



Servei Meteorològic  
de Catalunya

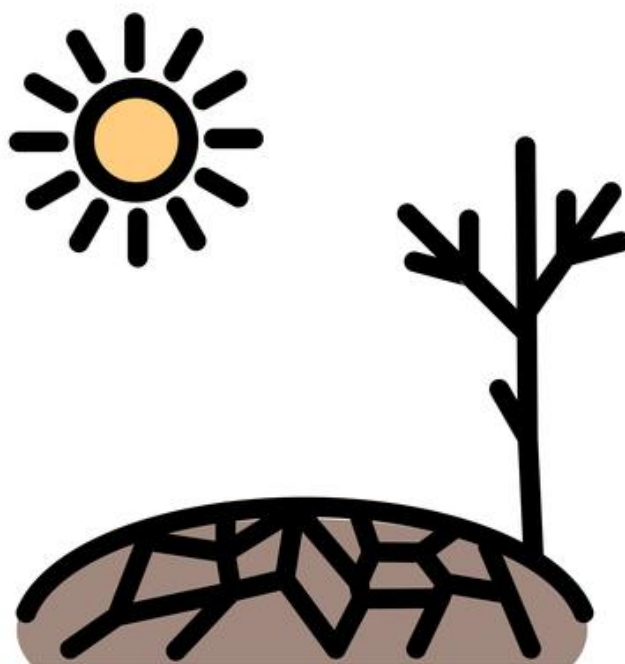


Generalitat de Catalunya  
**Departament de Territori  
i Sostenibilitat**

# ESCENARIS CLIMÀTICS REGIONALITZATS A CATALUNYA (ESCAT-2020)

Projeccions estadístiques regionalitzades a 1 km  
de resolució espacial

- Resum executiu -



Servei Meteorològic de Catalunya  
setembre de 2020

***Autors: Vicent Altava-Ortiz i Antoni Barrera-Escoda***

***Servei Meteorològic de Catalunya***

*Departament de Territori i Sostenibilitat*

*Generalitat de Catalunya*

*carrer de Berlín, 38-48, 4a planta*

*08029 Barcelona (Catalunya)*

*Tel. 93.567.60.90*

*Fax. 93.567.61.02*

*Correu-e: [dades.meteocat@gencat.cat](mailto:dades.meteocat@gencat.cat)*

*<http://www.meteo.cat/>*

*Barcelona, creat el 30 de setembre de 2020*

Per a citar aquest document:

Altava-Ortiz, V. i A. Barrera-Escoda (2020): *Escenaris climàtics regionalitzats a Catalunya (ESCAT-2020). Projeccions estadístiques regionalitzades a 1 km de resolució espacial (1971-2050). Resum executiu*. Informe tècnic. Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 32 pp.

<b>1</b>	<b>Introducció</b>	<b>5</b>
1.1	Objectiu genèric	6
1.2	Objectius específics	6
1.3	Antecedents	7
<b>2</b>	<b>Font de Dades</b>	<b>9</b>
2.1	Zonificació	9
2.2	Sèries climàtiques	10
2.3	Simulacions globals del clima i escenaris d'emissions	11
2.4	Històric d'observacions de l'SMC	12
<b>3</b>	<b>Resultats</b>	<b>15</b>
3.1	Característiques termopluiomètriques de Catalunya	15
3.2	Habilitat de la metodologia emprada	17
3.3	Evolucions temporals i variacions projectades	19
3.4	Quadre resum de le variacions projectades	28
	<b>Bibliografia</b>	<b>29</b>



L'estudi dels impactes del Canvi Climàtic en zones geogràficament complexes, bé sigui per la influència de diferents masses d'aire o bé per una orografia molt irregular, necessita de simulacions del clima futur a una resolució elevada. Encara que les resolucions dels models climàtics de circulació general (MCCG) s'han anat incrementant considerablement en cadascuna de les noves versions que han anat desenvolupant-se en el temps<sup>1</sup>, continuen sent necessàries tècniques de regionalització climàtica que facin possible resoldre el salt qualitatiu existent entre les resolucions d'aquests models i les necessàries per a la realització d'estudis d'impacte a escala regional i local.

