8        | 5                | 9      | 2                      | 12        | 4         | 9                 | 4      | 13    | 6     | 2            |
| Portugal             | 15                | 6             | 10    | 8        | 3                | 12     | 5                      | 3         | 2         | 6                 | 2      | 9     | 6     | 3            |
| Romania              | 24                | 7             | 8     | 6        | 3                | 12     | 8                      | 3         | 3         | 2                 | 3      | 22    | 3     | 4            |
| Slovakia             | 8                 | 3             | 4     | 3        | 2                | 21     | 2                      | 9         | 5         | 5                 | 4      | 12    | 5     | 3            |
| Slovenia             | 11                | 7             | 7     | 9        | 3                | 10     | 4                      | 1         | 1         | 3                 | 1      | 12    | 3     | 2            |
| Spain                | 20                | 3             | 10    | 7        | 3                | 17     | 4                      | 20        | 2         | 12                | 4      | 17    | 4     | 3            |
| Sweden               | 25                | 3             | 17    | 11       | 3                | 30     | 6                      | 7         | 2         | 9                 | 3      | 12    | 4     | 3            |
| United Kingdom       | 17                | 6             | 21    | 23       | 8                | 16     | 13                     | 16        | 9         | 13                | 15     | 13    | 7     | 3            |

Font: EY, ARCADIS (2018). Climate change adaptation of major infrastructure projects. A stock-taking of available resources to assist the development of climate resilient infrastructure.

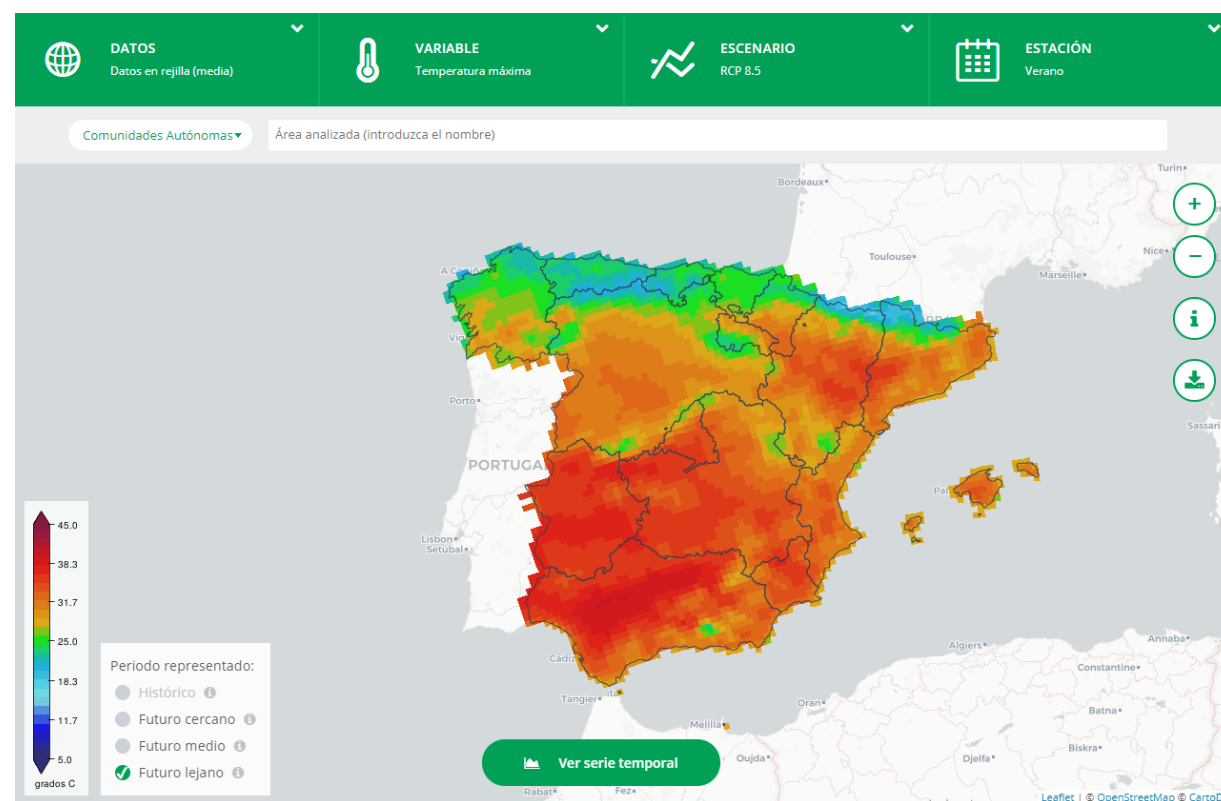
L'informe també identifica algunes de les bones pràctiques en curs dels estats membres en matèria d'adaptació. Algunes de les experiències en relació amb la mobilitat s'han incorporat a l'apartat de Benchmarking (vegeu Annex 2. Benchmarking de plans i estratègies d'adaptació).

Altrament, ha desenvolupat una sèrie de documents extensos centrats en cada país de la UE, ampliant la informació presentada a l'informe general. En el cas d'Espanya, s'inclouen una sèrie de recursos, entre els quals cal destacar:

- El portal d'informació sobre l'adaptació al canvi climàtic i visor d'escenaris climàtics de la Plataforma sobre Canvi Climàtic (AdapteCCa) (<https://www.adaptecca.es/>). El visor ha estat desenvolupat sota el marc del PNACC, i es basa en dades d'AEMET i altres projeccions procedents de la iniciativa internacional Euro-CORDEX i del Grup de Meteorologia de Santander. L'objectiu de l'eina és proporcionar informació de qualitat i actualitzada sobre el clima futur a tots els públics, facilitar el desenvolupament d'estudis d'impactes i desenvolupar mesures d'adaptació al canvi climàtic.

Les variables que mostra estan relacionades amb la temperatura, la precipitació, la velocitat del vent i la humitat relativa. Considera els escenaris RCP4,5 i RCP8,5 per tres horitzons temporals: proper (2011-2040), mitjà (2041-2070) i llunyà (2071-2100).

Figura 1.3. Temperatura màxima prevista pel període 2071-2100 a l'estiu, considerant l'escenari més pessimista.



Font: Visor d'escenaris de Canvi Climàtic ([http://escenarios.adaptecca.es/#&model=multimodel&variable=tasma&scenari=rcp85&temporalFilter=YEAR&layers=AREAS&period=MEDIUM\\_FUTURE&anomaly=RAW\\_VALUE](http://escenarios.adaptecca.es/#&model=multimodel&variable=tasma&scenari=rcp85&temporalFilter=YEAR&layers=AREAS&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE))

- L'eina MEDITATION, que és una base de dades estructurada de mètodes i instruments disponibles per donar suport a l'avaluació dels impactes del canvi climàtic i la vulnerabilitat, i la presa de decisions en matèria d'adaptació.
- El projecte pilot Iniciativa ADAPTA, amb l'objectiu d'explorar opcions i eines d'adaptació per incorporar consideracions de risc i vulnerabilitat en les diferents estratègies empresarials.

En aquest document, també, es presenta com a estudi de cas la prova pilot de Renfe, com a exemple d'avaluació dels impactes i vulnerabilitats del sector privat, la qual serà analitzada a l'apartat següent.

Més informació:

[https://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgenelesr/studies/pdf/climate\\_change\\_major\\_projects/climate\\_change\\_adaptation\\_of\\_major\\_infrastructure\\_projects.pdf](https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgenelesr/studies/pdf/climate_change_major_projects/climate_change_adaptation_of_major_infrastructure_projects.pdf)

### 1.1.5. Estat espanyol

En el marc del tercer programa de treball del PNACC (vegeu 2.2 Pla nacional d'adaptació al canvi climàtic) s'han elaborat tres informes d'especial interès des de la perspectiva del present informe, els quals s'exposen a continuació per ordre cronològic:

*Necessitats d'adaptació al canvi climàtic de la xarxa troncal d'infraestructures de transport a Espanya (2013)*

[https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/documentos-de-interes/ACC%26IT\\_tcm30-178333.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/documentos-de-interes/ACC%26IT_tcm30-178333.pdf)

L'informe va ser redactat pel Ministeri de Foment i d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient, i altres organismes com ADIF, RENFE, Ports de l'Estat i l'OECC. En ell s'analitza la xarxa de mobilitat viària, ferroviària, portuària i aeroportuària de l'Estat, les variables climàtiques que més afectacions poden tenir sobre aquestes infraestructures (vegeu taula següent) i els principals impactes esperats en els propers anys.

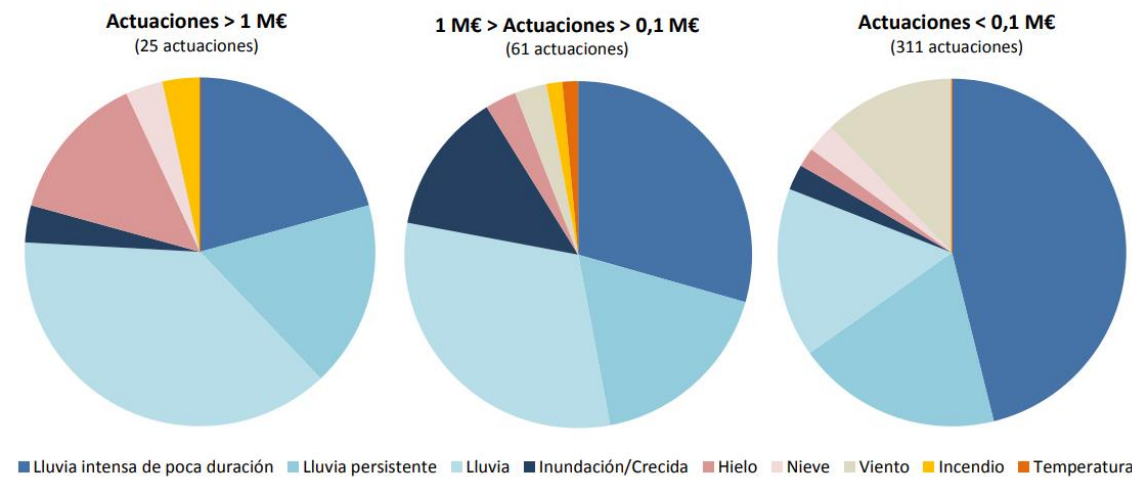
Taula 1.2. Vulnerabilitats dels transports als esdeveniments climàtics adversos.

| Variable climàtica          |   | Carreteras | Ferrocarriles | Puertos | Aeropuertos |
|-----------------------------|---|------------|---------------|---------|-------------|
| Temperatura del aire        | Temperatura media                       | •          | •             |         | •           |
|                             | Temperatura máxima diaria               | •          | •             | •       | •           |
|                             | Oscilación térmica diaria               | •          | •             |         |             |
|                             | Días de helada                          | •          | •             |         | •           |
|                             | Olas de calor                           | •          | •             | •       | •           |
| Humedad relativa            |   |            |               |         | •           |
| Nubosidad y techo de nubes  |   |            |               |         | •           |
| Precipitación               | Precipitación media anual               | •          | •             |         | •           |
|                             | Intensidad de lluvias extremas          | •          | •             | •       | •           |
|                             | Duración de lluvias fuertes             | •          | •             | •       | •           |
|                             | Inundaciones                            | •          | •             |         | •           |
|                             | Sequías                                 | •          | •             |         |             |
| Tormenta eléctrica          |   |            | •             |         | •           |
| Nieve                       |   | •          | •             |         | •           |
| Avenidas                    |   | •          | •             |         |             |
| Nivel freático              |   | •          | •             | •       | •           |
| Niebla                      | Intensidad de la niebla                 | •          | •             | •       | •           |
|                             | Frecuencia de nieblas intensas          | •          | •             | •       | •           |
| Viento                      | Intensidad del viento extremo           | •          | •             | •       | •           |
|                             | Frecuencia de vientos fuertes           | •          | •             | •       | •           |
|                             | Dirección del viento                    | •          | •             | •       | •           |
|                             | Variabilidad en la dirección del viento |            |               |         | •           |
| Oleaje                      | Altura de ola                           |            |               | •       |             |
|                             | Dirección                               |            |               | •       |             |
| Nivel del mar               | Nivel medio                             |            |               | •       | •           |
|                             | Variación por temporal                  |            |               | •       |             |
| Corrientes marinas          | Velocidad                               |            |               | •       |             |
|                             | Dirección                               |            |               | •       |             |
| Temperatura del agua de mar |   |            |               | •       |             |

Font: Ministeri de Foment i d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient, ADIF, RENFE, Ports de l'Estat, Aena, INECO, CEDEX, OECC i AEMET (2013). Necesitats d'adaptació al canvi climàtic de la xarxa troncal d'infraestructures de transport a Espanya.

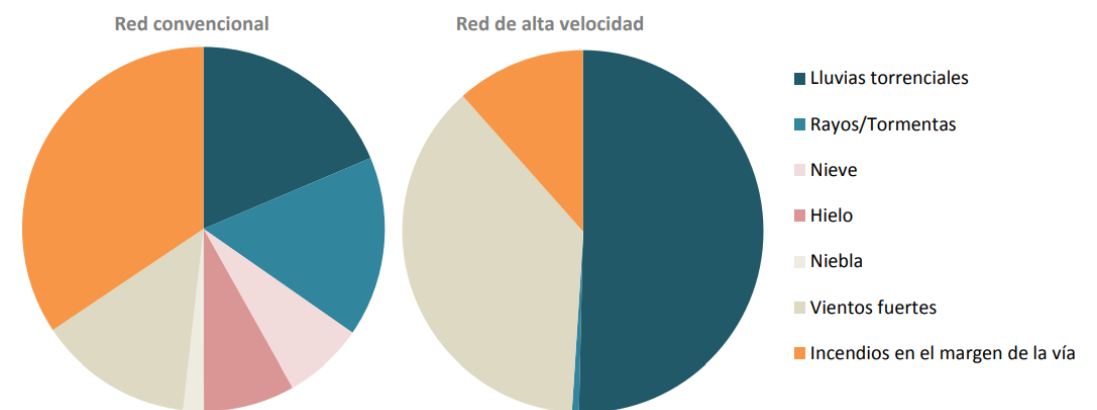
Els impactes sobre les infraestructures de mobilitat poden tenir afectacions tant durant la seva etapa de funcionament (vegeu figures següents), com en la seva etapa de planificació, disseny i construcció.

Figura 1.4. Principals esdeveniments climàtics associats a actuacions de reparació/rehabilitació en carreteres.



Font: Ministeri de Foment i d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient, ADIF, RENFE, Ports de l'Estat, Aena, INECO, CEDEX, OECC i AEMET (2013). Necesitats d'adaptació al canvi climàtic de la xarxa troncal d'infraestructures de transport a Espanya.

Figura 1.5. Distribució anual mitjana de les incidències per raó climatològica registrades per ADIF.



Font: Ministeri de Foment i d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient, ADIF, RENFE, Ports de l'Estat, Aena, INECO, CEDEX, OECC i AEMET (2013). Necesitats d'adaptació al canvi climàtic de la xarxa troncal d'infraestructures de transport a Espanya.

L'informe també inclou una sèrie de propostes de mesures d'adaptació a implementar tant a curt com a mitjà termini. Entre els principals reptes a curt termini, es destaca la necessitat de conscienciar els responsables de les xarxes de mobilitat per tenir en compte el canvi climàtic en totes les fases de gestió de les infraestructures.



Pel que fa a les carreteres, algunes de les mesures que es defineixen són realitzar tasques de vigilància i manteniment preventiu (revisar sistemes de drenatge o talussos), millorar els sistemes d'alerta meteorològica i revisar la normativa i les recomanacions dels criteris de disseny de les obres per reduir les afectacions per pluges fortes.

D'altra banda, entre les mesures d'adaptació al sector ferroviari, s'inclou també revisar la normativa existent, per exemple, del disseny de la catenària i dels apantallaments acústics i d'antivandalisme per evitar els impactes derivats de forts vents, revisar els protocols actuals de prevenció, manteniment i vigilància de la infraestructura, i, per reduir el risc d'incendis, utilitzar materials compostos (tipus LL o K) als sistemes de fre en comptes de sabates de fre convencionals de fosa.

*Integració de l'adaptació al canvi climàtic a l'estratègia empresarial. Guia metodològica per a l'avaluació dels impactes i la vulnerabilitat en el sector privat. Cas pilot: Renfe (2014)*

[https://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/renfe\\_0.pdf](https://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/renfe_0.pdf)

L'informe, elaborat pel Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient, la Fundació Biodiversitat i l'OECC, identifica els riscos físics com la principal preocupació de la xarxa ferroviària ja que poden ser causants d'accidents i disruptors del servei.

Concretament, pel desenvolupament de l'informe, es va avaluar la línia Alacant-Barcelona, que comprèn un tram de 521 km. Es tracta d'una línia ferroviària, en alguns trams de via única, que periòdicament es veu pertorbada per forts vents a la zona de la desembocadura de l'Ebre, pel fenomen de la gota freda a Llevant i per alguna nevada esporàdica a l'hivern.

Mitjançant un procés d'avaluació de riscos, es va concloure que els principals riscos als quals s'enfronta la línia són provocats per l'augment de les temperatures (pitjor rendiment d'equips i motors, major consum energètic per aire condicionat, etc.), les precipitacions intenses (corriment de terres, reducció en el límit de velocitat, etc.) i els forts vents (possibilitat de caiguda de la catenària). Com es pot veure a la taula presentada a continuació, alguns riscos ja es donen a l'actualitat però poden augmentar la gravetat amb els anys.

Tenint en compte aquests riscos i la capacitat d'adaptació de la línia, catalogada com a alta considerant la planificació governamental i empresarial, els recursos econòmics, les infraestructures, i els coneixements i implicació en matèria de canvi climàtic, es va concloure que la vulnerabilitat més gran de la línia Alacant-Barcelona serien els fenòmens climàtics extrems.

L'informe recomana l'aprofundiment en els anàlisis dels riscos, oportunitats i vulnerabilitats duts a terme, i el desenvolupament i l'aplicació d'una estratègia d'adaptació al canvi climàtic, en cooperació amb els gestors d'infraestructures ferroviàries.

Figura 1.6. Riscos dels impactes climàtics a la línia Alacant-Barcelona.

(T=temperatura mitjana, P=precipitació mitjana anual, EE=eventos extrems, NM=nivel del mar, 0=actualidad, 1=2015-39, 2=2040-69, 3=2070-99).

| 1. PROBABILIDAD   | 2. CONSECUENCIA |        |         |               |            |       |           |
|-------------------|-----------------|--------|---------|---------------|------------|-------|-----------|
|                   | Despreciable    | Mínima | Menor   | Significativa | Importante | Grave | Muy grave |
| Improbable        |                 |        |         |               |            |       |           |
| Muy poco probable |                 |        |         |               |            |       |           |
| Poco probable     |                 | T0     |         |               |            |       |           |
| Probable          |                 |        | EE0; T1 | EE1           |            |       |           |
| Bastante probable |                 |        |         | T2            | EE2        | EE3   |           |
| Muy Probable      |                 |        |         |               | T3         |       |           |

Font: Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient, la Fundació Biodiversitat i l'OECC (2014). Integració de l'adaptació al canvi climàtic a l'estratègia empresarial. Guia metodològica per a l'avaluació dels impactes i la vulnerabilitat en el sector privat. Cas pilot: Renfe.