A requeriment de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC), el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) va rebre l'encàrrec d'elaborar el present treball, que pretén donar dades objectives sobre l'evolució futura del clima a tot Catalunya a partir d'una regionalització estadística d'un petit conjunt de projeccions globals desenvolupades al 5è Informe d'Avaluació de l'IPCC, 2013) que serveixin de cara a l'elaboració per part de l'OCCC de l'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic (ESCACC) 2021-2030 (ESCACC30). Aquesta nova estratègia ha de substituir l'estratègia vigent ESCACC 2013-2020 (OCCC, 2012).

El present document és un resum executiu de l'informe complet que trobareu disponible al portal d'Internet del Servei Meteorològic de Catalunya a la següent adreça: <http://scur.cat/Y8GM26><sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Bona prova de l'increment en la resolució dels MCCG el trobem en els successius informes de l'IPCC. Mentre que la major part dels models al 2n Informe d'Avaluació de l'IPCC (*Houghton et al.*, 1996) tenien una resolució d'uns 250 km, al 5è Informe d'avaluació de l'IPCC (*Pachauri et al.*, 2014) aquesta havia passat a ser d'uns 110 km.

<sup>2</sup>[https://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2020/09/29205506/Projeccions\\_ESCAT\\_2020\\_FINAL.pdf](https://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2020/09/29205506/Projeccions_ESCAT_2020_FINAL.pdf)

## 1.1 Objectiu genèric

L'objectiu del present treball és la caracterització del clima futur a Catalunya durant el s. XXI, mitjançant una regionalització estadística a molt alta resolució espacial (1 km) a partir de tres simulacions globals del clima del 5è Informe d'Avaluació de l'*IPCC* (2013) forçades amb dos escenaris d'emissions: l'RCP4.5 (escenari d'emissions moderat) i l'RCP8.5 (escenari d'emissions intensiu). L'abast temporal de les projeccions climàtiques que aquí s'analitzen és 1971-2050<sup>3</sup>

## 1.2 Objectius específics

Amb l'objectiu genèric definit, tot seguit es detallen els objectius específics als quals dona resposta aquest estudi. En detall:

- Generació d'una malla d'observacions amb una resolució espacial d'1 km i temporal diària, a partir de la regressió múltiple (altitud, latitud, longitud i distància al mar) del banc de dades històric de l'SMC (període 1971-2015), per al conjunt de tot Catalunya.
- Aplicació d'una regionalització estadística, a resolució diària, basada en el mètode dels anàlegs segons el tipus de temps a partir de la malla d'observacions a 1 km:
  - Període de control 1971-2000.
  - Projeccions 2006-2050 forçades amb els escenaris d'emissions RCP (2005): RCP4.5 i RCP8.5, segons les simulacions globals de l'*IPCC* (2013) dels models MPI-ESM (Alemany; *Giorgetta et al.*, 2013), GFDL-ESM2G (Americà; *Dunne et al.*, 2012) i CanESM2 (Canadenc; *Chylek et al.*, 2011).
- Generació de les sortides de temperatura màxima (TX), mínima (TN), mitjana (TM) i precipitació acumulada (PPT) diàries, així com diferents índexs climàtics d'interès:
  - DT: nombre anual de **dies tòrrids** (dies amb una TX  $\geq 35$  °C).
  - DC: nombre anual de **dies de calor** (dies amb una TX  $\geq 30$  °C).
  - DG: nombre anual de **dies de glaçada** (dies amb una TN  $\leq 0$  °C).
  - TR: nombre anual de **nits tropicals** (dies amb una TN  $\geq 20$  °C).
  - TO: nombre anual de **nits tòrrides** (dies amb una TN  $\geq 25$  °C).
  - DLG: nombre anual de **dies lliures de glaçada** (dies amb una TN  $\geq 2$  °C).
  - DFR: nombre anual de **dies de fredor** (dies amb una TM  $\leq 10$  °C).