**Seccions de la xarxa estatal d'infraestructures de transport terrestre potencialment més exposades per raó de la variabilitat i canvi climàtic (2018)**

[https://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/accit\\_informe\\_final\\_cedex.pdf](https://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/accit_informe_final_cedex.pdf)

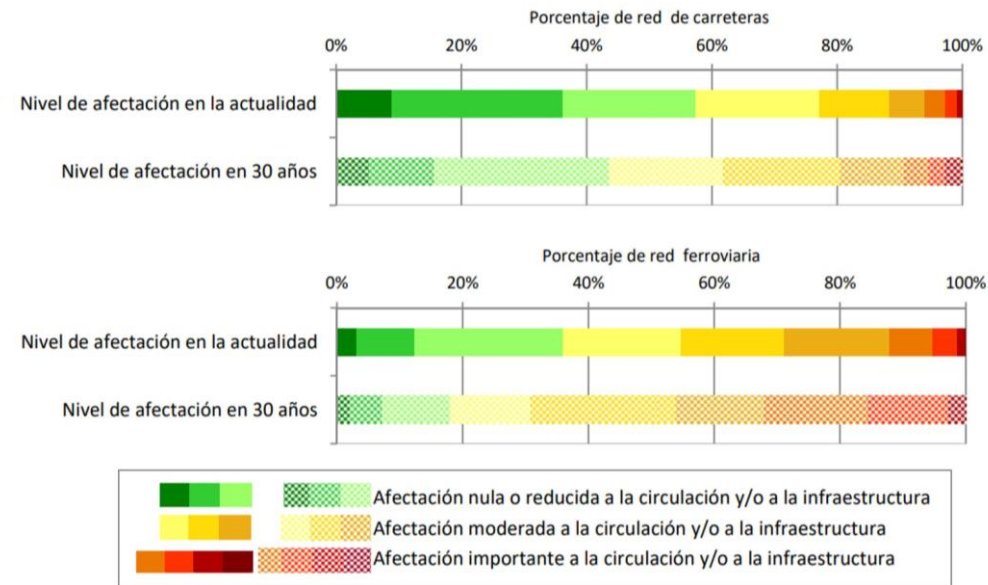
El projecte ha estat elaborat pel Centre d'Estudis i Experimentació d'Obres Públiques (CEDEX) i ha comptat amb la col·laboració de la Direcció General de Carreteres del Ministeri de Foment, ADIF, ADIF velocitat i l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET). L'informe identifica la vulnerabilitat de la xarxa de carreteres i ferroviària d'interès general en funció d'una sèrie d'impactes relacionats amb fenòmens climàtics externs, com l'erosió de talussos al costat de lleres, la insuficiència de capacitat de les obres de drenatge per pluges intenses o l'afectació per incendis, neu o gel. L'afectació pot variar en funció de l'emplaçament i de les condicions de disseny, construcció i manteniment de les infraestructures. Va ser avaluada a partir de les projeccions climàtiques amb una resolució de quadrícula de 12 km<sup>2</sup> sobre seccions predefinides –710 trams de la xarxa viària i 290 de la xarxa ferroviària–, tot integrant el criteri expert dels equips tècnics responsables de la gestió dels diferents trams d'infraestructura.

L'informe recomana elaborar un estudi més en detall de les seccions de la xarxa més crítiques (agrupades al primer i segon nivell de preferència representades a la Figura 4.9), així com elaborar una proposta d'actuació per millorar la resiliència de les seccions en qüestió. La preferència d'atenció, en aquest cas, es va determinar en funció del nivell de vulnerabilitat envers les condicions climàtiques (Figura 4.10) i la criticitat (Figura 4.11).

Les categories de criticitat es van establir principalment considerant l'ús de cada infraestructura: pel cas de la xarxa viària, a partir de dades de la intensitat mitjana diària de trànsit calculada (IMD) i per la ferroviària, pel número mitjà de trens que circulen per cada xarxa, per bé que també es van considerar altres factors, com ara el valor patrimonial (inversió) de cada infraestructura.

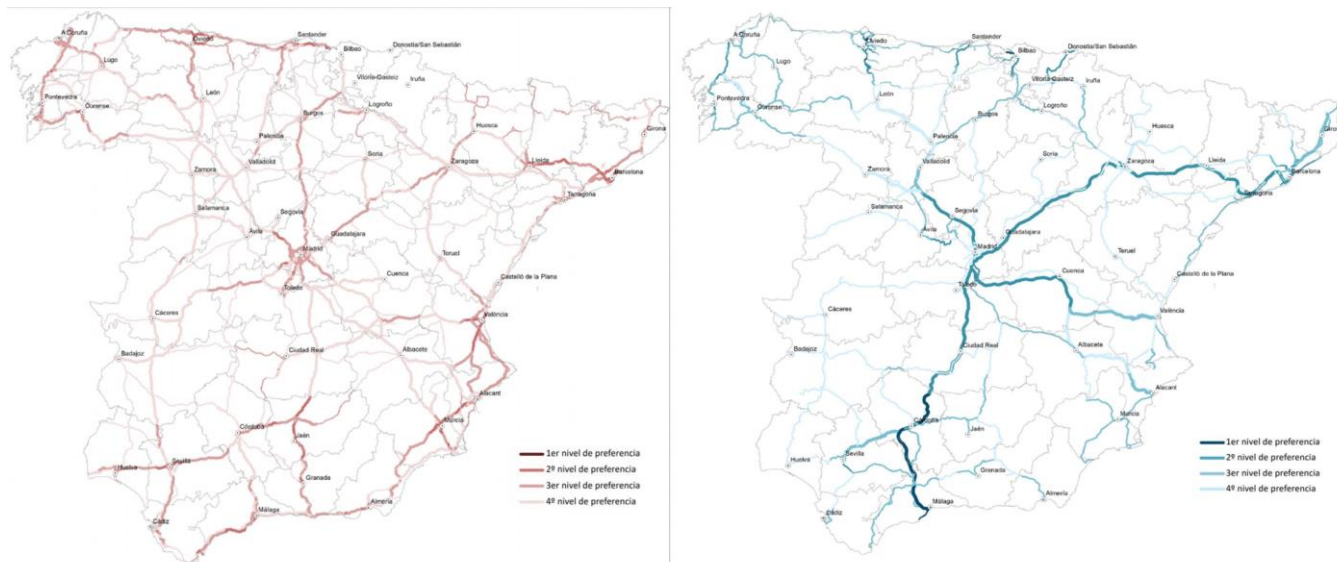


Figura 1.7. Afectació màxima a la xarxa viària (a dalt) i ferroviària (a baix) en l'actualitat i en el futur (a 30 anys vista) per raó d'esdeveniments climàtics.



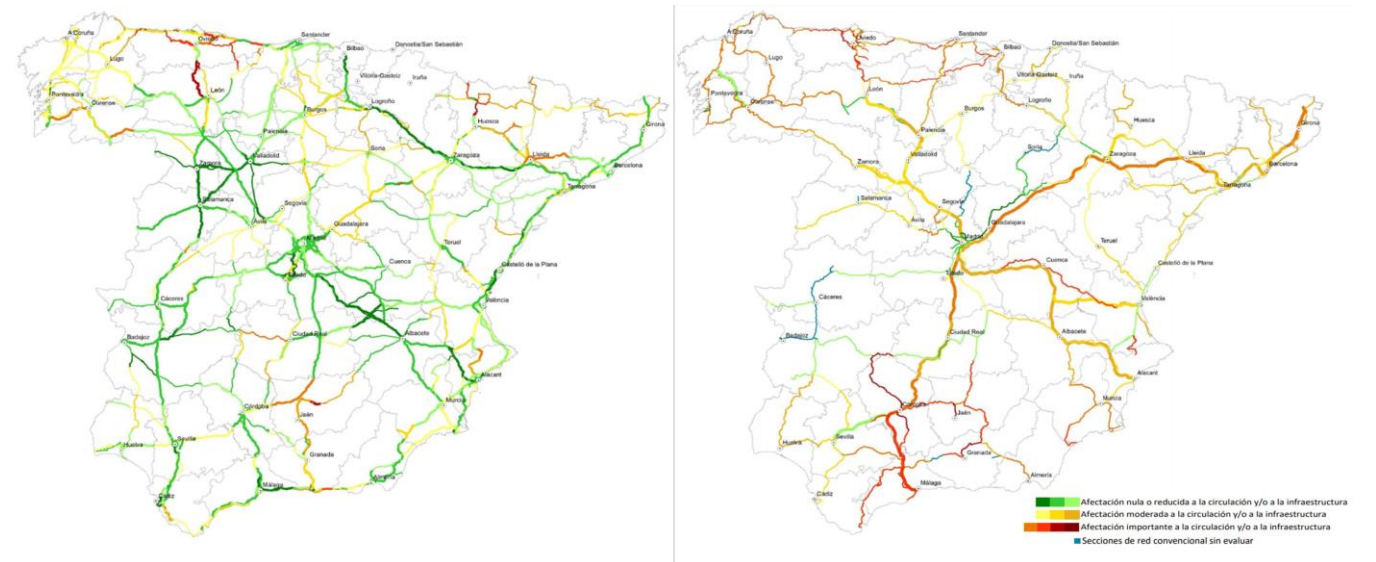
Font: CEDEX, Ministerio de Fomento, ADIF, ADIF velocidad i AEMET (2018). Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambio climáticos.

Figura 1.8. Preferència d'atenció a la xarxa viària (esquerra) i ferroviària (dreta) per raó de la variabilitat associada al canvi climàtic.



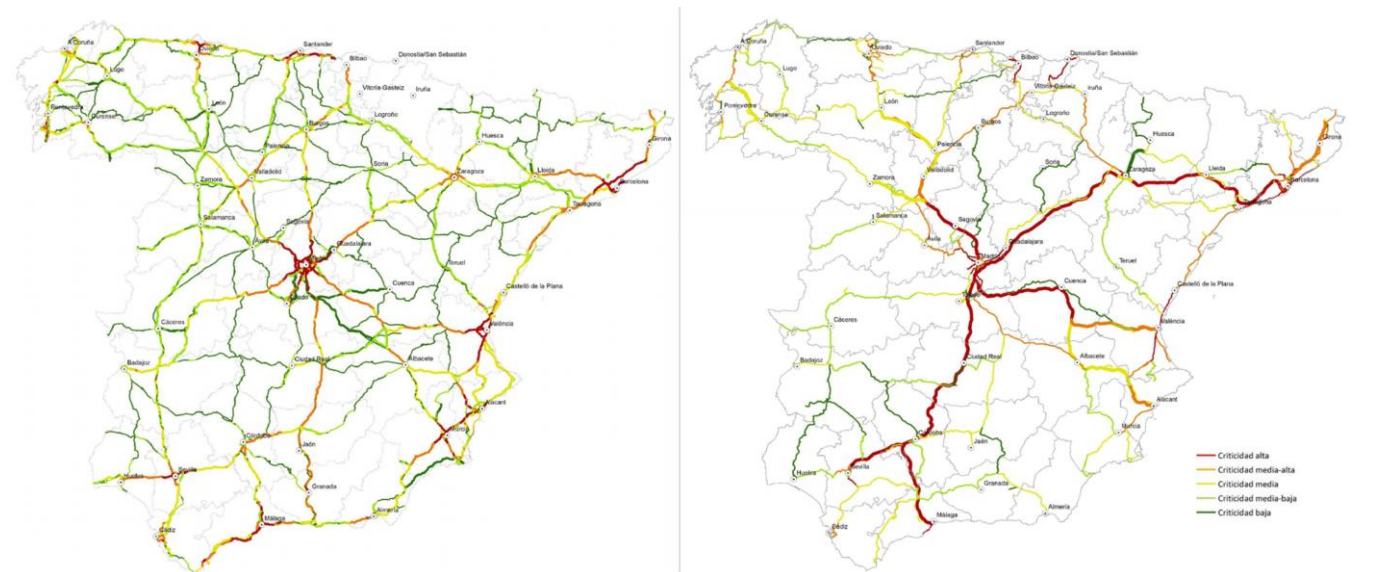
Font: CEDEX, Ministerio de Fomento, ADIF, ADIF velocidad i AEMET (2018). Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambio climáticos.

Figura 1.9. Estimació de l'afectació màxima a les seccions de la xarxa viària (esquerra) i ferroviària (dreta) a 30 anys vista.



Font: CEDEX, Ministerio de Fomento, ADIF, ADIF velocidad i AEMET (2018). Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambio climáticos.

Figura 1.10. Criticitat de la xarxa viària (esquerra) i ferroviària (dreta).



Font: CEDEX, Ministerio de Fomento, ADIF, ADIF velocidad i AEMET (2018). Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambio climáticos.

### 1.1.6. Altres referents: Cerema

El Cerema –*Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement*– és una entitat pública francesa que depèn alhora del Ministeri de la Transició ecològica i solidària i del Ministeri de la Cohesió dels territoris. La seva missió és aportar suport científic i tècnic per elaborar, implementar i avaluar les polítiques públiques de la planificació i el desenvolupament sostenible, envers tots els agents implicats. Els seus camps d'actuació són el planejament urbanístic, la mobilitat, el transport, l'energia, el clima, el medi ambient i la prevenció de riscos (d'entre els quals aquells que facin referència a la prevenció i mitigació del canvi climàtic).

Als efectes del present informe cal destacar els següents informes:

- *Analyse des risques liés aux événements climatiques extrêmes sur les infrastructures et services de transport; note de synthèse méthodologique et exemple d'application (ANY)*. Especialment interessant és el fet que en aquest estudi s'hagi escollit la xarxa de carreteres a càrrec de la *Direction interdépartementale des routes de Méditerranée* (DIR Med), d'un abast de 9 departaments que inclou les carreteres nacionals de la costa del sud-est de França des de Montpeller fins a la frontera amb Itàlia, incloent els Alps del sud, per tant un àmbit amb un clima comparable al català.

<http://www.carbone4.com/wp-content/uploads/2018/05/AnalyseRisquelnfractuures-NoteMe%CC%81thodologiqueC4-Cerema-vfinale27042018.pdf>

- *Adapter la mobilité d'un territoire au changement climatique* (2018). Proposa, d'una banda, metodologies d'adaptació d'un territori al canvi climàtic i, de l'altra, avalua el retorn de mesures empreses en determinats àmbits geogràfics que poden inspirar les solucions en d'altres. D'entre els àmbits estudiats, cal destacar aquells que es poden assimilar millor al context català: l'estudi MEDCIE Grand Sud-Est, que inclou les regions de Provence-Alpes-Côte d'Azur i l'antiga regió del Llenguadoc-Rosselló, així com l'anàlisi d'analogies internacionals entre diverses ciutats (entre elles València i Atenes) per determinar ensenyaments a extreure. El document acaba proposant, entre d'altres, un seguit d'indicadors per tal de monitoritzar l'adaptabilitat de la mobilitat.

<https://www.ekopolis.fr/sites/default/files/2019-03/docs-joints/RES-1903-adapter-mobilite-climat.pdf>

## 1.2. Projectes singulars de la UE

A continuació s'exposa una selecció de projectes desenvolupats en el marc de la UE focalitzats en l'àmbit de l'adaptació de les infraestructures de mobilitat al canvi climàtic i classificats atenent a la seva adscripció al Setè Programa Marc d'Investigació, Desenvolupament Tecnològic i Innovació de la UE (ja finalitzat) o al vigent Programa Horizon 2020.

### 1.2.1. Setè Programa Marc de la UE 2007-2013

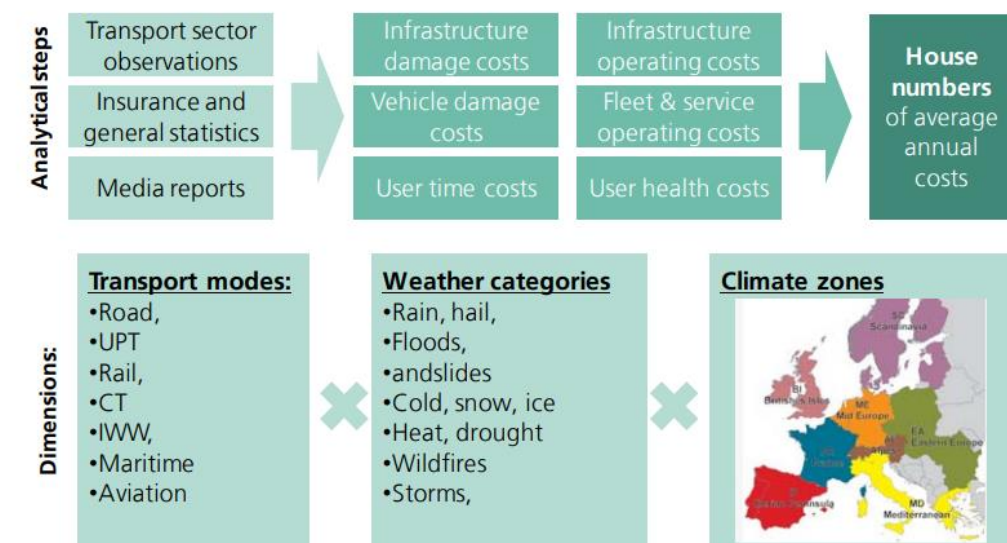
El 7è Programa Marc d'Investigació, Desenvolupament Tecnològic i Innovació de la UE (7PM) va ser l'instrument de finançament i suport de diferents projectes R+D+I durant el període 2007-2013. Tots els projectes que es presenten a continuació ja han finalitzat.

#### 1.2.1.1. WEATHER

El projecte WEATHER –*Weather Extremes: Impacts on Transport Systems and Hazards for European Regions*– finalitzat el 2012 després d'un període d'execució de 3 anys, va ser elaborat per un equip internacional de vuit instituts europeus, liderat pel *Fraunhofer-Institute for Systems and Innovation Research* (Alemanya).

El principal objectiu del projecte va ser analitzar, des d'una perspectiva econòmica, les vulnerabilitats, la gestió d'emergències i les estratègies d'adaptació al sector de la mobilitat, considerant tots els modes de transport, totes les regions climàtiques europees i tots els tipus de fenòmens meteorològics extrems.

Figura 1.11. Metodologia per a l'avaluació de la vulnerabilitat dels modes de transport.



Font: WEATHER (2012). WEATHER project summary and policy conclusions.



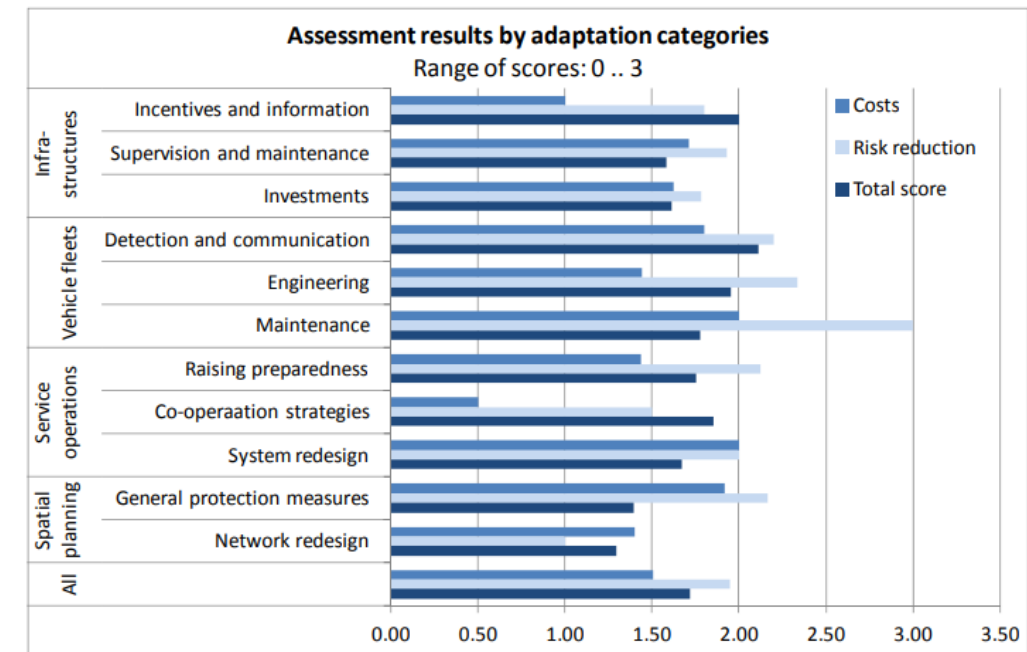
Un cop realitzada l'avaluació, es va determinar que, per la mobilitat viària, els costos totals associats a Europa són d'aproximadament 1.800 milions d'euros anuals o aproximadament 0,1 € per vehicle quilòmetre (v·km). Un 35% d'aquests costos es destina a la reparació dels danys a les infraestructures especialment causats per fortes precipitacions i inundacions. Cal destacar que les inundacions a l'hivern causen el 80% dels costos mitjans anuals. D'altra banda, l'avaluació de la vulnerabilitat del transport públic urbà es va centrar en dos grans episodis d'inundació: la inundació de l'Elba el 2002, causant un cost de 333 milions d'euros, dels quals 83 milions són atribuïbles a despeses de reconstrucció d'infraestructures al municipi de Dresden, i 230 milions d'euros per a la restauració del metro a Praga causades per inundacions.