<sup>3</sup>Tot i així les projeccions s'han calculat fins a l'horitzó 2100 per tal de poder avaluar la tendència de la temperatura, la precipitació i un nombre d'índexs climàtics termopluviomètrics per a tot el segle XXI a Catalunya i posar en context les variacions projectades per al proper trentenni 2021-2050.

- n5PPT: nombre anual de **dies amb precipitació feble** ( $PPT \leq 5$  mm).
- n50PPT: nombre anual de **dies amb precipitació abundant** ( $PPT \geq 50$  mm).
- p95PPT: **percentil 95 anual de la precipitació apreciable**, calculat tenint només en compte els dies de l'any amb precipitació apreciable (aquells dies que la  $PPT \geq 0,1$  mm).
- LMRS: **longitud màxima de la ratxa seca** anual de precipitació (dies consecutius amb una  $PPT < 1$  mm).

### 1.3 Antecedents

Des de l'any 2007, el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) ha estat desenvolupant projeccions climàtiques regionalitzades a Catalunya a una elevada resolució espacial ( $< 15$  km). Les primeres projeccions realitzades fins al 2100 es basaven en una tècnica dinàmica de regionalització climàtica amb el model meteorològic mesoescalar MM5 (*Grell et al.*, 1994) a una resolució de 15 km (*Barrera-Escoda i Cunillera*, 2011a,b). Aquest treball va col·locar a l'SMC com a un dels centres pioners en aquest camp a Catalunya. Posteriorment, i juntament amb el *Barcelona Supercomputing Centre - Centro Nacional de Supercomputación* (BSC-CNS) es va desenvolupar una nova sèrie de projeccions regionalitzades (Projecte ESCAT 2011-2012, *Gonçalves et al.*, 2014), computacionalment molt més intensives, per al conjunt de la conca de la Mediterrània nord-occidental a 10 km de resolució fins al 2050 amb el model meteorològic mesoescalar WRF-ARW (*Skamarock et al.*, 2005) aplicat a un MCCG del CMIP3 (*Meehl et al.*, 2007) (en aquell cas va ser el model ECHAM5/MPI-OM (*Roekner et al.*, 2003; *Marsland et al.*, 2003) del *Max Planck Institut für Meteorologie* d'Hamburg, Alemanya).

Arran de tota aquesta tasca de recerca portada a terme per l'SMC s'han pogut publicar els principals resultats d'aquestes projeccions i la seva metodologia en diversos articles de revistes internacionals de referència (*Barrera-Escoda i Cunillera*, 2011a; *Gonçalves et al.*, 2014; *Barrera-Escoda et al.*, 2014 i *Gonçalves-Ageitos et al.*, 2015). Paral·lelament, l'SMC també va participar activament en la redacció i desenvolupament del capítol de "Projeccions Climàtiques" tant del Segon Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya (*Calbó et al.*, 2010) com del Tercer Informe (*Calbó et al.*, 2016), on es presenta una recopilació dels principals resultats de les projeccions que abasten l'àmbit geogràfic de Catalunya actualitzades en el seu moment de publicació.

Paral·lelament, l'SMC va desenvolupar una metodologia de regionalització estadística a partir del mètode dels anàlegs meteorològics a tan sols 1 km de resolució ajustada a Catalunya. Aquesta tècnica es basa en la feina desenvolupada a la tesi doctoral d'*Altava-Ortiz* (2010) i en la predicció meteorològica probabilística (PRESCAT; *SMC*, 2013) realitzada dins de l'Àrea de Recerca Aplicada i Modelització (RAM) de l'SMC des de l'any 2012. Aquest mètode es va aplicar amb un notable èxit en el projecte ESAMB (*Altava-Ortiz et al.*, 2017), en el qual es van generar projeccions climàtiques regionalitzades per a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) a 1 km de resolució per al període 1971-2100 i a partir de tres MCCG del CMIP5.