Els principals impactes del canvi climàtic sobre la mobilitat ferroviària s'associen a les onades de calor, les quals causen afectacions a les infraestructures i, conseqüentment, sobre el servei i els seus usuaris. Per exemple, l'onada de calor del 2003 va suposar 130.000 minuts de retard per sobre de la mitjana al servei ferroviari del Regne Unit, suposant un cost d'1,8 milions d'euros. D'altra banda, ens els darrers anys les pluges intenses han resultat en un cost de 7 milions –45 milions tenint en compte les inundacions–, 0,9 milions per tempestes elèctriques, 2,5 milions per tempestes i 5,6 milions per allaus.

Pel cas concret de la península ibèrica, l'informe identifica com els principals perills, tant pel transport viari com ferroviari, les fortes precipitacions i les inundacions.

Les mesures i estratègies d'adaptació considerades al projecte WEATHER es classifiquen en quatre categories: sistema d'infraestructures (actualització dels estàndards de disseny, correcta selecció del material, manteniment), vehicles (implementació de tecnologies, sistemes de comunicació), serveis de passatgers i mercaderies (més flexibilitat en les rutes, desenvolupament de plans d'emergència) i ordenació espacial. El projecte va determinar mitjançant un anàlisi multicriteri quines mesures d'adaptació relacionades amb aquestes categories eren més eficients. A la figura següent, es mostren els resultats. El rang de valors oscil·la entre el 0 (sense costos) i el 3 (costos molt elevats).

Figura 1.12. Resultats de l'avaluació per grups de mesures d'adaptació.



Font: WEATHER (2012). WEATHER project summary and policy conclusions.

Tal i com es pot observar, les puntuacions més elevades fan referència a les mesures relacionades amb les tecnologies de comunicació, tant en infraestructures com en vehicles. Altres mesures ben puntuades són les associades als vehicles i a l'operació del servei. Per contra, les valoracions més baixes es troben en les mesures d'ordenació espacial a causa de la seva escassa flexibilitat i la necessitat d'una d'implantació llarga i complexa.

En el cas d'esdeveniments climàtics extrems, el paper dels serveis d'emergència és fonamental i sovint implica activitats relacionades amb el sector de la mobilitat: evacuació, trasllat de persones, refugi temporal, aprovisionament d'aliments i altres béns, etc. No obstant, no només s'espera que actuïn un cop l'impacte hagi ocorregut, sinó que han d'anar acompanyades d'actuacions de prevenció. La següent taula, identifica les principals barreres i solucions que sorgeixen abans i durant les operacions d'emergència.

Taula 1.3. Marc del sistema d'emergències relacionades amb el transport.

| Extreme weather event      | Impact to transport network                 | Emergency strategies           | Actions   | Implementation tools  | Strategic emergency management |
|----------------------------|---|--------------------------------|---|---|--------------------------------|
| Before the event           | Surpass predefined vulnerability thresholds | Activation of alarming systems | Provide real time information to authorities          | Weather and traffic sensors, RWIS   | Technological issues           |
| During and after the event | Overload of transport network               | Network management             | Traffic management, control, provision of information | ITS, GPS, GIS, VMS, Car2X, ATIS, DTA models                                       |                                |
|                            | Overload + infrastructure failures          | Network restoration            | Infrastructure repair                                 | Building efficient and innovative mechanisms and coordination between authorities | Organizational issues          |
|                            | Assign Emergency (transport) actions        | Set up and execute EM plans    | Evacuation, first aid, search and rescue etc.         | Standards for cooperation and coordination between authorities                    |                                |

Font: WEATHER (2012). WEATHER project summary and policy conclusions.

Més informació:

[http://www.weather-project.eu/weather/downloads/Deliverables/WEATHER-D4\\_Revision-2011-12-14\\_unapproved-draft.pdf](http://www.weather-project.eu/weather/downloads/Deliverables/WEATHER-D4_Revision-2011-12-14_unapproved-draft.pdf)

<http://www.weather-project.eu/weather/index.php>

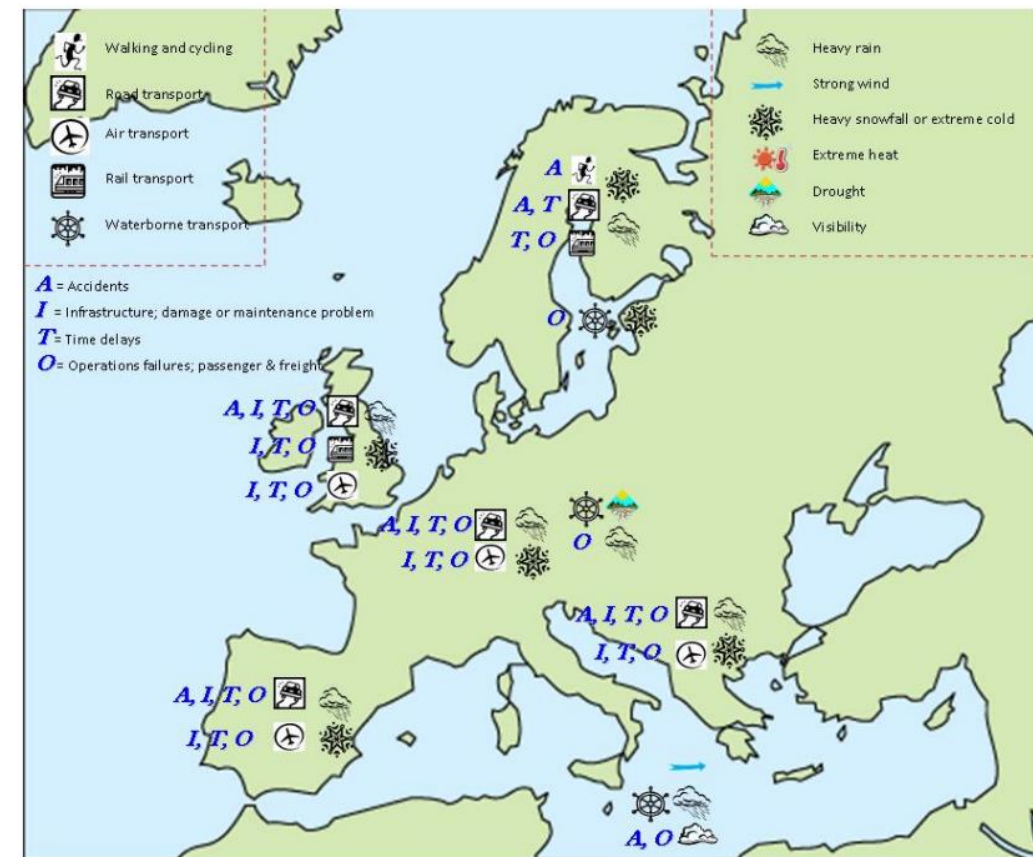
### 1.2.1.2. EWENT

El projecte EWENT –*Extreme Weather impacts on European Networks of Transport*–, coordinat pel *Technical Research Centre of Finland (VTT)*, va definir com a objectiu l'avaluació dels impactes i conseqüències dels fenòmens meteorològics extrems sobre el sistema de mobilitat de la UE. EWENT, finalitzat el 2012, també va monetitzar els impactes avaluats tenint en compte les estratègies de mitigació i adaptació per reduir l'impacte d'aquests fenòmens.

D'acord amb el projecte, i tal i com es pot veure a la figura següent, la precipitació abundant és el fenomen que, amb més probabilitat, causa impactes més greus a les infraestructures de mobilitat, en

particular a les carreteres i a les vies ferroviàries. El projecte considera que la mobilitat per carretera és el mode de transport més vulnerable als fenòmens extrems degut a l'elevat nombre d'usuaris que utilitzen aquestes vies, el seu paper clau en l'accés a les grans ciutats i a les implicacions en la gestió de qualsevol petit incident que es produeixi.

Figura 1.13. Resum de fenòmens meteorològics crítics, la seva ocurrència per regió on els efectes són els més greus, els modes de transport més afectats i les conseqüències

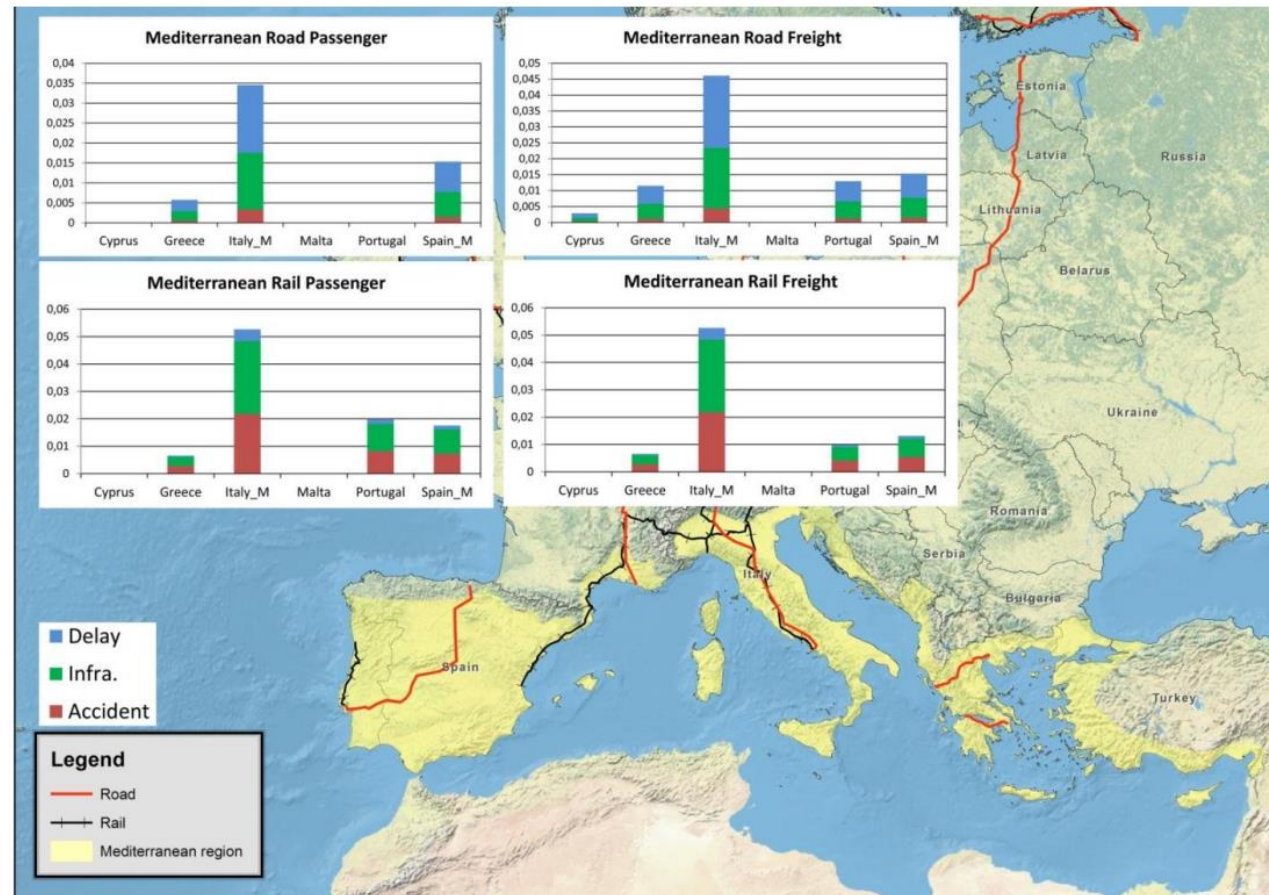


Font: EWENT (2012). *European Extreme Weather Risk Management –Needs, Opportunities, Costs and Recommendations*,

D'altra banda, tenint en compte els possibles impactes derivats d'esdeveniments meteorològics extrems i la vulnerabilitat de la regió (susceptibilitat, exposició, capacitat de gestió), EWENT va realitzar una avaluació de riscos. Pel que fa a Espanya (vegeu figura següent), considerant tant la mobilitat per carretera com la ferroviària, els fenòmens meteorològics extrems generen un impacte sobre les infraestructures, que en algun cas pot comportar retards (servei viari) o accidents, majoritàriament per descarrilaments (servei ferroviari). Concretament, les afectacions a les carreteres són sobretot produïdes per les onades de calor i les abundants precipitacions, que al seu torn poden causar esllavissades i inundacions. Les onades de calor, juntament amb les ratxes de vent i les tempestes, són els fenòmens que més amenacen el bon funcionament del servei ferroviari.



Figura 1.14. Indicadors de riscos pels sistemes viaris i ferroviaris a la regió mediterrània.



Font: EWENT (2012). European Extreme Weather Risk Management –Needs, Opportunities, Costs and Recommendations,

Finalment, es presenten dues taules resum, adjuntades a continuació, on es poden comparar els costos directes i indirectes dels impactes generats pels fenòmens meteorològics extrems presents (2010) i en un futur (període 2040-2070). Per exemple, actualment els accidents tenen els majors costos econòmics associats. No obstant, aquests costos disminuiran amb els anys, principalment pel desenvolupament de tecnologies que milloren la seguretat dels vehicles. A més, els països del centre i nord d'Europa, en general, poden experimentar una reducció en els accidents com a conseqüència de la disminució de neu i gel als paviments. El segon major cost que es preveu que augmenti amb els anys, és el de la logística europea. La principal actuació que cal emprendre és millorar el manteniment de les infraestructures de manera que el servei de la logística no es vegi interromput. S'ha de tenir en compte, però, que els valors de la taula no es focalitzen en cap context ni regió geogràfica específica.

Taula 1.4. Costos actuals (a dalt) i futurs (a baix), tenint en compte els preus actuals, dels impactes dels fenòmens meteorològics extrems sobre el sistema europeu de mobilitat.

| Mode | Present costs due to extreme weather, including all phenomena (ca. 2010) |   |   |   |   |
|------|--|---|---|---|---|
|      | Accidents  | Time costs  | Infrastructure  |   | Freight & logistics                         |
|      |  |   | Physical infra  | Maintenance   |   |
| Road | >10 bill. €/a, mostly borne by the society                               | 0.5-1.0 bill. €/a, mostly borne by road commuters | ca. 1 bill. €/a, mostly borne by infrastructure managers, ultimately by the taxpayers | ca. 0.2 bill. €/a, mostly borne by public infrastructure managers and hence ultimately by the taxpayers | 1-6 bill. €/a, mostly borne by the shippers |
| Rail | >0.1 bill. €/a, mostly borne by the society                              | >10 mill. €/a, borne by the commuters             | >0.1 bill. €/a, mostly borne by rail infrastructure managers (=taxpayers)             |   | 5-24 mill. €/a, borne by the shippers       |

| Mode | Future costs due to extreme weather, including all phenomena (period 2040-2070) |   |   |   |  |
|------|---|---|---|---|--|
|      | Accidents   | Time costs                                    | Infrastructure  |   | Freight & logistics  |
|      |   |   | Physical infra  | Maintenance   |  |
| Road | 4.5-6.6 bill. €/a, mostly borne by the society                                  | 0.5-1.0 bill. €/a, will remain about the same | ca. 1 bill. €/a, will remain about the same   | <0.2 bill. €/a, will reduce due to less need for winter maintenance | 2-10 bill. €/a, will increase significantly, if volumes continue to grow |
| Rail | <0.3 bill. €/a, mostly borne by the society                                     | >10 mill. €/a, borne by the commuters         | ca. 0.1 bill. €/a, will remain about the same; winter maintenance will decrease, but other costs may increase |   | 8-41 mill. €/a, will increase in pace with freight volumes               |

Font: EWENT (2016). D6: European Extreme Weather Risk Management – Needs, Opportunities, Costs and Recommendations

Més informació:

[http://ewent.vtt.fi/Deliverables/D6/Ewent\\_D6\\_SummaryReport\\_V07.pdf](http://ewent.vtt.fi/Deliverables/D6/Ewent_D6_SummaryReport_V07.pdf)

<https://www.weather-project.eu/weather/inhalte/research-network/ewent.php>

### 1.2.1.3. MOWE-IT

El projecte MOWE-IT –*Management of weather events in transport system*–, va ser dirigit pel *Technical Research Centre of Finland (VTT)*. Arran de la realització de projectes analítics propis i de la informació disponible dels projectes anteriorment explicats, MOWE-IT va publicar un total de cinc guies el 2014 sobre la millora de la resiliència dels diferents modes de transport tenint en compte l'ocurrència de diferents fenòmens meteorològics extrems, presents i futurs, que comprometen el seu funcionament. Aquestes guies, disponibles en línia, van dirigides a les autoritats, als professionals del sector i a altres actors interessats en reduir els impactes d'aquests esdeveniments al sector de la mobilitat.

La guia relativa a la mobilitat per carretera –*Guidebook for Enhancing Resilience of European Road Transport in Extreme Weather Events*– fa referència a la mobilitat per part de persones o empreses de mercaderia, tant mitjançant vehicles motoritzats tant com a peu o en bicicleta. La guia inclou una sèrie de recomanacions dirigides a diversos actors implicats al sector de la mobilitat, com directius o passatgers i per l'elaboració de polítiques i la recerca i el desenvolupament tècnic.

Altrament, la guia dedicada a millorar la resiliència a la xarxa ferroviària –*Guidebook for Enhancing Resilience of European Rail Transport in Extreme Weather Events*–, inclou una sèrie de recomanacions, també a llarg termini, relacionades amb la gestió dels impactes dels fenòmens extrems tenint en compte diferents factors. Algunes recomanacions van orientades als elements estructurals del servei, com els vehicles, les infraestructures i els equipaments, mentre que altres fan referència a factors com ara el personal, les prediccions meteorològiques, la informació disponible o la legislació.

A banda d'aquestes dues guies, també se n'han redactat amb relació a la mobilitat aèria, marítima i de les vies navegables continentals.

Més informació:

<https://cordis.europa.eu/docs/results/314/314506/final1-final-report-mowe-it-final.pdf>  
<http://www.mowe-it.eu/>

### 1.2.2. Horizon 2020

El Programa europeu de recerca i innovació Horizon 2020 té com a missió donar suport i finançar projectes d'innovació, durant el període 2014-2020, relacionats amb diferents temàtiques, entre les quals figura el canvi climàtic. En aquest apartat s'exposa en primer lloc el projecte RESILIENS, que ja ha estat finalitzat, i seguidament altres que es troben en curs. S'han seleccionat projectes força específics del binomi adaptació al canvi climàtic i mobilitat, de manera que no s'han incorporat al benchmarking d'altres projectes rellevants, però molt menys centrats en aquest binomi com ara el RESCCUE –*RESilience to cope with Climate Change in Urban arEas*–, el qual té per objecte millorar la capacitat de resiliència de les ciutats des del punt de vista del sector de l'aigua (sequeres o inundacions).