## 2.1 Zonificació

D'acord amb les necessitats expressades per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC) de cara a l'elaboració de l'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic (ESCACC) 2021-2030 (ESCACC30), que ha de substituir l'estratègia vigent ESCACC 2013-2020 (OCCC, 2012), ens hem centrat en quatre zones d'estudi.

La primera és tot el territori català sota l'administració de la Generalitat de Catalunya, i les altres tres estan basades en els tres grans àmbits climàtics i geogràfics amb els quals es pot dividir el territori. Aquestes tres zones són les mateixes que ja es van definir en l'informe sobre projeccions climàtiques a Catalunya a elevada resolució espacial que es van fer servir per tal d'elaborar l'ESCACC 2013-2020 (Cunillera *et al.*, 2012) a partir de les simulacions regionalitzades dinàmicament amb el model WRF-ARW (Gonçalves *et al.*, 2014), tot i que els límits de la mateixa per al present informe s'han ajustat millor incorporant cadascuna de les comarques catalanes a les tres **zones**<sup>1</sup>:

- **Zona pirinenca:** Comarques pirinenques i prepirinenques: Val d'Aran, Alta Ribagorça, Pallars Sobirà, Pallars Jussà, Alt Urgell, Cerdanya, Solsonès, Berguedà, Ripollès i Garrotxa.
- **Zona interior:** Comarques de les Terres de Ponent i de la Catalunya Central: Noguera, Segrià, Garrigues, Pla d'Urgell, Urgell, Segarra, Conca de Barberà, Anoia, Bages, Moianès i Osona.

<sup>1</sup>Les comarques catalanes de la Catalunya Nord, actualment sota administració de la República Francesa, no s'han inclòs en la definició de les tres zones climàtiques emprades.



Figura 2.1: Mapa de Catalunya amb les tres zones geogràfiques definides.

- **Zona litoral i prelitoral:** Comarques litorals i prelitorals de les demarcacions de Tarragona, Barcelona i Girona: Terra Alta, Ribera d'Ebre, Montsià, Baix Ebre, Priorat, Baix Camp, Alt Camp, Tarragonès, Baix Penedès, Alt Penedès, Garraf, Baix Llobregat, Barcelonès, Vallès Occidental, Vallès Oriental, Maresme, Selva, Gironès, Pla de l'Estany, Baix Empordà i Alt Empordà.

A la Figura 2.1 es poden veure en detall les tres zones geogràfiques definides amb les corresponents comarques que en formen part.

## 2.2 Sèries climàtiques

Definides en el *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics* (BAIC) de l'SMC, existeixen **23 sèries climàtiques de temperatura i 70 de precipitació** segons l'últim butlletí disponible, el BAIC 2018 (SMC, 2019b). Aquestes són les sèries climàtiques<sup>2</sup> més llargues i representatives de les diferents zones climàtiques en les quals es pot dividir Catalunya des de 1950 fins a l'actualitat. Per tant, són d'extrema necessitat a l'hora de calcular tendències temporals.

<sup>2</sup>les dades mensuals de totes aquestes sèries es poden descarregar lliurement amb fitxers en format de text al portal d'Internet del Servei Meteorològic de Catalunya a l'adreça <https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/serveis-i-dades-climatiques/series-climatiques-historiques/>.

## 2.3 Simulacions globals del clima i escenaris d'emissions

S'han fet servir tres models globals: MPI-ESM (model alemany; *Giorgetta et al.*, 2013), GFDL-ESM2G (model americà; *Dunne et al.*, 2012) i CanESM2 (model canadenc; *Chylek et al.*, 2011). Aquests tres models formen part del CMIP5 (*Taylor et al.*, 2012).