### 1.2.2.1. RESILENS

El projecte RESILENS –*Realising European ReSilience for Critical INfraStructure*–, coordinat per la consultoria *Future Analytics Consulting Limited* (Irlanda), va finalitzar el 2018 després d'un període d'execució de 3 anys. El seu objectiu és millorar la resiliència de les infraestructures crítiques (IC) a través de mesures que integren les millors pràctiques relacionades amb la gestió del risc i l'avaluació de la vulnerabilitat. El projecte ha dissenyat una sèrie d'eines per optimitzar l'adopció de mesures de resiliència per part dels diferents organismes i agents implicats.

En primer lloc, va desenvolupar unes guies de gestió de la resiliència (*European Resilience Management Guidelines*, ERMG) per donar suport a l'aplicació pràctica de la resiliència a tots els sectors relacionats amb les IC. Concretament, estableix una metodologia i proposa un llenguatge comú en matèria de resiliència de les IC, les raons de la seva gestió i directrius perquè els usuaris puguin gestionar la resiliència a les seves organitzacions.

L'ERMG s'acompanya d'una matriu de gestió de la resiliència (*Resilience Management Matrix and Audit Toolkit*, ReMMAT) i un conjunt d'eines d'auditoria que permeten ajustar l'avaluació i les accions de millora de la resiliència a diferents organismes i àmbits geogràfics (urbans, regionals, nacionals i transfronterers). La matriu ReMMAT permet als operaris de les IC indexar els nivells de resiliència de forma quantitativa.

L'eina sol·licita informació relativa a les funcions crítiques de les IC, els seus components crítics i les relacions interdependents amb altres IC, entre d'altres aspectes. Concretament, avalua 56 ítems de resiliència i proporciona el resultat en forma de percentatge, essent el 100% el nivell màxim de resiliència.

Taula 1.5. Puntuació, en percentatge, utilitzada per l'eina ReMMAT per indexar el grau de resiliència de les infraestructures crítiques, associada a una coloració determinada.

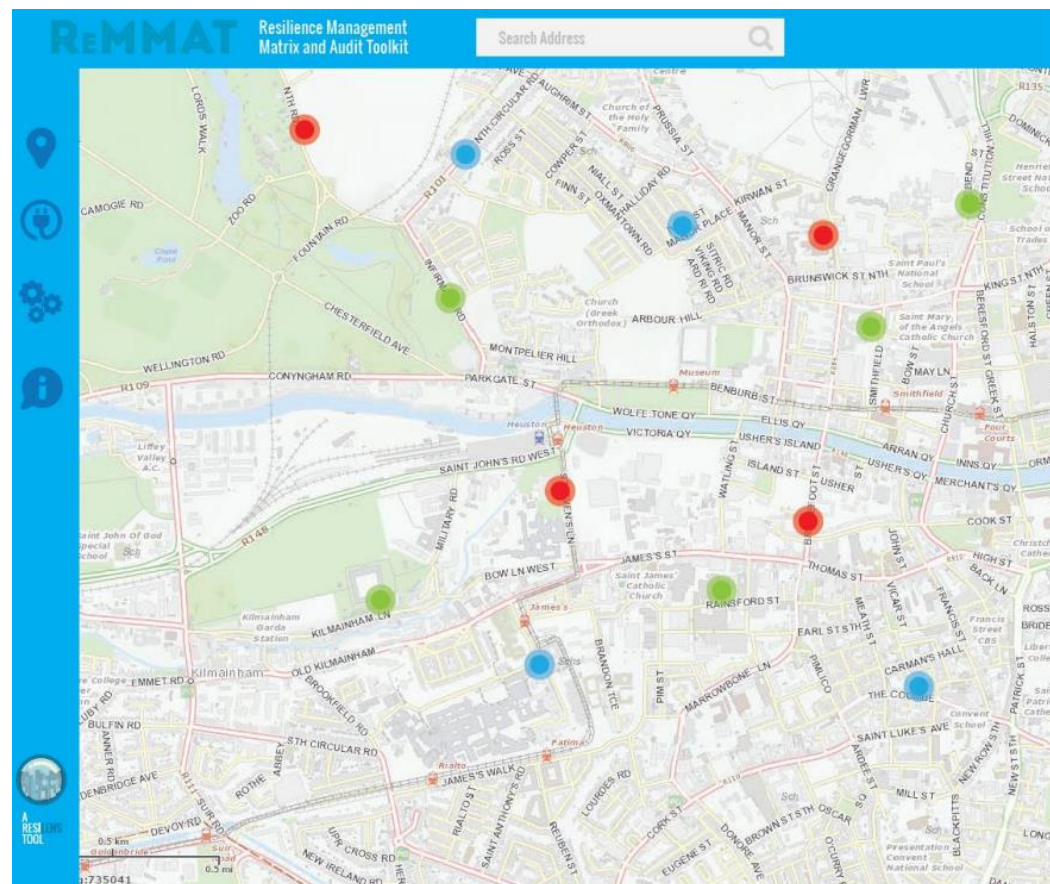
| Resilience score (%) | 100-80    | 80-60          | 60-50     | 50-40   | 40-30                           | 30-20                       | 20-10 | 10-0      |
|----------------------|-----------|----------------|-----------|---------|---------------------------------|-----------------------------|-------|-----------|
| Colour code          |           |                |           |         |                                 |                             |       |           |
| Designated status    | Excellent | Very Resilient | Resilient | Average | Resilience enhancement required | Urgent enhancement required | Poor  | Very Poor |

Font: *Resilience Management Matrix and Audit Toolkit* (2016).

L'escala cromàtica presentada a la taula anterior s'utilitza per a representar les IC en un mapa a través d'una eina SIG incorporada a ReMMAT, de manera que permet visualitzar l'estat de resiliència de les diferents IC en àrees determinades. No obstant, els usuaris tenen l'opció de compartir o no la informació amb d'altres usuaris.



Figura 1.15. Exemple del mapa de les IC avaluades a la ciutat de Dublín.



Font: Resilience Management Matrix and Audit Toolkit (2016).

Al seu torn, l'eina d'auditoria va ser desenvolupada per facilitar la comprensió dels resultats per part dels gestors i operadors amb l'objectiu final de millorar la resiliència de les seves infraestructures. L'eina proporciona informació relativa als components i etapes de resiliència més rellevants en els quals cal centrar-se per potenciar la resiliència.

Finalment, també es va dissenyar l'eina *E-Learning hub*, que agrupa informació d'interès relacionada amb la resiliència –no necessàriament inclosa a l'informe de l'ERMG–, així com orientacions per l'ús de les eines ReMMAT i l'informe ERMG. També pot ser utilitzada per compartir informació, bones pràctiques i estudis de cas entre els usuaris.

Més informació:  
<http://resilens.eu/>

### 1.2.2.2. ANYWHERE

El projecte ANYWHERE –*EnhANCing emergencY management and response to extreme WeatHER and climate Events*– està dirigit per l'Agència Catalana de l'Aigua, coordinat pel Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia (CRAHI) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i compta amb la participació d'un consorci format per 34 organitzacions d'11 països europeus, inclosa la Direcció General de Protecció Civil del Departament d'Interior de la Generalitat de Catalunya. Es va iniciar el 2016 i va finalitzar el 2019.

ANYWHERE té per objectiu ajudar la societat i a les principals agències de protecció civil a respondre amb més rapidesa i efectivitat als fenòmens meteorològics extrems i gestionar millor els impactes socials, ambientals i econòmics derivats. D'aquesta manera, ha desenvolupat una plataforma multirisca de detecció primerenca (MH-EWS) d'àmbit europeu per anticipar-se als riscos abans que es produeixin determinats esdeveniments extrems. La plataforma permet simular més d'un risc simultàniament i traduir la predicció meteorològica en impactes quantitatius i mesurables, considerant l'afectació en les persones (focalitzant-se en zones habitades) i les infraestructures crítiques (carreteres, hospitals, col·legis, determinades indústries).

Aquesta plataforma, anomenada A4Cat (*Anywhere for Catalunya*) i explicada més detalladament en un altre annex (vegeu Annex 3, apartat 2.2. *Monitoratge de les infraestructures*), ha estat provada pel Centre de Coordinació d'Emergències de Catalunya (CECAT).

Més informació:  
<http://anywhere-h2020.eu/>

### 1.2.2.3. FORESEE

El projecte FORESEE –*Future proofing strategies FOR RESilient transport networks against Extreme Events*– es troba actualment en curs (es preveu que finalitzi el 2022) i compta amb la col·laboració de 18 organismes, entre els quals n'hi ha d'espanyols (per exemple, Ferrovial). L'objectiu general del projecte és desenvolupar i validar un conjunt d'eines fiables i fàcilment implementables per proporcionar esquemes de resiliència a curt i llarg termini contra la interrupció del trànsit a causa d'inundacions, esllavissades de terra i danys estructurals per a corredors ferroviaris i viaris, i terminals multimodals.

Està previst que les eines s'implementin en sis casos reals, cadascun amb les seves peculiaritats, per validar el seu funcionament:

- Estudi de cas 1: l'autopista Estrada dei Parchi està exposada a terratrèmols freqüents, clima extrem (fortes tempestes de neu) i congestions de trànsit. L'eina se centrarà al tram entre Carsoli-Torano, parant especial atenció als túnels i als ponts.
- Estudi de cas 2: l'autopista de Nàpols-Bari, en un tram de 3 km de longitud, té un total de 20 ponts. Els ponts pateixen un problema de deteriorament difús, a causa de les tècniques de construcció, les condicions climàtiques adverses i la sismicitat.
- Estudi de cas 3: el viaducte de Montabliz (Cantàbria), el més alt d'Espanya, és considera un punt crític de la xarxa del transport com a conseqüència de la seva estructura, l'elevat trànsit (22.700

vehicles/dia) i l'existència de riscos naturals, com el vent o terratrèmols, i antròpics, com incendis o accidents

- Estudi de cas 4: la xarxa ferroviària d'alta velocitat que connecta Hannover i Berlín compta amb diversos ponts –de tipologies i dimensions heterogènies– per travessar rius, els quals han sofert inundacions en nombroses ocasions.
- Estudi de cas 5: el metro de Londres és una infraestructura molt vulnerable a patir inundacions. Es col·laborarà en l'extensió de la línia nord de la ciutat.
- Estudi de cas 6: el Pont 25 d'Abril, a Lisboa, representa un punt crític de la xarxa de transport. L'estudi de cas implementarà una eina per aconseguir operacions de manteniment més segures i rendibles tenint en compte diferents variables com el flux del trànsit actual.

Més informació:

<http://foreseeproject.eu/>

#### 1.2.2.4. RESIST

El projecte RESIST –*RESilient transport InfraStructure to extreme events*–, iniciat el 2018 i coordinat per l'*Institute of Communication and Computer Systems* (Grècia), es troba actualment en curs i es preveu que finalitzi l'agost del 2021. Compta amb la participació de 19 organismes europeus (d'entre els quals només un d'espanyol, l'empresa aeroespacial CATEC). RESIST té com a objectiu millorar la resiliència del sector del transport als fenòmens extrems d'origen natural o antròpic, protegir els usuaris de la infraestructura de mobilitat europea i proporcionar informació útil als operadors i usuaris de les infraestructures de transport. El projecte aborda l'impacte de tot tipus d'incidents físics, naturals i artificials extrems sobre ponts i túnels.

La tecnologia emprada en el projecte, amb caràcter preventiu i predictiu, se centrarà en tres aspectes:

- Augment de la resistència física dels ponts i els túnels mitjançant una inspecció robòtica i analítica de predicció.
- Restauració ràpida del servei després d'una situació d'emergència a partir d'una avaluació immediata i precisa dels danys causats.
- Comunicació clara i efectiva de les situacions d'emergència per minimitzar l'impacte de les interrupcions a través del tractament de dades a temps real, les xarxes socials i altres tecnologies mòbil que ho permetin.

Es preveu que el resultat del projecte contribueixi substancialment a la no interrupció dels serveis de mobilitat de les persones i el transport de mercaderies, amb independència de l'origen i tipologia de les perturbacions que els afectin.

La tecnologia RESIST es desplegarà i validarà en dos projectes pilot en condicions i infraestructures reals:

- Simulacions per estudiar els impactes de diversos fenòmens climàtics extrems al pont T9 de l'autopista Egnatia (Grècia), sobretot centrat en les esllavissades.
- Simulacions per estudiar els impactes de diversos fenòmens climàtics extrems al viaducte Millaures de l'autopista 432 (Itàlia), també centrat en les esllavissades. A més, al túnel de St. Petronilla s'avaluarà l'impacte en cas de terratrèmol o explosió.

Més informació:

<http://www.resistproject.eu/>



## 2. Benchmarking de plans i estratègies d'adaptació nacionals i locals i estudis de cas

En el present Annex, s'analitza la manera com diferents plans i estratègies d'adaptació al canvi climàtic –majoritàriament localitzades en països europeus representatius– aborden les qüestions relatives al sistema de mobilitat i, d'altra banda, s'exposen un seguit d'estudis de cas identificats a partir del *benchmarking* general realitzat.

### 2.1. Plans i estratègies nacionals d'adaptació d'altres països europeus

A l'igual que en el cas espanyol (vegeu 2.2. *Pla nacional d'adaptació al canvi climàtic*), diferents països han desenvolupat polítiques d'adaptació al canvi climàtic, tant plans com estratègies. A continuació, s'analitzen els plans i estratègies d'adaptació de diferents països de la UE.

#### 2.1.1. França

L'Estratègia Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic –en francès, *Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique*– va ser publicada el 2007 per l'Observatori Nacional sobre els Efectes de l'Escalfament Global (ONERC). El document proposa una sèrie de línies d'acció prèvies a l'elaboració del Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic, que va ser publicat el 2011 i s'explica més endavant.

En matèria de mobilitat, l'estratègia identifica com a vulnerables les infraestructures de transport, tals com les carreteres o les xarxes ferroviàries, majoritàriament com a conseqüència de les inundacions, les esllavissades i les onades de calor. En aquest sentit, proposa la creació d'un fòrum per a l'intercanvi d'informació entre l'administració i els gestors d'infraestructures i de sistemes de mobilitat, per permetre una millor aproximació als impactes del canvi climàtic i una millora de les polítiques d'adaptació.

França va publicar el 2011 el primer Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic –*Plan national d'adaptation au changement climatique* (PNACC-1)– amb un horitzó de cinc anys, que proposava accions i mesures adreçades a 20 àmbits diferents, com la biodiversitat, el turisme i els riscos naturals. Les accions relacionades amb les infraestructures i els sistemes de mobilitat eren les següents: revisar i adaptar la normativa tècnica de construcció, manteniment i funcionament de les xarxes de transport, estudiar l'impacte del canvi climàtic sobre la demanda del servei de transport, definir una metodologia harmonitzada per a la diagnosi de la vulnerabilitat de la infraestructura terrestre, marítima i aeroportuària i, finalment, determinar l'estat de vulnerabilitat de les xarxes de transport i preparar estratègies de resposta adaptades i progressives als problemes de canvi climàtic, tant globals com territorials.

Un cop celebrat l'Acord de París, França va actualitzar la seva política d'adaptació amb l'elaboració del segon Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic (PNACC-2), aprovat el 2017, pel període 2018-2022, després d'un període de consulta de gairebé dos anys a representants de la societat civil, experts i representants d'autoritats locals i ministeris rellevants. El PNACC-2 s'organitza en sis àrees d'acció (governança i gestió; coneixement i informació; prevenció i resiliència; adaptació i preservació del medi ambient; vulnerabilitat dels sectors econòmics i reforç de l'acció internacional) i es caracteritza per una major participació dels actors territorials i dels principals sectors econòmics.

No obstant, el Pla no especifica accions concretes pel sector de la mobilitat, per bé que s'exposa la necessitat d'adaptar les xarxes i infraestructures essencials que ofereixen serveis bàsics a la població, com ara les de transport (aportant fiabilitat i confort climàtic).

Més informació:

[https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/ONERC\\_Rapport\\_2006\\_Strategie\\_Nationale\\_WEB.pdf](https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/ONERC_Rapport_2006_Strategie_Nationale_WEB.pdf)

[https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/ONERC\\_PNACC\\_1\\_complet.pdf](https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/ONERC_PNACC_1_complet.pdf)

[https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2018.12.20\\_PNACC2.pdf](https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2018.12.20_PNACC2.pdf)

#### 2.1.2. Regne Unit

El Govern del Regne Unit està obligat, d'acord amb la Llei de canvi climàtic de 2008 –*Climate Change Act*–, a publicar una avaluació del risc del canvi climàtic cada cinc anys –*Climate Change Risk Assessment* (CCRA)–. Arran de la publicació del segon CCRA el 2017, va sorgir el vigent Programa Nacional d'Adaptació –*National Adaptation Programme* (NAP)–, el segon, que determina les accions i mesures que el govern implementarà en els propers cinc anys així com els objectius a assolir durant el mateix període.

El NAP determina que el Departament del Transport (DfT) continuarà treballant per augmentar la resiliència climàtica en la planificació i el disseny de les infraestructures de transport, incorporant l'adaptació als seus principals plans i estratègies i garantint un creixement econòmic sostenible, tant pel que fa al transport terrestre com al marítim i l'aeri.

Més informació:

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/727252/national-adaptation-programme-2018.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/727252/national-adaptation-programme-2018.pdf)

#### 2.1.3. Alemanya

L'Estratègia Nacional per l'Adaptació al Canvi Climàtic alemanya –en alemany, *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel* (DAS)– va ser adoptada pel gabinet federal alemany el 2008 amb l'objectiu d'establir un marc d'adaptació del canvi climàtic al país i reduir la vulnerabilitat de la població, economia i medi ambient al seus efectes. Tal i com s'ha exposat en d'altres casos, l'estratègia identifica els sectors més vulnerables i proposa accions d'adaptació. Pel que fa a la mobilitat, fa una distinció entre les diferents infraestructures. Concretament, per les carreteres i la xarxa ferroviària proposa:

- La recerca i substitució dels materials per altres més resistents a les altes temperatures i altres especificacions.

- La instal·lació de sistemes de drenatge per a reduir les afectacions causades per les inundacions.
- L'aplicació de mesures per al condicionament climàtic dels vehicles.

De la DAS va sorgir el 2011 el Pla d'Acció d'Adaptació de l'Estratègia alemanya d'Adaptació al Canvi Climàtic –*Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (APA)*–. El Pla d'acció defineix quines mesures concretes prendrà el Govern federal alemany per avançar en l'adaptació del país al canvi climàtic i per donar suport als actors implicats en la implementació d'aquestes mesures.

Actualment es troba vigent, des del 2015, el segon Pla d'acció (APA II). Les activitats que es presenten a l'APA II s'adscriuen als clústers "Aigua", "Infraestructures", "Terra", "Salut", "Economia" i "Planificació espacial i protecció civil". Cada clúster proposa diverses accions a executar. Pel que fa a les infraestructures de transport, es planteja el desenvolupament de diversos programes que tenen com a objectiu un millor maneig dels impactes del canvi climàtic.

Més informació:

[https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/english/pdf/application/pdf/das\\_gesamt\\_en\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/english/pdf/application/pdf/das_gesamt_en_bf.pdf)

[https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan\\_anpassung\\_klimawandel\\_en\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_en_bf.pdf)

[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimawandel\\_das\\_fortschrittsbericht\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_fortschrittsbericht_bf.pdf)

#### 2.1.4. Itàlia

L'Estratègia Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic –en italià, *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici* (SNAC)– va ser aprovada el 2015 pel Ministeri de Medi Ambient i Protecció del Territori i el Mar. El seu objectiu principal és desenvolupar una visió nacional sobre les accions i les directrius que s'han d'adoptar per fer front al canvi climàtic, tot protegint la salut, el benestar de la població i el patrimoni natural, adaptant els sistemes naturals, socials i econòmics i aprofitant les oportunitats que puguin sorgir de les noves condicions climàtiques.