Taula 2.1: *Models i reanàlisis utilitzats, amb els respectius períodes de control disponibles i el tipus d'escenaris climàtics per al s. XXI.*

Model	Període Control	Simulació s. XXI	Resolució <sup>3</sup>	Nivells	Forçament
MPI-ESM	1950-2005	2006-2100	1,875x1,875° (~208 km)	95	RCP4.5, 8.5
GFDL-ESM2G	1946-2005	2006-2100	2,5x2,0° (~278x222 km)	24	RCP4.5, 8.5
CanESM2	1941-2005	2006-2100	2,8x2,8° (~311 km)	35	RCP4.5, 8.5
NCEP-NCAR	1946-2014	—	2,5x2,5° (~278 km)	28	CO <sub>2</sub> observat

El forçament antròpic futur es mostra a la figura 2.2, on es té l'evolució de la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera per al període 1990-2100 per als principals escenaris d'emissions que es fan servir. S'observa com de totes les evolucions, la més intensiva és la donada per l'RCP8.5 mentre que la més continguda seria la de l'RCP2.6.

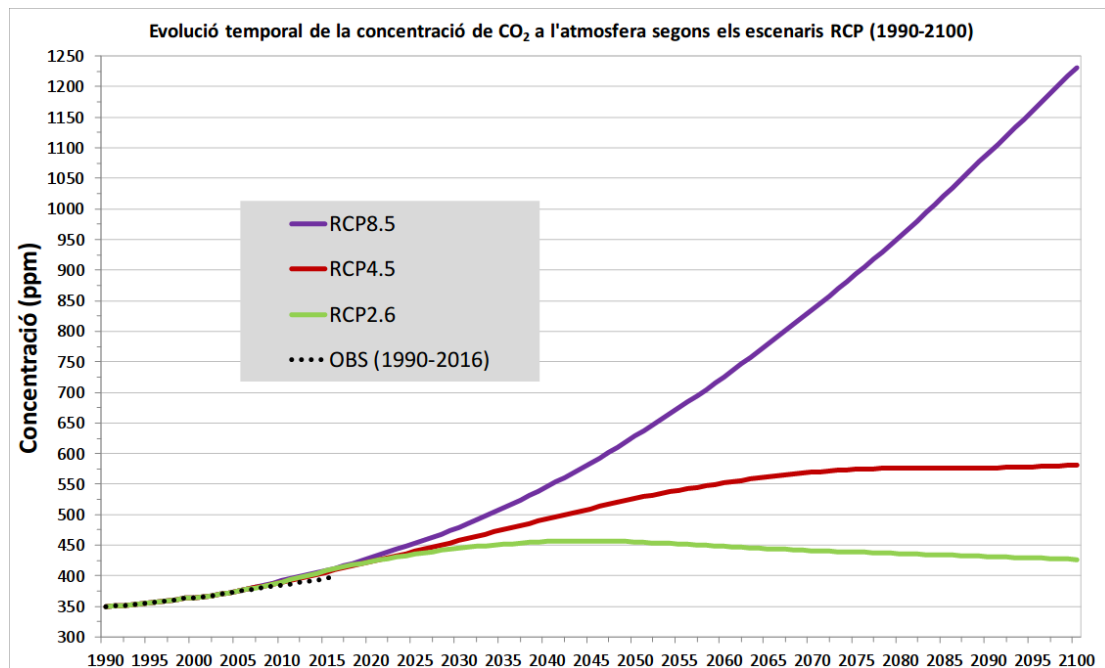


Figura 2.2: *Evolució de la concentració de CO<sub>2</sub> al llarg del període 1990-2100 segons els RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5 (van Vuuren et al., 2011).*

En detall, l'escenari RCP2.6 es correspon a un context optimista, on ja s'aplicarien mesures per a la reducció d'emissions i les concentracions de CO<sub>2</sub> no serien gaire més elevades a les actuals (**416,39 ppm de valor mitjà per al juny de 2020<sup>4</sup>**) al final del s. XXI. Vindria a ser

<sup>3</sup>Els valors corresponents en kilòmetres de les resolucions són vàlids per a punts de latitud i longitud propers a l'equador, on 1° corresponen aproximadament a uns 111 km.

<sup>4</sup>Dada extreta de l'*ESRL Global Monitoring Division* en el seu observatori de mesura del CO<sub>2</sub> atmosfèric a Mauna Loa (Hawaii, EUA): <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/graph.html>.

aproximadament l'escenari d'emissions que s'obtidria d'haver començat a aplicar el **Protocol de Kioto de 1992**. Aquest escenari és avui dia gairebé impossible que s'assoleixi, per tant per aquest motiu no s'ha considerat en el present estudi.

L'escenari RCP4.5 suposa que aquest compromís en el control de les emissions es formalitza a mitjans de s. XXI i, per tant, la concentració de  $CO_2$  a final de segle és superior a l'actual. Aquest escenari seria aquell a assolir si s'apliqués l'**Acord de París de 2015**, tot i que també es comença a posar en dubte que s'acabi aplicant a causa dels canvis en la política ambiental del president Donald Trump als EUA i d'altres mandataris mundials que s'han alineat amb les polítiques del president Trump.

L'escenari RCP8.5 representa la situació més pessimista, on no s'assoleix cap acord en la reducció de les emissions i, per tant, les concentracions de  $CO_2$  a finals de segle serien molt més superiors a les actuals, assolint-se una concentració de  $CO_2$  a l'atmosfera propera a les 1250 ppm.

## 2.4 Històric d'observacions de l'SMC

Dades de temperatura o de precipitació, amb diferents procedències:

- Dades de temperatura i precipitació de la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (**XEMA**) de l'**SMC** (1996-2015).
- Dades de precipitació de l'Agència Catalana de l'Aigua (**ACA**) (126 EMAs de les Conques Internes Catalunya, CIC, 1996-2005).
- Dades de precipitació de la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre (**CHE**) (55 EMAs a la part catalana de la conca de l'Ebre, 2003-2015).
- Dades de temperatura i precipitació del fons històric de l'**SMC**<sup>5</sup> (1971-2015).

<sup>5</sup>Aquestes dades poden tenir procedències molt diverses, tant d'observadors particulars com d'institucions públiques, associacions acadèmiques i científiques o entitats civils, com per exemple l'Agència Estatal de Meteorologia (**AEMET**), la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre (**CHE**), la Reial Acadèmia de Ciències de Barcelona (**RACAB**), el Centre Excursionista de Catalunya (**CEC**), l'Associació Catalana d'Observadors Meteorològics (**ACOM**), l'Agrupació Astronòmica de Barcelona (**ASTER**), l'Agrupació Astronòmica de Sabadell, la Xarxa Meteorològica d'Osona (**XMO**) i les ordres religioses dels **Escolapis** i **els Jesuïtes**, entre d'altres.