L'estratègia identifica els principals impactes del canvi climàtic en diversos sectors socioeconòmics i naturals i proposa accions d'adaptació. Pel que fa al sector de la mobilitat, identifica les infraestructures, les operacions i la demanda de transport com a elements vulnerables a patir els efectes d'aquest fenomen. En conseqüència, justificar la necessitat de millorar el coneixement respecte les infraestructures resistents al clima i d'integrar aquests conceptes dins dels criteris de disseny i manteniment per incrementar l'optimització de la xarxa de transport.

També proposa augmentar la cobertura d'assegurança de grans infraestructures de transport respecte al risc de fenòmens climàtics extrems i implementar les accions d'adaptació a través de diferents eines de planificació de la mobilitat, com plans municipals o sectorials.

Al maig de 2016 es va iniciar la preparació del Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic –*Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*– per part del Centre Euro-Mediterrani pel Canvi

Climàtic (*Centro euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici*) i, un any després, es va publicar el primer esborrany de consulta pública. Fins la data, però, no s'ha publicat cap nou document ni consta si la seva redacció ha finalitzat.

Algunes de les accions proposades a l'esborrany per a l'adaptació de les infraestructures de transport al canvi climàtic són:

- L'establiment d'una taula intersectorial i multidisciplinària per a la definició de criteris comuns, sinèrgies i prioritats per a la intervenció.
- La introducció de criteris ecològics i ecosistèmics dins dels requisits de disseny.
- La promoció de la investigació i els intercanvis internacionals en relació amb materials i mètodes resistents al clima.
- L'optimització de les tècniques i procediments per a la gestió de les emergències associades als fenòmens climàtics.

Més informació:

[https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/documento\\_SNAC.pdf](https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/documento_SNAC.pdf)

[https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio\\_immagini/adattamenti\\_climatici/documento\\_pnac\\_c\\_luglio\\_2017.pdf](https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio_immagini/adattamenti_climatici/documento_pnac_c_luglio_2017.pdf)

## 2.2. Plans i estratègies locals d'adaptació

Diferents ciutats, a l'igual que Barcelona (vegeu 2.5. *Pla clima 2030 de l'Ajuntament de Barcelona*), han adoptat polítiques d'adaptació i resiliència al canvi climàtic, per tal de fer front a aquest fenomen en els pròxims anys i donar compliment als compromisos internacionals en aquesta matèria.

En el present apartat s'analitzen les estratègies desenvolupades per diverses capitals europees representatives, així com per dues ciutats nord-americanes que destaquen per les seves polítiques d'adaptació (San Francisco i Nova York).

En alguns casos, les estratègies fan referència exclusivament als impactes ambientals, mentre que d'altres també consideren els reptes econòmics i socials relacionats. Cal remarcar el caràcter força genèric de moltes de les estratègies i el fet que sovint inclouen mesures que fan referència a la mitigació (reducció d'emissions de GEH) més que no pas a l'adaptació.

Finalment, cal mencionar que algunes de les polítiques que es presenten a continuació –s'especificarà en cada cas– han estat elaborades sota el marc del Programa *100 Resilient Cities* (100RC), <http://www.100resilientcities.org/cities/>, de la Fundació Rockefeller. Les 100 ciutats que varen ser seleccionades a participar al Programa 100RC han rebut des del 2013 suport per desenvolupar un full de ruta cap a la resiliència urbana al llarg de quatre vies principals: suport financer i logístic, experiència en planificació, connexions entre el sector públic-privat i un fòrum per intercanviar idees i bones pràctiques.

### 2.2.1. París

El 2017, París va presentar la seva estratègia de resiliència – *Paris Resilience Strategy* –, elaborada sota el programa 100RC. Malgrat que no només se centra en aspectes ambientals, queda ben reflectit que el canvi climàtic és un dels principals reptes als quals s'enfronta la ciutat en els propers anys.

Concretament, s'esperen augments de la temperatura mitjana d'entre 2 i 4 °C i altres riscos com onades de calor, sequeres, fortes tempestes, inundacions i escassetat d'aigua. Tots aquests fenòmens poden tenir efectes perjudicials sobre la infraestructura urbana, també a la del transport, afectant el servei.

L'estratègia proposa com una de les accions a implementar l'anticipació dels riscos, la caracterització dels impactes potencials sobre la infraestructura i els costos associats. Així, es proposa l'establiment de grups de treball per identificar les infraestructures més vulnerables i plantejar la seva adaptació basada en els impactes identificats. En relació amb aquesta acció, es proposa també la incorporació de solucions resilents a la planificació urbanística. D'aquesta manera, el primer pas és revisar la documentació regulatòria vigent, identificar els obstacles que frenen la resiliència i introduir noves mesures o incentius vinculants, especialment a escala urbana i metropolitana.

Pel que fa més específicament a les infraestructures de transport, es planteja transformar la carretera de circumval·lació ("Périphérique") i la xarxa d'autopistes per maximitzar els beneficis, tot i que no es fa referència a la resiliència. D'altra banda, també es proposa la transformació de dos barris, Saint-Vincent-de-Paul i Bercy-Charenton, en àrees resilents al canvi climàtic sense, novament, fer referència específica a la resiliència.

Més informació:

<https://api-site-cdn.paris.fr/images/103187>

### 2.2.2. Londres

A diferència de París, Londres destaca per la seva concreció en les propostes d'adaptació al canvi climàtic, segurament perquè, a diferència de l'estratègia de la ciutat gal·la, la *London Environment Strategy*, presentada el 2018, només fa referència als aspectes ambientals.

A Londres, tot i que no està previst un canvi significatiu de la precipitació anual, sí que s'espera una major intensitat i un canvi d'estacionalitat, amb hiverns més plujosos i estius més secs, augmentant, així, la freqüència de les inundacions i les sequeres. La temperatura mitjana anual, per contra, s'espera que augmenti en els propers anys, d'entre 5 i 6 °C.

L'estratègia estableix que aquest nou escenari climàtic tindrà afectacions sobre les infraestructures urbanes. Es determina també que, diferents sectors, incloent el del transport, han de ser capaços d'adaptar-se a les noves condicions climàtiques per garantir el bon funcionament dels diferents serveis. Així, es proposen les següents actuacions:

- Amb l'objectiu de reduir l'estrès tèrmic derivat de l'augment de les temperatures, es proposa treballar en col·laboració amb l'entitat gestora del transport de la ciutat (*Transport for London*) per millorar el confort a la xarxa d'autobusos i metro de la ciutat. Concretament, es proposa la identificació dels punts més afectats, la millora de la ventilació i altres accions com pintar les teulades dels autobusos amb pintures reflectants, disposar de finestres tintades i aïllar els motors dels autobusos per reduir la temperatura.
- Pel que fa a la reducció del risc d'inundació, s'identificaran els punts més vulnerables a patir l'efecte en episodis de pluja intensa. A més, s'avisarà a la població sobre l'ocurrència de fenòmens climàtics que puguin posar en risc el funcionament de les infraestructures.
- En termes generals, es proposa la promoció per part de l'Administració de millores contínues de resiliència de les infraestructures entre els sectors prioritaris per garantir que Londres segueixi sent una de les ciutats líders mundials en matèria de resiliència urbana.

Més informació:

[https://www.london.gov.uk/sites/default/files/london\\_environment\\_strategy.pdf](https://www.london.gov.uk/sites/default/files/london_environment_strategy.pdf)

### 2.2.3. Berlín

Berlín va publicar la seva estratègia d'adaptació al canvi climàtic, coneguda com a *Adapting to the Impacts of Climate Change in Berlin*, el 2016. La ciutat, en els últims anys, ja ha registrat temperatures superiors als anys precedents i s'estima que, a finals de segle, aquest augment pugui ser de 3 °C. Pel



que fa al règim de precipitació, es preveuen increments futurs que oscil·larien entre el 7,5% i el 18% en un futur.

Es preveu que el servei i les infraestructures de transport de la ciutat, a l'igual que d'altres, es vegin afectades com a conseqüència del canvi climàtic. De fet, les elevades temperatures ja causen trencament i aixecament de paviments a les carreteres alemanyes (fenomen conegut com a *blow-up*) i també es produeixen episodis d'afectacions per pluges intenses. D'altra banda, s'espera que l'increment de la temperatura provoqui un augment d'accidents de trànsit, sobretot de ciclistes, i una disminució del confort tèrmic dels vianants.

En particular, les mesures que proposa el document per adaptar el canvi climàtic al transport de la ciutat són les següents:

- Adaptar el sistema de drenatge de les carreteres a l'augment de la intensitat de les pluges.
- Substituir el material de les carreteres per un més idoni.
- Millorar la seguretat dels ciclistes i els vianants.
- Millorar la ventilació del transport públic.
- Comprovar i estudiar les infraestructures de transport per part d'un grup de treball.
- Garantir una xarxa de mitjans de transport públic respectuosos amb el medi ambient.

Més informació:

[https://www.berlin.de/senvvk/klimaschutz/publikationen/download/Adapting\\_to\\_the\\_Impacts\\_of\\_Climate\\_Change\\_in\\_Berlin.pdf](https://www.berlin.de/senvvk/klimaschutz/publikationen/download/Adapting_to_the_Impacts_of_Climate_Change_in_Berlin.pdf)

#### 2.2.4. Roma

Roma va publicar la seva pròpia estratègia, *Roma Strategia di resilienza*, el 2018, sota el programa 100RC.

Les principals pressions ambientals a les quals s'enfronta la ciutat són l'augment de la temperatura, l'efecte de l'illa de calor urbana, les sequeres i la contaminació, especialment l'atmosfèrica. Amb relació a la mobilitat, es cataloga el sistema de mobilitat públic com a inadequat –acompanyat d'una baixa utilització–, i constata un augment de la flota de vehicles privats i infraestructures viàries. Entre les mesures que es proposen, s'inclou la promoció d'una mobilitat més sostenible, incloent la utilització de tecnologies eco-sostenibles (per exemple, per fomentar la mobilitat elèctrica) i la reorganització de la xarxa de transport pública i privada.

En matèria d'infraestructures, es proposa la creació d'un únic centre operatiu per a la gestió ordinària i d'emergències de la ciutat. El sistema inclou la creació d'una potent infraestructura tecnològica per gestionar i integrar en temps real totes les dades i informació de les càmeres de trànsit, mobilitat, transport, meteorologia i supervisió.

El primer pas per completar aquesta acció serà la implementació d'un sistema integrat de gestió de riscos i emergències, segons el qual es crearà un sistema centralitzat de tecnologies de la informació

territorial per a la gestió dels riscos (risks sísmics, inestabilitat hidrològica, inestabilitat gravitacional, foc, extrem) esdeveniments climàtics, etc.) i les emergències controlades per la Protecció Civil de Roma, a més de la coordinació dels procediments operatius de planificació, prevenció i intervenció i comunicacions interactives amb els ciutadans.

Més informació:

<https://www.100resilientcities.org/wp-content/uploads/2018/06/Rome-Resilience-Strategy-ENG-PDF-1.pdf>

#### 2.2.5. Atenes

Atenes va publicar la seva Estratègia de resiliència el 2017, també amb el suport del Programa 100RC, per fer front a totes les pressions a les quals està exposada en els propers anys.

El canvi climàtic comportarà un augment de la temperatura urbana de 2°C en l'horitzó 2050 i de 4°C de cara el 2100, a més d'un augment de la intensitat i la freqüència de les onades de calor i de l'efecte d'illa de calor. Actualment, a més, la ciutat no disposa de legislació actualitzada en matèria de protecció ambiental i energètica, fet que agreuja els efectes.

En matèria de mobilitat, la ciutat es caracteritza per una infraestructura i xarxa de transport públic limitada que provoca, en conseqüència, un trànsit dens i una pobra qualitat de l'aire. D'aquesta manera, l'estratègia promou una mobilitat més sostenible amb el plantejament de les següents mesures: desenvolupar un pla de mobilitat urbana sostenible, un pla de ciclisme urbà, estendre les zones pedestres i establir xarxes de busos elèctrics.

Més informació:

<http://www.100resilientcities.org/wp-content/uploads/2017/07/resilience-strategy-athens-english.pdf>

#### 2.2.6. La Haia

La Haia ha publicat la seva Estratègia de resiliència durant el segon trimestre de l'any 2019 sota el marc del Programa 100RC. Els principals reptes del canvi climàtic als quals s'enfronta la ciutat són l'augment de la temperatura, de la incidència de les onades de calor i l'efecte d'illa de calor; i les inundacions –no només causades per pluges intenses sinó també per l'augment del nivell del mar i del cabal dels rius (la ciutat es troba sota el nivell del mar)–.

Pel que fa a la mobilitat, el document estableix que alguns barris de la Haia tenen un accés relativament limitat al transport públic. A més, la capacitat del transport públic i del sistema viari està cada vegada més pressionada a mesura que augmenta la població, els visitants i els llocs de treball. Malgrat aquestes problemàtiques, cap de les mesures proposades té en compte modificacions en les infraestructures de transport i el seu servei. Únicament es fa referència a l'establiment d'un sistema de mobilitat públic per unir la ciutat amb el districte localitzat al sud-oest, que sigui ambientalment poc impactant, per afavorir el desenvolupament de la zona.

Més informació:

<http://100resilientcities.org/wp-content/uploads/2019/05/Resilience-Strategy-The-Hague-English.pdf>

### 2.2.7. San Francisco

La ciutat de San Francisco va establir el 2016 la seva estratègia de resiliència, coneguda com a *Resilience San Francisco. Stronger today, stronger tomorrow*. L'estratègia, pel que fa als impactes del canvi climàtic, indica com a principals impactes esperables: l'augment del nivell del mar, l'increment de la temperatura i l'augment en la intensitat de tempestes, inundacions i incendis.

Aquests possibles impactes suposen un risc significatiu pel sistema de mobilitat de San Francisco. Des de fa anys, però, l'agència encarregada del transport públic de San Francisco –*San Francisco Municipal Transportation Agency (SFMTA)*– ha treballat per augmentar la resiliència de la xarxa de transport envers els efectes climàtics, a més de ser líder nacional en la reducció de les emissions de GEH. De fet, la SFMTA compta amb el seu propi pla d'acció (*Transportation Sector Climate Action Strategy*) que tracta temes tant d'adaptació com de mitigació en el sector del transport.

Pel que fa a l'adaptació, se centra en cinc àrees, en les que proposa una sèrie d'accions a implementar a curt i llarg terminis:

- Educació i comunicació:
  - Involucrar les comunitats locals i els grups d'interès sobre el canvi climàtic en el sector del transport.
  - Desenvolupar campanyes de sensibilització sobre els impactes del clima en el transport.
  - Incrementar el coneixement dels professionals del SFMTA per interpretar la informació sobre el canvi climàtic, incloent dades i mapes rellevants.
  - Establir un grup de treball per a estudiar l'augment del nivell del mar.
- *Capital Planning*:
  - Dur a terme un projecte pilot que avaluï la resiliència i la sostenibilitat ambiental dels projectes de transport envers l'augment del nivell del mar.
  - Proporcionar assistència tècnica i suport al personal de transport que gestionen el *Capital Planning Committee Sea Level Rise Guidance and Checklist*.
  - Entendre la varietat d'eines i mecanismes financers amb relació a la resiliència.
- Anàlisi de les vulnerabilitats:
  - Identificar les vulnerabilitats i els riscos associats a l'augment del nivell del mar i les inundacions.
  - Identificar els impactes sobre les comunitats desfavorides que depenen del sistema de mobilitat.

- Identificar i fer front a les mancances de dades i d'informació del sistema de mobilitat (instal·lacions, béns immobles i infraestructures).
- Plans, polítiques i estratègies d'adaptació:
  - Dirigir i col·laborar en el desenvolupament dels principis d'adaptació al clima, planificació de la resiliència i risc climàtic.
  - Supervisar i documentar els impactes relacionats amb el clima al sistema de mobilitat.
- Partenariats i col·laboracions:
  - Mantenir un paper actiu en els grups de treball i els comitès d'adaptació al clima rellevants.
  - Establir relacions laborals sòlides amb altres departaments de la ciutat amb relació a sistemes de mobilitat, com ara el port o l'Aeroport de San Francisco.
  - Establir grups de treball amb operadors de transport públic i agències de transport.
  - Establir grups de treball amb agències estatals i regionals.
  - Establir associacions amb operadors de trànsit nacionals i internacionals, planificadors de transport, dissenyadors, enginyers i arquitectes que donin suport al desenvolupament d'un sistema de mobilitat resilient.

Més informació:

[http://100resilientcities.org/wp-content/uploads/2017/07/100RC\\_ResilientSanFrancisco\\_lowRes\\_sm.pdf](http://100resilientcities.org/wp-content/uploads/2017/07/100RC_ResilientSanFrancisco_lowRes_sm.pdf)  
[https://www.sfmta.com/sites/default/files/reports-and-documents/2017/12/cap\\_draft\\_full\\_document-final1.pdf](https://www.sfmta.com/sites/default/files/reports-and-documents/2017/12/cap_draft_full_document-final1.pdf)

### 2.2.8. Nova York

L'any 2013, la ciutat de Nova York va publicar la seva estratègia de resiliència, coneguda com a *One New York: The Plan for a Strong and Just City*. El document defineix una sèrie de mesures a adoptar per augmentar la resiliència, incloent la necessitat d'afrontar l'amenaça existencial del canvi climàtic.

S'espera que Nova York experimenti el 2050 un augment de la temperatura d'entre 4,1 i 5,7 °C, un augment de la precipitació d'entre el 4 i l'11% i un augment del nivell del mar d'entre 28 a 54 cm.

Amb relació a la mobilitat, un dels objectius que planteja l'estratègia és convertir la xarxa de transport en una xarxa fiable, segura, sostenible i accessible, capaç de satisfer les necessitats de la ciutadania i donar suport a l'economia creixent de la ciutat. Les iniciatives que es proposen per assolir aquest objectiu són:

- Finançar completament el Pla de l'Autoritat Metropolitana de Transport (MTA).
- Millorar els serveis de trànsit existents: reduir la congestió de les principals línies de metro, expandir la línia d'autobús i millorar-ne el servei, i millorar el sistema de ferrocarril.

- Expandir les xarxes de transport de la ciutat, també les ciclables, i millorar-ne l'accessibilitat.
- Convertir el transport per carretera en un servei més verd i més eficient.
- Ampliar el transport de mercaderies per via ferroviària i marítima, sempre que sigui possible.
- Expandir la capacitat dels aeroports i millorar-ne l'accessibilitat.
- Millorar l'estat de les carreteres, autopistes i els ponts de la ciutat.

Altrament, com a cas particular, cal fer esment al document *"A Stronger, More Resilience New York"*, també publicat el 2013. El document va sorgir de la necessitat d'incrementar la resiliència de la ciutat al canvi climàtic un cop experimentats els devastadors efectes de l'huracà Sandy. L'huracà, a més de causar nombrosos danys personals, va produir greus afectacions a la xarxa viària i ferroviària, i altres infraestructures de la ciutat.