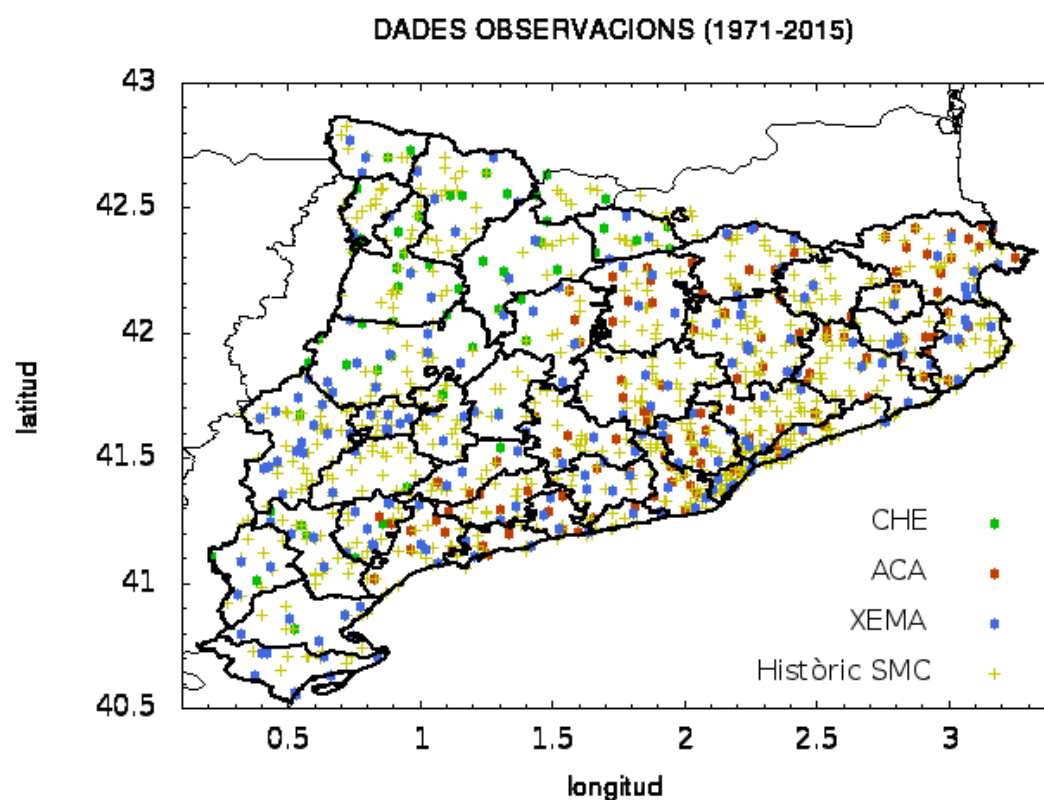


Figura 2.3: Conjunt d'estacions de precipitació i/o temperatura disponibles durant el període 1971-2015 a Catalunya. La xarxa es compon de dades provinents del BAIC, el fons històric de l'SMC, l'ACA i la CHE.



S'ha caracteritzat el clima futur (temperatura, precipitació així com alguns índexs climàtics termopluiomètrics) fins al 2050 a Catalunya. Aquesta anàlisi s'ha realitzat a partir d'una regionalització estadística a molt alta resolució espacial (1 km) basada en simulacions globals del clima del 5è Informe d'Avaluació de l'*IPCC* (2013) tenint en compte tres models climàtics globals: MPI-ESM (alemany), GFDL-ESM2G (americà) i CanESM2 (canadenc). L'abast temporal de les projeccions climàtiques realitzades és 1971-2050<sup>1</sup>.

### 3.1 Característiques termopluiomètriques de Catalunya

El domini d'estudi (Catalunya) presenta una gran irregularitat i complexitat orogràfica la qual produeix grans contrastos climàtics i meteorològics entre unes comarques i les seves veïnes, amb una gran variabilitat tan espacial com temporal (*Martín-Vide*, 1992).

La termometria de Catalunya (Figura 3.1) ve caracteritzada a grans trets per un clar gradient d'augment terra-mar i de disminució amb l'altitud. Els valors mitjans anuals més baixos es troben als cims del Pirineu occidental, amb valors inferiors als 8 °C, mentre que els valors mitjans més elevats es registren principalment a la meitat sud de la façana litoral, amb valors propers als 18 °C. Estacionalment aquesta distribució i comportament es veuen accentuats o mitigats.

La pluviometria de Catalunya (Figura 3.2) va des dels poc més de 300 mm de mitjana anual a zones deprimides del Segrià fins a valors superiors als 1300 mm en punts del nord del Ripollès i la zona del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, a cavall de les comarques de l'Alta Ribagorça i la Val d'Aran amb el Pallars. Existeix una clara relació d'augment de la

<sup>1</sup>Tot i així les projeccions s'han calculat fins a l'horitzó 2100 per tal de poder avaluar la tendència de la temperatura, la precipitació i un nombre d'índexs climàtics termopluiomètrics per a tot el segle XXI a Catalunya i posar en context les variacions projectades per al proper trentenni 2021-2050.