L'estratègia recull totes les afectacions registrades, també sobre les infraestructures, i els riscos als quals estan exposades en un futur. Proposa una sèrie d'iniciatives per augmentar la resiliència de la ciutat als fenòmens climàtics extrems. En matèria de transport:

- Reconstruir les infraestructures danyades per l'huracà.
- Incorporar la resiliència al canvi climàtic a tots els projectes.
- Elevar els senyals de trànsit i proporcionar energia elèctrica "de seguretat" als l'optimització de les tècniques i procediments per a la gestió de les emergències associades als fenòmens climàtics senyals l'optimització de les tècniques i procediments per a la gestió de les emergències associades als fenòmens climàtics crítics en cas que es perdi l'alimentació de la xarxa.
- Protegir els túnels de les inundacions.
- Instal·lar barreres per protegir la maquinària dels ponts mòbils.
- Protegir les estacions de ferri.
- Planificar serveis de transport alternatius en cas de suspensions del sistema de metro.
- Identificar els elements crítics de la xarxa de transport i millorar la capacitat de resposta en cas de fenòmens climàtics extrems.
- Planificar les instal·lacions per a vianants i bicicletes per millorar la connectivitat amb altres mitjans de transport.
- Millorar la comunicació en cas d'episodis d'emergència.
- Expandir la xarxa de bus i servei de ferri a tota la ciutat.

Més informació:

<http://www.nyc.gov/html/onenyc/downloads/pdf/publications/OneNYC.pdf>

[https://www.nycedc.com/sites/default/files/filemanager/Resources/Studies/Stronger\\_More\\_Resilient\\_NY/\\_Prologue\\_Intro\\_11\\_FINAL\\_singles.pdf](https://www.nycedc.com/sites/default/files/filemanager/Resources/Studies/Stronger_More_Resilient_NY/_Prologue_Intro_11_FINAL_singles.pdf)



## 2.3. Exemples d'aplicació de mesures d'adaptació en infraestructures de mobilitat

A continuació es presenten una sèrie d'experiències d'adaptació de les infraestructures de transport al canvi climàtic executades a diferents països europeus, potencialment aplicables a l'àmbit SIMMB.

Els estudis de cas es classifiquen per infraestructures viàries (carreteres, autopistes) i ferroviàries (infraestructures associades al servei de tren, ferrocarrils i metro).

### 2.3.1. Infraestructures viàries

#### Estudi de cas 1: Identificació de "Blue spots" a la xarxa viària (diversos països)

El projecte SWAMP –*Storm Water prevention - Methods to Predict damage from the water stream in and near road pavements in lowland areas*– va desenvolupar un model per identificar els punts vulnerables de la xarxa viària a patir efectes significatius derivats d'episodis de pluja intensa, presents o futurs: el model del *Blue spot*. Les dades que s'utilitzen per extreure tal informació s'obtenen a partir de models digitals del terreny amb informació hidrològica, factors climàtics i estadístiques de precipitació i informació sobre la morfologia del sòl, la demografia i les càrregues de trànsit.

Inicialment, la metodologia va ser aplicada pel *Danish Road Directorate* (entitat responsable de les carreteres daneses), però també ha estat àmpliament utilitzada a Suècia i Holanda.

Més informació a:

[https://www.cedr.eu/download/other\\_public\\_files/research\\_programme/eranet\\_road/call\\_2008\\_climate\\_change/swamp/04\\_Report-3-The-Blue-Spot-Model.pdf](https://www.cedr.eu/download/other_public_files/research_programme/eranet_road/call_2008_climate_change/swamp/04_Report-3-The-Blue-Spot-Model.pdf)

#### Estudi de cas 2: Construcció de l'autopista Patras – Pyrgos (Grècia)

Després d'una sèrie d'estudis, es va determinar que l'àrea on està previst construir l'autopista Patras – Pyrgos, a Grècia, era vulnerable a patir danys estructurals com a conseqüència de fenòmens climàtics extrems i inundacions.

Durant la fase de planificació i disseny de l'autopista, doncs, es van plantejar les següents mesures: tria de materials adequats com a paviment, implantació de mesures de protecció contra incendis, disseny de tècniques per passos de corrent i de rius (ponts llargs de llum àmplia), dissenys realitzats almenys per períodes de retorn de 50 anys i instal·lació de sistemes SCADA (per la supervisió i adquisició de dades).

Més informació a:

[https://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/studies/pdf/climate\\_change\\_major\\_projects/climate\\_change\\_adaptation\\_of\\_major\\_infrastructure\\_projects.pdf](https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/climate_change_major_projects/climate_change_adaptation_of_major_infrastructure_projects.pdf)

### 2.3.2. Infraestructures ferroviàries

#### Estudi de cas 3: Metro de Copenhaguen (Dinamarca)

La companyia de metro de la capital danesa, *Metroselskabet*, ha dedicat esforços en els darrers anys per evitar les afectacions derivades d'episodis de tempestes i pluges abundants –majoritàriament inundacions–, que s'esperen més freqüents i intenses en els propers anys.

D'acord amb dades de prediccions futures i les característiques de cada estació de metro de la ciutat, cada una d'elles presenta unes particularitats diferents. En alguns casos, s'han realitzat actuacions simples com afegir un esglaó extra a l'accés del metro per reduir l'entrada de l'aigua. Altres estacions, per contra, incorporen sistemes de drenatge que condueixen l'aigua cap al sistema de clavegueram local, aïllament hídric a les sales de gestió tècnica i elèctrica amb materials impermeables o una gran porta per sectoritzar i aïllar l'estació d'altres instal·lacions en cas que estiguin connectades.

Finalment, les estacions de nova construcció ja tenen en compte que les escales i les rampes s'han de trobar a una cota de 2,42 m per sobre del nivell del mar.

Més informació a:

<https://en.klimatilpasning.dk/cases/items/the-metro-has-been-designed-for-climate-change/>

#### Estudi de cas 4: Metro de Londres (Regne Unit)

El metro de Londres també es troba exposat als perills de les inundacions, així com a elevades temperatures dins les instal·lacions –assolint els 40°C en dies molt calorosos, tot causant un fort desconfort tèrmic als passatgers–.

Per tal que el seu ús no es veiés afectat per aquest factor, es va dur a terme una avaluació de la ventilació, es van dissenyar elements de ventilació locals i es van adquirir trens amb una capacitat de refrigeració d'aire adequada. A banda d'aquestes mesures, es van proposar les següents recomanacions: implementar un programa de monitorització de la temperatura i la humitat a dins dels trens i a les estacions, fer anàlisis cost-benefici de les mesures d'adaptació i estudiar la resposta dels usuaris a les altes temperatures i altres possibles riscos potencials.

Més informació a:

[https://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/A\\_Sourcebook/SB5\\_Environment%20and%20Health/GIZ\\_SUTP\\_SB5f\\_Adapting-Urban-Transport-to-Climate-Change\\_ES.pdf](https://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/A_Sourcebook/SB5_Environment%20and%20Health/GIZ_SUTP_SB5f_Adapting-Urban-Transport-to-Climate-Change_ES.pdf)

#### Estudi de cas 5: Reconstrucció de la línia ferroviària de Dawlish (Regne Unit)

El febrer de 2014, una forta tempesta va destrossar part de la línia ferroviària de Dawlish, que es troba a primera línia de costa, causant una interrupció del servei durant dos mesos, fins la seva reobertura l'abril del mateix any.

Arran de l'incident, a més de reparar el tram afectat, es va configurar un grup de treball liderat per la principal empresa gestora de la infraestructura ferroviària del Regne Unit, *Network Rail*, i integrat per altres organitzacions del sector ferroviari i del govern local. El grup de treball va valorar tres opcions a implementar a llarg termini tenint en compte l'ascens del nivell del mar, la demanda dels usuaris, l'impacte sobre les comunitats, els factors ambientals, socials i econòmics, entre d'altres factors.

Les opcions avaluades van ser: conservar la ruta costanera, construir una segona línia o reubicar la línia principal a un punt allunyat de la costa.

Finalment, es va decidir que mantenir la ruta ferroviària actual era la solució més viable i rendible. No obstant, com a mesura adaptativa principal es construirà un dic, més gran i ampli, davant de la paret existent, que tindrà en compte l'ascens previst del nivell del mar. Aquesta construcció augmentarà la resistència a les onades i a d'altres factors climàtics extrems.

Més informació a:

<https://www.eea.europa.eu/publications/adaptation-of-transport-to-climate>

#### Estudi de cas 6: Remodelació de sistemes de drenatge a la xarxa ferroviària anglesa

*Network Rail* va publicar el 2010 un manual de sistemes de drenatge ferroviari (*Railway Drainage Systems Manual*). Aquest manual ofereix orientacions sobre diferents procediments per identificar riscos, assignar prioritats i determinar les mesures que cal prendre per mantenir la seguretat i reduir la pèrdua de rendiment atribuïble als sistemes de drenatge defectuosos.

Les especificacions exposades al manual s'han aplicat a diferents punts del territori anglès. Per exemple, a la zona inundable de l'estació de Dalarnock i de l'estació de Drem, on s'ha instal·lat un sistema d'atenuació i una bassa de laminació.

Més informació a:

<https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/implementing-climate-change-allowances-in-drainage-standards-across-the-uk-railway-network>

#### Estudi de cas 7: Projecte d'electrificació de la xarxa ferroviària de Letònia

L'any 2023 s'iniciaran les obres d'electrificació de les línies Rezekne, Daugavpils – Krustpils – Riga i Rezekne, Daugavpils – Krustpils – Jelgava – Ventspils, a Letònia, que actualment funcionen amb tracció dièsel. Mitjançant una avaluació del risc i de la vulnerabilitat, es van identificar una sèrie de riscos climàtics: alta i baixa temperatura de l'aire, precipitació intensa (incloent risc d'inundació), forts vents i tempestes, més incidència de llamps, pèrdua de coberta de neu, reducció o absència de gelades i canvis en la vegetació.

D'acord amb els riscos, s'han plantejat una sèrie de mesures preventives, tals com la selecció de materials resistents durant la fase de disseny, la reducció de la velocitat dels trens en dies calorosos, la garantia d'un subministrament elèctric secundari, el manteniment regular de franges de protecció, la tala regular d'arbres i vigilància de la seva alçada per evitar la caiguda i obstrucció a les vies, etc.

Més informació a:

[https://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/studies/pdf/climate\\_change\\_major\\_projects/climate\\_change\\_adaptation\\_of\\_major\\_infrastructure\\_projects.pdf](https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/climate_change_major_projects/climate_change_adaptation_of_major_infrastructure_projects.pdf)

#### Estudi de cas 8: Resiliència a la xarxa ferroviària alpina (Àustria)

La xarxa ferroviària alpina austríaca està sovint exposada a inundacions i altres interrupcions del servei causades per caigudes de roques, allaus o esllavissades. Aquests esdeveniments poden causar danys substancials a les infraestructures ferroviàries, a més de suposar un risc pels passatgers.

Per fer-hi front, l'empresa ferroviària nacional, ÖBB-Infrastruktur AG, ha desenvolupat una sèrie de mesures orientades, d'una banda, a l'aplicació de mesures de protecció estructural, com dics o cobertes, i, de l'altra, millores en la capacitat de resposta i gestió d'emergències.

Aquest últim punt és possible gràcies a un sistema de vigilància i alerta conegut com a *Infra:wetter*, operat conjuntament per ÖBB i pel servei privat meteorològic UBIMET GmbH. Aquest portal web interactiu disponible per al personal ÖBB combina dades de les estacions meteorològiques pròpies i externes de ZAMG (*Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik* -Institut Central de Meteorologia i Geodinàmica), radars, satèl·lits, així com projeccions meteorològiques locals i globals amb informació detallada de la xarxa de ferrocarril completa a Àustria. Proporciona informació de paràmetres meteorològics importants pel funcionament del servei, com la temperatura, la velocitat del vent, les precipitacions, les nevades i cota de neu.

Amb aquesta aplicació és possible detectar les anomenades condicions meteorològiques crítiques que permetran, amb un temps d'alerta previ suficient, emetre un avís i aplicar els procediments pertinents establerts per cada situació.

Més informació a:

<https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/building-railway-transport-resilience-to-alpine-hazards-in-austria>

ANNEX 3. *BENCHMARKING* DE SOLUCIONS INNOVADORES D'ADAPTACIÓ AL CANVI CLIMÀTIC EN L'ÀMBIT DE LA MOBILITAT



En el present annex s'exposen una sèrie de projectes, productes i solucions innovadores que tenen com a denominador comú l'increment de la resiliència del sistema de mobilitat –infraestructura i operació–envers escenaris de canvi climàtic (i, per extensió, sobre episodis climàtics extrems en general).

Aquestes mesures han estat implementades, en molts casos com a proves pilot, a diferents escales territorials i llocs del món, i són susceptibles de ser contemplades a l'àmbit SIMMB, ja que s'han tingut en compte els mateixos tipus de riscos climàtics.

## 1. Infraestructura

A continuació s'exposen una sèrie de projectes i/o estudis de cas d'estratègies i solucions innovadores en diferents elements de les infraestructures de transport, tant a la xarxa viària com ferroviària.

### 1.1. Xarxa viària

#### 1.1.1. Asfalt

##### *Solucions envers el sobreescalfament*

Tal i com s'ha comentat al llarg de l'informe, l'asfalt és susceptible de patir deformacions com a conseqüència de sobreescalfaments derivats d'exposicions prolongades a la radiació solar directa. A més, el color fosc que el caracteritza absorbeix molta calor, incrementant el propi sobreescalfament, així com la temperatura ambient i afavorint el fenomen de l'efecte illa de calor urbana.

- En el marc dels projectes europeus LIFE Heatland i REPARA 2.0, s'està estudiant la implementació d'asfalts freds –més coneguts com a *cool pavements*–, que es caracteritzen per tenir un major índex de reflectància solar en comparació amb els paviments asfàltics convencionals. Concretament, estan fabricats amb conglomerats sintètics en comptes de betums tradicionals.

El març del 2020 va finalitzar la prova pilot que estudiava el comportament del material, quant a sobreescalfament, a sis carrers de la ciutat de Múrcia. Degut a que la reflectància solar en el paviment reflectant ha estat aproximadament el 39% (en contrast amb el 6% de l'asfalt convencional), s'ha assolit una reducció de la temperatura mitjana de la superfície de la calçada de 8 °C.

<https://heatlandlife.eu/el-proyecto/>

- En la mateixa línia, s'ha estudiat l'efecte de pintar l'asfalt de color blanc per augmentar l'índex de reflectància solar i reduir l'absorció de la calor per part del paviment. Per exemple, amb l'aplicació d'un material conegut com a CoolSeal, es va assolir una reducció de més de 5 °C respecte altres àrees amb asfalt de color fosc a la ciutat de Los Angeles gràcies al seu elevat índex de reflectància solar (33%).

Entre d'altres beneficis del material s'inclou una major visibilitat nocturna (a l'igual que els *cool pavements*), una major durada de l'asfalt i una ràpida aplicació.

Figura 1.1. Carrer de Los Angeles pintat de blanc.



Font: El Espectador (<https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/los-angeles-pinta-sus-calles-de-blanco-para-hacer-bajar-los-termometros-articulo-707976>).

<https://guardtop.com/coolseal/>

- Altres projectes innovadors, com l'anomenat Asfalt i pavimentació, de CEPESA, també avaluen una sèrie de paràmetres per millorar la reflectància solar –i la resistència plàstica– dels asfalts. Per exemple, s'ha determinat que les barreges amb àrids calcaris i amb granulometria continua són més reflectants que les mescles amb àrids porfírics i amb granulometria discontinua.

A més, una reducció en la mida de la granulometria dels àrids també resulta favorable quant a la reflectància solar, així com una major compactació. Finalment, els pigments que millor funcionen són els òxids de titani (blancs) i els òxids de ferro vermells i grocs. Addicionalment, quant més pigment s'utilitzi, més gran serà la reflectància solar.

[https://www.asefma.es/wp-content/uploads/2018/03/asfalto\\_281.pdf](https://www.asefma.es/wp-content/uploads/2018/03/asfalto_281.pdf)

- No tant centrat en la reflectància sinó amb la pròpia resistència plàstica –i d'acord amb els resultats del projecte europeu LIFE Polymix– les mescles asfàltiques de materials reciclats com els pneumàtics fora d'ús (NFU), taps de polipropilè (PP), envasos de polietilè i penjadors de poliestirè han resultat ser més resistents a les deformacions plàstiques en comparació amb les mescles convencionals. Aquestes noves mescles també ofereixen un millor rendiment enfront de l'aparició de roderes a la calçada, especialment freqüents en condicions d'elevada temperatura ambient o quan el trànsit és lent.

<https://www.giteco.unican.es/proyectos/POLYMIIX/Documentation/InformeLayman.pdf>

- El projecte europeu DURABROADS també ha demostrat millores en la resistència plàstica de diferents materials amb relació a la temperatura, com ara els polímers (per exemple el betum modificat amb polímer), la pols de grafit, els nanoadditius o altres materials de rebliment.



A més, fabricar asfalt a temperatures més baixes (70-100 °C) en comparació amb els asfalts convencionals (150-170 °C) comporta una millora de la rigidesa a altes temperatures –mantenint un comportament elàstic satisfactori a baixa temperatura–, tot augmentant la durabilitat del paviment.

<https://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=1132>

### Solucions per facilitar el drenatge de l'aigua

En funció de les irregularitats del paviment i altres factors geotècnics, l'aigua provinent de la pluja *in situ* (directa) i/o d'altres fronts (indirecta), pot acumular-se sobre la via, dificultant el drenatge de l'asfalt. D'aquesta manera, per tal de reduir els riscos provocats per aquest fenomen, s'han estudiat diversos tipus de solucions a aplicar.

- CEMOSA, juntament amb el Centre per al Desenvolupament Tecnològic Industrial (CDTI), va desenvolupar un paviment amb la capacitat d'evacuar més ràpidament l'aigua acumulada a la via. Entre les seves característiques, s'inclou una espessor més gran de la capa drenant i una major grandària dels buits, millorant la permeabilitat vertical i horitzontal. Aquest paviment, conegut com a PAVISOST, també es caracteritza per oferir una alta resistència als impactes ambientals.

<http://www.cemosa.es/proyecto-idi/pavisost-sustainable-and-low-maintenance-porous-asphalt-pavement/>

- Un altre material que millora el drenatge a les carreteres és el conegut com a Topmix Permeable, originat al Regne Unit. A diferència del formigó convencional, aquest material conté un alt contingut d'espai buit, d'entre el 20 i el 35%. D'aquesta manera, l'aigua superficial s'escola (amb una velocitat de flux de fins a 1.000 l/m<sup>2</sup>/min) i es dissipa de forma natural, reduint el risc d'inundació.

Figura 1.2. Material Topmix Permeable.



Font: TARMAC <https://www.tarmac.com/media/957194/topmix-permeable-brochure-march-2016.pdf>.

<https://www.tarmac.com/media/957194/topmix-permeable-brochure-march-2016.pdf>

## 1.2. Xarxa ferroviària

### 1.2.1. Raïls

#### Solucions envers el sobreescalfament

Els raïls, especialment els que es troben a l'exterior, estan exposats a diferents fenòmens meteorològics. A diferència d'altres països del centre i el nord d'Europa, els raïls de la xarxa ferroviària espanyola estan dissenyats i fabricats per ser menys sensibles a eventuais deformacions provocades per sobreescalfament (entre d'altres aspectes, mitjançant soldadures de llargs trams de via). No obstant, el sobreescalfament dels raïls com a conseqüència de les exposicions prolongades a la radiació solar directa es pot reduir encara més mitjançant altres estratègies com:

- Pintar els raïls de blanc, per tal d'augmentar la reflectància a la radiació solar i reduir, així, la temperatura absorbida pel propi raíl. Aquesta mesura ja ha estat implementada a països com el Regne Unit, Àustria, Suïssa o Itàlia, on s'han assolit reduccions en l'escalfament dels raïls ferroviaris de fins a 8 °C.

Figura 1.3. Raïls pintats de blanc de la xarxa ferroviària d'Àustria (ÖBB).



Font: El Periódico <https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20190725/rieles-vias-blanco-color-austria-7568920>.

<https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20190725/rieles-vias-blanco-color-austria-7568920>

- Utilitzar sensors basats en la internet de les coses –concepte més conegut com a IoT, *Internet of Things*– per mesurar la temperatura dels raïls (així com altres infraestructures del sistema ferroviari).

La companyia holandesa ProRail ha instal·lat aquests sensors, amb la finalitat d'obtenir dades en temps real de la temperatura a diferents punts de la xarxa ferroviària, mitjançant una tecnologia d'enviament de dades automàtica a una plataforma en línia. A més, l'augment de la disponibilitat de dades permet realitzar estimacions i fer càlculs que abans no es podien realitzar, tot millorant així la planificació del servei ferroviari d'acord amb les condicions tèrmiques.



<https://www.railtech.com/digitalisation/2018/06/06/internet-of-things-sensors-project-wins-award/?gdpr=accept>

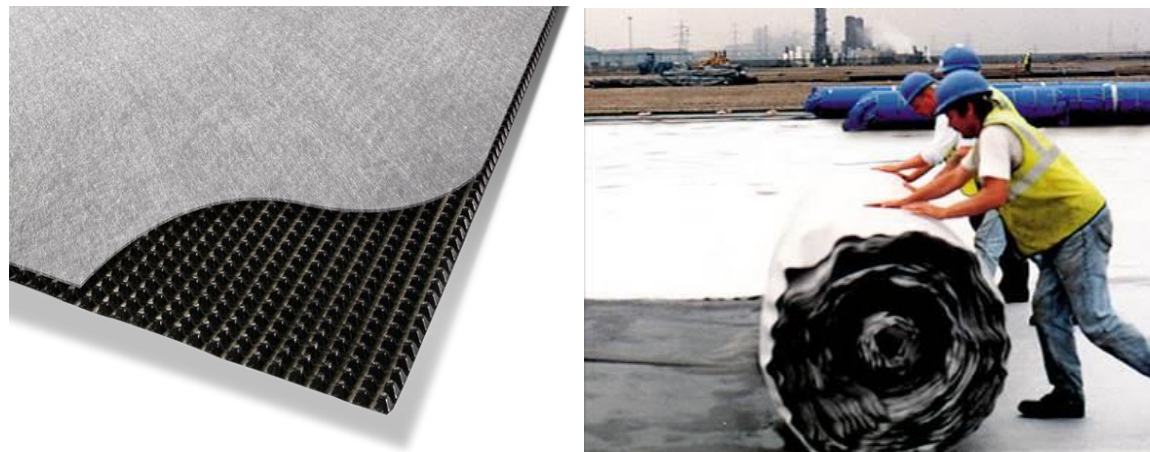
### Solucions per facilitar el drenatge de l'aigua

De la mateixa manera que succeeix a la xarxa viària, l'acumulació d'aigua a les vies pot afectar negativament el funcionament del sistema ferroviari. D'aquesta manera, el sistema de drenatge de les vies ha de tenir una capacitat suficient per permetre que l'aigua es pugui drenar ràpidament i assegurar el seu funcionament a llarg termini.

- Per solucionar els problemes sorgits en la construcció de la línia d'AVE entre les ciutats de Sevilla i Cadis, que comprenia alguns trams amb sòls tous i humits, es va utilitzar un geocompòsit de drenatge que actuava com a manta de drenatge horitzontal –tot evitant, així, la instal·lació d'altres elements de drenatge granular– per dirigir l'aigua horitzontalment a les sèquies adjacents al terraplè.

El material utilitzat, Pozidrain, consisteix en un nucli de drenatge flexible de polietilè cuspidat de gran resistència amb un teixit de filtre geotèxtil. Pozidrain ofereix una capacitat de drenatge superior malgrat el seu escàs gruix.

Figura 1.4. Secció del geocompòsit de drenatge Pozidrain (esquerra) i col·locació manual sobre el terreny (dreta).

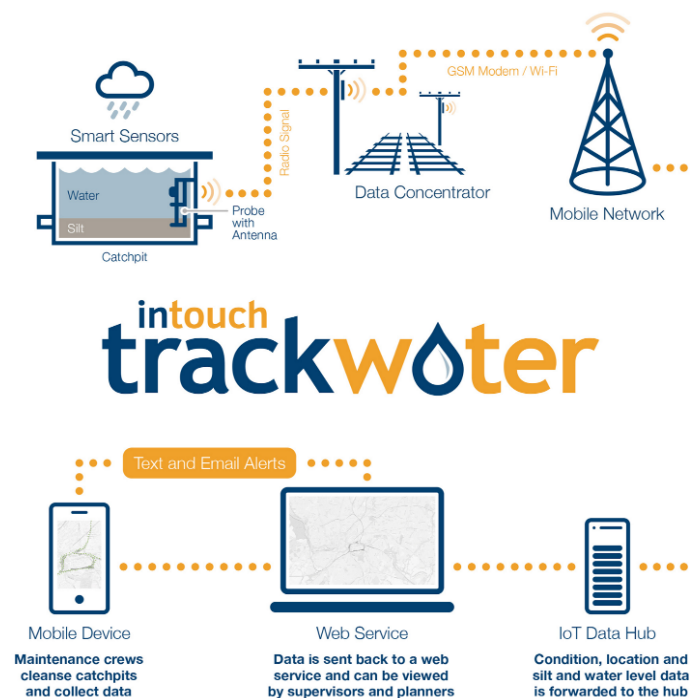


Font: <http://www.abg-geosynthetics.com/products/pozidrain.html>

<http://www.abg-geosynthetics.com/case-studies/embankment-drainage-high-speed-rail-sevilla-cadiz-spain.html>

- El projecte TrackWater, desenvolupat per la Universitat de Lancaster i la companyia ferroviària anglesa, Network Rail, entre d'altres, han estudiat la implantació de sensors basats en la tecnologia de la internet de les coses. A l'igual que els sensors explicats anteriorment, la disponibilitat de dades permet controlar el risc d'inundació i dur a terme anàlisis predictives del risc d'inundació.

Figura 1.5. Funcionament del sensor desenvolupat en el marc del projecte TrackWater.



Font: InTouch <https://www.intouch-ltd.com/trackwater/rail-track-drainage-systems>

<https://www.intouch-ltd.com/trackwater/rail-track-drainage-systems>

- La xarxa de ferrocarril de Rússia, JSC Russian Railways (RZD), abans que comenci la temporada d'inundacions (en aquest cas, parcialment lligada al desgel) compta amb la col·laboració de meteoròlegs que, mitjançant models climàtics i estacions automàtiques localitzades al llarg de la xarxa, permeten obtenir mapes de previsió precisos per a tota la xarxa ferroviària amb fins a 120 hores d'antelació.

D'aquesta manera, s'aconsegueix anticipar als riscos per tal d'evitar els danys que les inundacions podrien provocar sobre la infraestructura. A més, s'identifiquen aquells punts més vulnerables a patir afectacions.

<https://www.globalrailwayreview.com/article/82043/russian-rail-flooding-prepartion-planning/>

### Solucions envers altres impactes

- Diferents projectes han proposat alternatives amb relació a les travesses de la xarxa ferroviària. S'ha estudiat que les travesses de compòsits (uretà escumat reforçat amb fibra, Composit CarbonLoc) i altres fetes amb polímers, en ser menys rígids, ofereixen més uniformitat al balast, afavorint la seva resistència enfront els fenòmens climàtics extrems. Entre d'altres avantatges, també s'inclou una millora en l'absorció de les vibracions –comportant una disminució del risc



sobre les infraestructures i les característiques geotècniques, una menor necessitat de manteniment i una millora en el cicle de vida de la travessa.

No obstant, s'ha detectat algun desavantatge, i és que la poca rigidesa de les travesses de polímer pot comprometre l'estabilitat del raïl, sobretot en cas d'inundacions.

[http://cot.unhas.ac.id/journals/index.php/ialt\\_lti/article/view/188/100](http://cot.unhas.ac.id/journals/index.php/ialt_lti/article/view/188/100)

<https://www.mdpi.com/2412-3811/2/4/13/htm>

### 1.2.2. Balast

El balast és un àrid utilitzat per la millora de la resistència de les vies ferroviàries pel fet que esmorteix l'efecte de les càrregues dels trens distribuint el pes cap a la part baixa de la plataforma, evitant així els moviments tant longitudinals com transversals de la via. Entre les seves altres funcions, també figuren evitar el creixement de vegetació a la plataforma, reduir el soroll de pas dels trens i permetre el correcte drenatge de les aigües de pluja i la seva evaporació, evitant que s'acumuli aigua a la plataforma.

Generalment, s'utilitza roca dura de 3 a 6 cm de mida, provinent sobretot de la trituració de quarsites o granits, de superfície irregular –amb arestes–, per millorar l'adherència entre les pedres de l'estructura. No obstant, degut a les noves condicions climàtiques, s'han estudiat alternatives al balast (i al sotabalast) convencional, per tal de reforçar la seva resistència a les elevades temperatures i a la precipitació abundant.

- Emprar una capa de sotabalast bituminosa té avantatges en comparació amb les capes granulars convencionals. Això és degut a que es minimitzen els desplaçaments verticals, les variacions estacionals i les necessitats de manteniment. A més, és més resistent a l'aigua, de manera que augmenta el rendiment i el cicle de vida de la xarxa ferroviària, d'acord amb un informe de la Unió Internacional del Transport Públic (UITP).

[https://www.uitp.org/sites/default/files/Knowledge/Climate\\_change\\_resilience\\_Rail\\_201701.pdf](https://www.uitp.org/sites/default/files/Knowledge/Climate_change_resilience_Rail_201701.pdf)

- Utilitzar materials alternatius, com per exemple el que s'ha desenvolupat en el marc del projecte europeu Neoballast, que està format per agregats naturals recoberts de partícules de goma procedents de pneumàtics en desús, resultant en una major resistència a la ruptura i al desgast per fricció, entre d'altres (menys vibracions, soroll, etc.).

<https://cordis.europa.eu/project/id/720491/results>

- Les universitats de València i Sevilla també han estudiat la substitució del sotabalast convencional per cautxú triturat procedent de pneumàtics usats, en aquest cas combinat amb pedra picada, i han demostrat una bona resistència a l'abrasió i la fragmentació.

<https://www.recycling-magazine.com/2016/07/18/new-material-developed-for-track-ballast-contains-shredded-rubber-from-used-tires/>

### 1.2.3. Catenària

La catenària és vulnerable a patir talls en el subministrament elèctric com a conseqüència de diferents riscos climàtics. Per tal d'evitar interrupcions en el servei ferroviari, es poden implantar algunes mesures per reforçar el servei.

- Instal·lar catenària rígida en substitució de la catenària flexible, allà on sigui possible, ja que, al tenir una secció elèctrica més ampla, es redueixen les possibles incidències provocades per les caigudes de tensió. A més, es redueix el consum d'energia, suposant una millora en l'eficiència elèctrica.

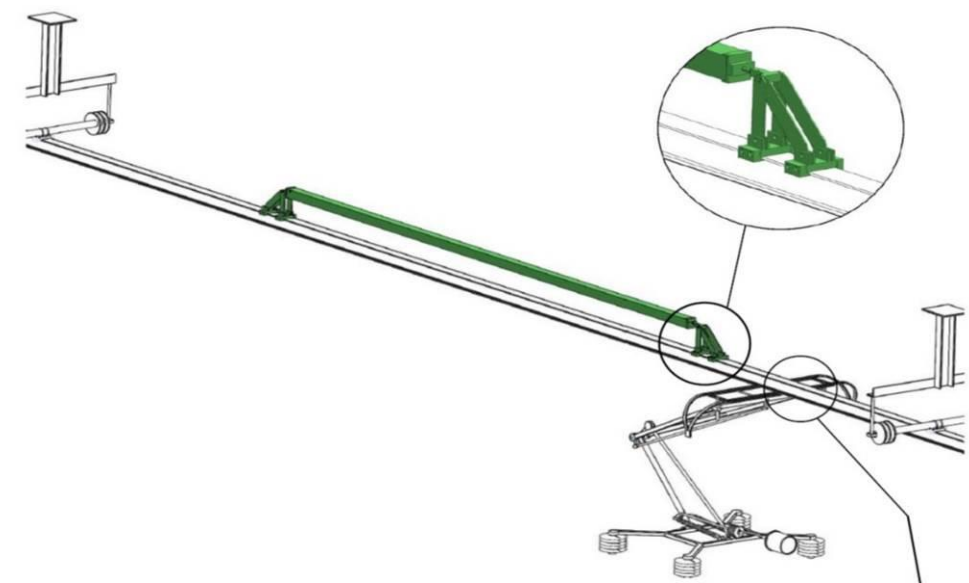
Fins a la data, part de la xarxa ferroviària de l'àmbit SIMMB ja compta amb catenària rígida: per exemple, el 84% dels trams en túnel de la línia Barcelona-Vallès de FGC. El metro de Barcelona i la xarxa de Renfe també compten amb trams amb catenària rígida.

<https://www.fgc.cat/wp-content/uploads/2020/02/20200207-Modificacio-servei-L7-per-obres-de-millora.pdf>

<https://www.lavanguardia.com/vida/20101030/54061483734/barcelona-ya-tiene-catenarias-resistentes-a-las-averias.html>

- Malgrat que la catenària rígida presenta beneficis respecte la flexible, també té limitacions. L'empresa espanyola INNOVIRIA ha desenvolupat un dispositiu, el CaDOD-100, per tal de disposar d'una catenària més robusta i segura. La instal·lació del dispositiu permet eliminar les vibracions al pas del pantògraf en menys de 5 segons, així com incrementar la distància entre els suports, tot abaratint els costos d'instal·lació, i disminuint els arcs elèctrics i el desgast en minimitzar la caiguda natural entre les obertures.

Figura 1.6. Esquema de dispositiu CaDOD-100 sobre catenària rígida.



Font: INNOVIRIA (<https://innoviria.com/blog/>).

<https://innoviria.com/>

### 1.3. Elements comuns

#### 1.3.1. Talussos

Més enllà de les tècniques d'estabilització i control de talussos descrites a la fitxa corresponent, s'han desenvolupat una sèrie de projectes per afavorir el seu monitoratge i estabilització, amb l'objectiu final d'evitar els moviments de terres que poden afectar el correcte funcionament de la xarxa viària i ferroviària.

- ADIF va impulsar el projecte Simit –Sistema de monitoratge intel·ligent de talussos de desmunt i detecció d'obstacles en via. Manteniment proactiu de desmunts– amb l'objectiu de dissenyar un sistema de monitorització intel·ligent pel control de moviments en talussos. El producte està integrat per dos subsistemes: el de control de moviments de talussos inestables i el de control d'ocupació de via per desprendiments.

Entre les característiques dels sistemes de monitoratge (sistema de sensors sense fils PRS-WSS, de Proxima systems) cal destacar el baix cost, l'autonomia elèctrica i la precisió. A més, faciliten un manteniment proactiu amb uns costos molt reduïts en comparació amb els sistemes d'inspecció habituals.

[http://www.ptferroviaria.es/Docs/Jornadas/JornadaPTFE\\_30112016/15\\_AlvaroPerez.pdf](http://www.ptferroviaria.es/Docs/Jornadas/JornadaPTFE_30112016/15_AlvaroPerez.pdf)

- Amb relació al projecte anterior, la Universitat de Cantàbria, subvencionada pel Centre de Desenvolupament Tecnològic Industrial està realitzant una prova pilot a Sant Fruitós de Bages per l'obtenció de dades de forma continuada sobre l'estabilització d'un talús i el funcionament dels sistemes de contenció implantats (col·locació d'una barrera de protecció, una malla d'anells i uns faldons).

<https://www.naciodigital.cat/manresa/noticia/88175/es/monitoritzaran/sistemes/contencio/talus/cami/sant/benet/bages>

- D'altra banda, tal i com s'ha exposat a la fitxa corresponent, la revegetació és una tècnica d'estabilització de talussos i es pot dur a terme mitjançant la hidrosembra. El projecte BIOTALUDES estudia la utilització d'uns estabilitzadors concrets, els hidrogels biodegradables, per tal que ajudin a retenir l'aigua i a alliberar els nutrients i els microorganismes beneficiosos pel creixement de les plantes, entre d'altres funcions, amb la finalitat d'afavorir la hidrosembra, i així facilitar l'estabilització del conjunt del talús.

[https://investigacion.us.es/sisius/sis\\_proyecto.php?idproy=23185](https://investigacion.us.es/sisius/sis_proyecto.php?idproy=23185)

#### 1.3.2. Túnel

Els túnels, tan viaris com ferroviaris, degut a les seves característiques infraestructurals, sovint soterrades, són susceptibles a patir inundacions i filtracions. D'aquesta manera, a continuació s'expliquen una sèrie de solucions instaurades en diferents indrets que poden ser replicables a qualsevol indret del món.

- Per tal d'impedir la inundació de la xarxa ferroviària subterrània, la Direcció de Ciència i Tecnologia del Departament de Seguretat Nacional dels Estats Units ha desenvolupat una

estructura inflable per bloquejar el pas de l'aigua als túnels de la xarxa ferroviària. L'estructura està feta d'un teixit de gran resistència conegut com a Vectran, i s'ha dissenyat per mantenir-se preinstal·lada en un contenidor compacte per, quan sigui necessari, inflar-se ràpidament.

Figura 1.7. Estructura inflable per reduir les inundacions a la xarxa ferroviària subterrània.



Font: Official website of the Department of Homeland Security (<https://www.dhs.gov/publication/st-resilient-tunnel-project-protecting-our-nation-s-critical-infrastructure-fact-sheet>).

[https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/Resilient%20Tunnel%20Project-508\\_0.pdf](https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/Resilient%20Tunnel%20Project-508_0.pdf)

<https://www.sciencedaily.com/releases/2017/06/170621170156.htm>

- Amb l'objectiu d'evitar les filtracions d'aigua als túnels, ACCIONA va desenvolupar una solució innovadora, premiada pels JEC Innovation Awards 2017, que consisteix en el disseny i construcció d'unes plaques de resina polimèrica reforçada amb fibra de vidre, fabricades per un procés de pultrusió, que permeten la canalització de l'aigua. Les propietats dels materials (flexibilitat) permeten que les plaques s'adaptin a la forma de túnel i a les seves irregularitats, i ofereixen una alta resistència a la corrosió i menys necessitats de manteniment en comparació amb altres materials de construcció.

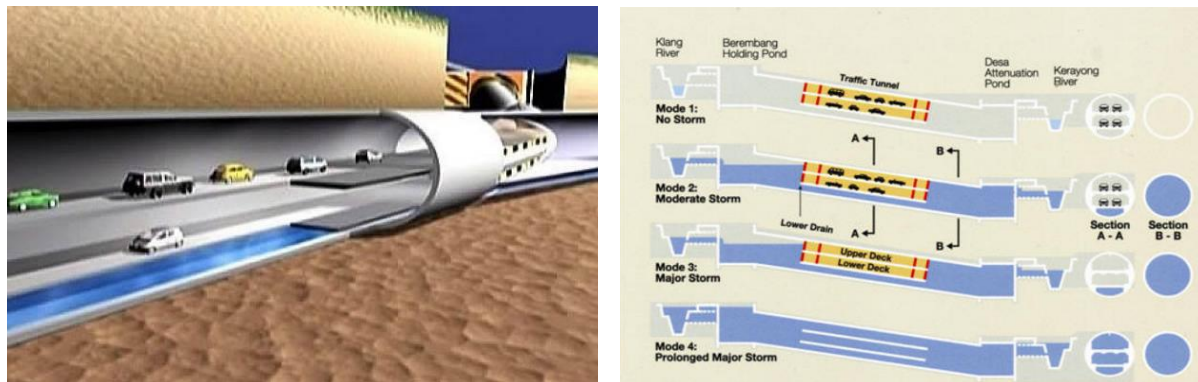
<https://www.accion-construccion.com/es/salaprensa/noticias/2017/marzo/accion-construccion-premiada-por-el-revestimiento-de-los-t%C3%BAneles-de-pajares/>

- El projecte SMART va ser desenvolupat pel Govern de Malàisia amb la finalitat de solucionar el problema freqüent d'inundació de la ciutat de Kuala Lumpur. Concretament, es va instal·lar un sistema de detecció precoç a un túnel de la xarxa viària de la ciutat, que ofereix informació en temps real. D'aquesta manera, en funció de les condicions climàtiques, s'activen una sèrie de protocols, que en els casos més severos –per exemple, quan el cabal supera els 150 m<sup>3</sup>/s– s'impedeix el trànsit a través del túnel i es restableix el servei al cap d'unes hores o dies.



No obstant, el motiu pel qual el trànsit és interromput, més enllà dels perills que pot ocasionar pels usuaris, és la doble funcionalitat del túnel, ja que s'utilitza també com a sistema de drenatge: compta amb unes portes hermètiques que s'obren i permeten el flux de l'aigua a través dels diferents pisos d'aquest (en total, tres). De fet, en episodis de precipitació menys intensa, el túnel fa la doble funció simultàniament, de manera que l'aigua circula pel canal inferior.

Figura 1.8. SMART túnel, localitzat a Kuala Lumpur.



Font: GEODATA (<https://www.geodata.it/en/sectors/portfolio-road/item/smart-tunnel-kuala-lumpur.html>) i Govern de Malàisia (<https://www.water.gov.my/index.php/pages/view/430>).

<https://www.water.gov.my/index.php/pages/view/430>

- Una altra estratègia per tal de reforçar la infraestructura dels túnels ja aplicada a Catalunya, consisteix a reforçar els fonaments amb micropilotatge, per tal resistir la pressió del material expansiu existent sota la llosa del túnel, tal i com va fer FGC per millorar la infraestructura del túnel de la Universitat Autònoma de Barcelona.

<https://govern.cat/govern/docs/2019/01/07/11/57/5c03d5a8-51ba-4a5c-bb80-17c1c033ecbc.pdf>

### 1.3.3. Ponts

L'efecte erosiu i de soscavament de l'aigua pot produir greus afectacions sobre les bases i pilars que configuren l'estructura dels ponts. Les elevades temperatures, els moviments de terres i la pròpia degradació dels materials, entre d'altres, també poden causar efectes negatius. En conseqüència, reforçar aquestes estructures és necessari per augmentar-ne la resiliència enfront els riscos climàtics derivats del canvi climàtic.

- L'empresa israeliana Dynamic Infrastructure ha desenvolupat un sistema de monitorització de les infraestructures que consisteix en la comparació d'imatges 3D diàries amb altres de més antigues, per detectar problemes de manteniment i funcionament, defectes i anomalies. Les diagnòstics resultants de les comparatives es poden monitorar a través d'un navegador simple i compartir de forma instantània amb companys i contractistes per accelerar les tasques de manteniment i augmentar el rendiment de la inversió.

Aquesta eina, especialment important en el cas dels ponts, ha estat utilitzada per l'avaluació de més d'un centenar de ponts i túnels de sis països diferents – com Estats Units i Alemanya– per encàrrec d'administracions, associacions publicoprivades i empreses privades.

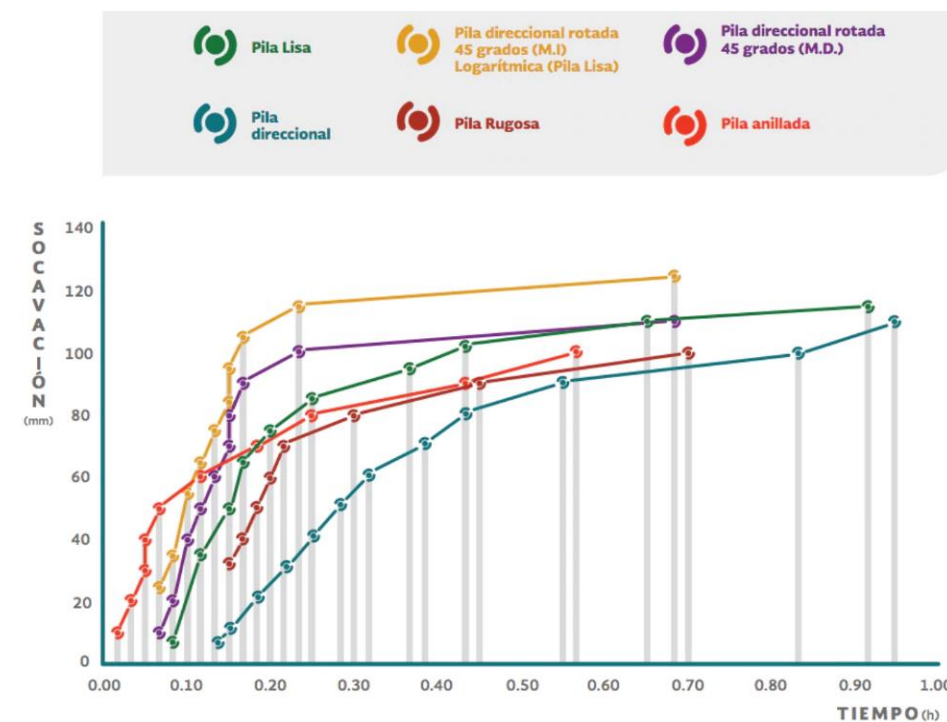
<http://diglobal.tech/>

- Pel que fa l'impacte derivat de les elevades temperatures i l'exposició solar, s'han plantejat solucions orientades a reforçar els paviments amb aglomerats de polímer, els quals han demostrat una bona tolerància a temperatures extremes i a oscil·lacions tèrmiques, així com una elevada resistència als impactes físics i a l'elevat trànsit. Aquest material ha estat utilitzat en molts ponts arreu del món, com el pont de Öresund, que uneix Suècia i Dinamarca, o el pont de Sundsvall, a Suècia.

<https://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=907>

- L'Institut Mexicà de Tecnologia de l'Aigua (IMTA), mitjançant un estudi per reduir la soscavament als ponts que es troben sobre l'aigua, ha desenvolupat un tipus de pilar caracteritzat per un embolcall rugós, que redueix la profunditat de soscavament fins a en un 17%, retardant, a més, el temps de soscavament en comparació amb altres tipus de pilars llisos.

Figura 1.9. Resultats obtinguts de les proves al canal de 60 cm d'ample.



Font: ATL ([http://www.atl.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9108:2018-01-23-17-05-12&catid=171:proyectos-imta&Itemid=863](http://www.atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=9108:2018-01-23-17-05-12&catid=171:proyectos-imta&Itemid=863)).

[http://www.atl.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9108:2018-01-23-17-05-12&catid=171:proyectos-imta&Itemid=863](http://www.atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=9108:2018-01-23-17-05-12&catid=171:proyectos-imta&Itemid=863)



## 2. Operació

En els apartats següents s'exposen un seguit de projectes i solucions orientats a facilitar la gestió de la mobilitat en condicions meteorològiques adverses i, en definitiva, a mantenir fluxos de mobilitat, tant viària com ferroviària, en situacions desfavorables.

### 2.1. Senyalització

Amb l'objectiu de millorar la seguretat viària i ferroviària en funció de les condicions de la via, considerant en el present informe les d'origen meteorològic, els sistemes de senyalització intel·ligents faciliten l'adaptació de la circulació mitjançant la detecció dels perills i la comunicació als diferents conductors de les vies en qüestió. A continuació, es presenten una sèrie de projectes desenvolupats amb aquesta finalitat.

- Investigadors de la Universitat de Saragossa, juntament amb l'empresa Implaser, han desenvolupat senyals de trànsit intel·ligents basades en l'IoT i les tecnologies Zigbee i Bluetooth Low Energy. La particularitat d'aquests senyals és que són capaços d'aportar informació en temps real a l'usuari.

En aquest sentit, i a través del projecte SIGUE-TU –Sistema Intel·ligent de Gestió d'Emergències en Túnel–, s'ha desenvolupat un sistema format per senyals intel·ligents connectats entre sí mitjançant una xarxa de comunicacions sense fils, energèticament autònomes, amb certa intel·ligència per operar en mode degradat (és a dir, sense connectivitat amb el centre de control gràcies a la capacitat de sensorització). L'objectiu final és senyalitzar, en cas d'emergència, la millor ruta d'escapament, donant instruccions als vehicles i dispositius mòbils de les persones que es troben dins i a les proximitats del túnel.

Figura 2.1. Senyals que ofereixen informació en temps real en funció dels diferents escenaris d'una catàstrofe.



Font: Heraldo (<https://www.heraldo.es/noticias/sociedad/2018/08/20/senales-inteligentes-que-llevan-por-mejor-camino-1262510-310.html>).

<http://howlab.unizar.es/siguetu?lang=en>

- La Universitat Politècnica de València, en col·laboració amb la Universitat Nacional de Tsinghua (Xina), ha ideat un nou prototip de sistema de comunicacions senyal-vehicle que facilita l'intercanvi d'informació entre els usuaris de les carreteres i els centres de control del trànsit.

L'objectiu d'aquests senyals –que estan equipats amb un ordinador integrat Raspberry Pi, una bateria i una antena– és adaptar la circulació a les condicions de la via enregistrant tota la informació possible de l'entorn, com les condicions meteorològiques i la densitat del trànsit, i enviant-la als usuaris a través de dispositius electrònics, en format d'avisos d'àudio o missatges al quadre de comandament.

No obstant, degut a que s'ha dissenyat un sistema de comunicació bidireccional, s'espera que aquests senyals també puguin monitoritzar en temps real el compliment de les normatives de seguretat viària per part dels conductors, així com permetre la seva assistència en temps real.

<https://www.upv.es/noticias-upv/noticia-10864-se-comunicaran-va.html>

- Tal i com s'ha explicat a la Fitxa 12B. *Instal·lar o reforçar la presència de sensors i altres mecanismes per gestionar el trànsit en cas d'incidència*, la DGT, de forma pionera a Europa, va instal·lar un sistema d'abalisament antiboira a un tram de l'autovia A-8 al pas per A Corunya per millorar la seguretat de la circulació en condicions de boira densa.

El sistema consisteix en la distribució de parelles de balises lluminoses (una a la mitjana i una altra al voral), col·locades cada 50 metres al llarg de la carretera. Per tal que els conductors extremin les precaucions, les balises disposen d'un llum ambre fix que guia al conductor permanentment i una altre llum vermell que només s'activa quan es detecta el pas d'un vehicle. Així, els vehicles veuran llums vermells encesos quan en els següents 50 metres hi hagi un vehicle circulant per davant d'ells.

Figura 2.2. Funcionament de les senyals d'abalisament antiboira intel·ligents.



Font: Revista DGT (<http://revista.dgt.es/es/multimedia/video/2018/04ABRIL/0406balizamiento-inteligente-antiniebla-de-la-dgt.shtml>).

<http://revista.dgt.es/es/reportajes/2018/04ABRIL/0405balizamiento-inteligente-antiniebla.shtml>

## 2.2. Monitoratge de les infraestructures

A l'apartat de materials, ja s'han presentat algunes solucions relacionades amb el monitoratge i sensorització d'infraestructures concretes, com els talussos. En aquest apartat, s'exposen altres solucions i projectes adreçats al monitoratge en condicions meteorològiques extremes i al monitoratge preventiu de les infraestructures en general.

- Com a resultat del projecte europeu ANYWHERE (vegeu Annex 2, apartat 1.2.2.2. ANYWHERE), Catalunya ja disposa d'una eina pròpia operativa, l'A4Cat (Anywhere for Catalonia), que permet automatitzar i simplificar els avisos (groc, vermell i taronja) per part del Centre de Coordinació Operativa de Protecció Civil de Catalunya (CECAT), integrar totes les dades disponibles d'informació de risc i emergències, assolir un major grau de precisió per detectar fenòmens locals extrems, focalitzar en elements i infraestructures crítiques concrets i estudiar l'evolució potencial a curt termini (*nowcasting*), per tenir una previsió de fins a dues hores vista. A4Cat se centra, sobretot, en els riscos meteorològics relacionats amb les inundacions, les ventades, les nevades i els incendis forestals.

Figura 2.3. Recopilació i anàlisi automàtica de les dades.



Font: A4EU (Anywhere For Europe) <http://anywhere-h2020.eu/services-ppdr-grid-crahi-2/european-level/>

Aquesta eina, que té per nom genèric A4EU, s'ha desenvolupat també per a la resta d'Espanya, a Ligúria (Itàlia), Còrsega (França), Cantó de Berna (Suïssa), Savònia del Sud (Finlàndia) i Rogaland (Noruega). A més, en el marc del projecte s'han desenvolupat altres recursos, de caràcter més específic, per afavorir l'autoprotecció i l'autopreparació de la ciutadania:

- A4Snow: en proves des del novembre de 2018 i desenvolupat per l'empresa RINA-C i el CRAHI. Permet preveure l'estat d'afectació de les carreteres en cas de nevades, amb anticipació suficient per poder planificar millor les rutes dels camions i evitar així que es quedin barrats a la carretera. L'eina va destinada al Consell d'Empreses Distribuïdores d'Alimentació de Catalunya (CEDAC).

- A4Campsite: en proves des del juliol de 2018 i desenvolupat per HYDS (*Hydrometeorological Innovative Solutions S.L.*) i l'ACA. És un sistema d'*early warning* orientat a augmentar l'autoprotecció en càmpings situats a zones inundables de Catalunya. Actualment, està implementat en 14 càmpings situats a la conca del riu Tordera.

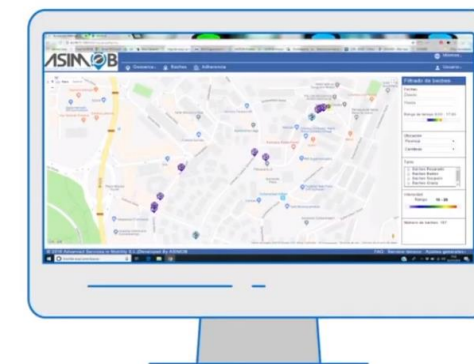
A4Campsite mostra informació meteorològica en temps real, dades locals dels indicadors fluvials i prediccions de pluges i perills d'inundació que poden afectar als càmpings. A més, s'inclouen accions específiques d'autoprotecció per fer que els treballadors dels càmpings puguin gestionar millor aquests esdeveniments.

- A4Schools: també en proves des del maig de 2018 i desenvolupat per la *Fondazione CIMA* i la *Comune di Genova* (CDG). Millora els protocols de comunicació entre les escoles situades en zones inundables i Protecció Civil en cas de perills de riudes i inundacions a la zona de la Ligúria.
- Aplicació per a la xarxa elèctrica: en proves des del juliol de 2018 i desenvolupat per l'Institut Meteorològic Finès i l'empresa subministradora local *Järvi-Suomen Energia*. L'eina preveu l'afectació per tempestes que poden provocar la caiguda d'arbres i afectar les xarxes elèctriques, de manera que es pot restablir el sistema amb major rapidesa.

<http://anywhere-h2020.eu/>

- La *start-up* espanyola Asimob utilitza sistemes d'intel·ligència artificial i d'IoT per identificar i assenyalar de forma automatitzada punts de risc de la xarxa viària, com sots, punts amb falta d'adherència del paviment (per presència d'aigua acumulada o gel, per exemple) i punts amb mala senyalització o il·luminació, entre d'altres. D'aquesta manera, mitjançant la instal·lació de càmeres i sensors als vehicles dels treballadors que s'encarreguen del manteniment de les infraestructures, es detecten les pertorbacions, que posteriorment es recullen en una plataforma que analitza les dades i ofereix informació actualitzada sobre l'estat de les carreteres.

Figura 2.4. Recopilació i anàlisi automàtica de les dades.



Font: ASIMOB <http://asimob.es/es/servicios de movilidad inteligentes/>

<http://asimob.es/es/servicios de movilidad inteligentes/>



- El projecte europeu PANOPTIS, que compta amb la participació d'ACCIONA, té com a objectiu millorar la capacitat d'adaptació de les infraestructures de transport enfront a fenòmens climàtics desfavorables. Amb una finalització prevista per finals de 2021, es desenvoluparan tecnologies avançades per la monitorització d'infraestructures de transport com ara sistemes de visió artificial amb tecnologia de satèl·lit, sistemes de drons per a la inspecció i manteniment d'infraestructures i metodologies de visió artificial per al manteniment predictiu estructural i geotècnic.

De la mateixa manera, experts en modelització climàtica, analitzaran la possible afecció futura que puguin patir les infraestructures de transport per efectes del canvi climàtic.

<http://www.panoptis.eu/>

- El projecte europeu SCOTT busca impulsar el desenvolupament i l'ús de dispositius de baix consum i autosuficients energèticament per millorar la seguretat en el transport ferroviari. Amb la col·laboració d'Indra, s'estan desenvolupant solucions per millorar la seguretat en àrees crítiques i el seguiment, monitoratge i manteniment del material rodant i de la pròpia infraestructura, fent ús de xarxes de comunicacions sense fil distribuïdes i semiautònomes energèticament, i basades en l'IoT.

<https://www.esmartcity.es/2018/06/06/proyectos-europeos-aplican-iot-seguridad-mejora-transporte-ferroviario>

### 2.3. Altres

- Tres empreses constructores –Alvac S.A., Audeca S.L.U. i Visever S.L.– han desenvolupat un prototip de túnel translúcid per evitar els problemes derivats de la boira en un punt conflictiu concret de l'autovia A-8, a la província de Lugo. D'aquesta manera, a més de millorar la seguretat dels usuaris, es podrien mantenir oberts trams de carretera que sovint es tanquen a la circulació en episodis de boira intensa.

Aquesta solució consisteix en la instal·lació d'una estructura sobre la calçada, oberta per la part superior, que permet la circulació d'un corrent d'aire tractat tèrmicament en estacions al llarg del tram. Aquest tractament permet la creació d'un microclima que garanteix l'absència de boira, amb un aire a una temperatura similar a l'ambient i amb una humitat relativa baixa.

D'altra banda, el fet que el túnel sigui obert i translúcid als laterals permet reduir-ne el cost d'implantació i manteniment amb comparació amb un túnel completament tancat.

Figura 2.5. Prototip de túnel anti-boira.



Font: Interempresas. Obras públicas <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/218818-Tres-empresas-asociadas-ACEX-presentan-solucion-crear-microclima-elimine-niebla-mantenga.html>.

<https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/218818-Tres-empresas-asociadas-ACEX-presentan-solucion-crear-microclima-elimine-niebla-mantenga.html>

- El projecte europeu Mat4Rail s'ha centrat en l'estudi de l'increment de la capacitat dels combois ferroviaris i el confort dels passatgers mitjançant innovacions en el disseny modular de l'interior dels trens, centrant-se en el desenvolupament de seients evolutius, sistemes "Plug & Play" i cabines de maquinista d'última generació.

D'altra banda, per tal d'augmentar la fiabilitat i l'eficiència energètica dels trens, Mat4Rail també ha estudiat la utilització de nous materials: polímers reforçats amb fibres resistents al foc –per exemple, la resina epoxi– en substitució de les peces metàl·liques convencionals, per disposar de combois més lleugers.

<http://www.mat4rail.eu/>



## ANNEX 4 - CARTOGRAFIA CLIMÀTICA I DE RISCOS