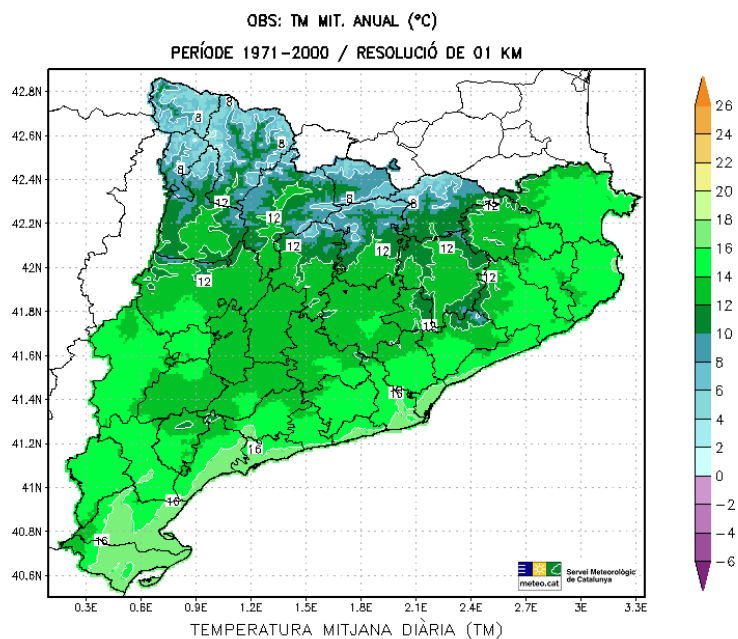


Figura 3.1: Camp espacial (en °C) de la temperatura mitjana (TM) anual per al període de control (1971-2000) a Catalunya.

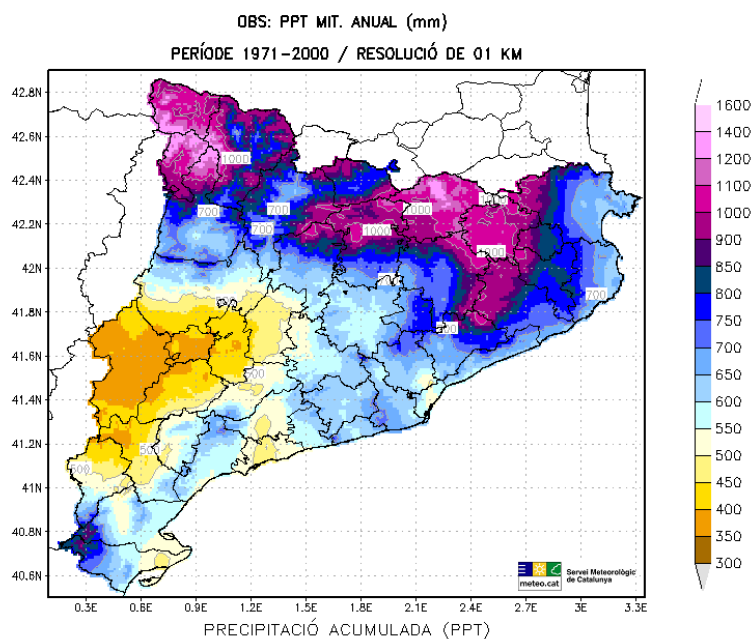


Figura 3.2: Camp espacial (en mm) de la precipitació (PPT) mitjana anual per al període de control (1971-2000) a Catalunya.

precipitació amb l'altitud i sobretot amb l'orientació dels principals relleus. Així, destaquen els màxims pluviomètrics secundaris del massís del Port, les muntanyes de Prades, el Montseny, la serralada Transversal i les principals serres del Pirineu. La tardor és l'estació més plujosa a gran part país i la més seca l'estiu, excepte a les comarques del Ripollès i la Garrotxa on és la més plujosa de l'any gràcies a l'important activitat tempestuosa durant l'època càlida de l'any.



### 3.2 Habilitat de la metodologia emprada

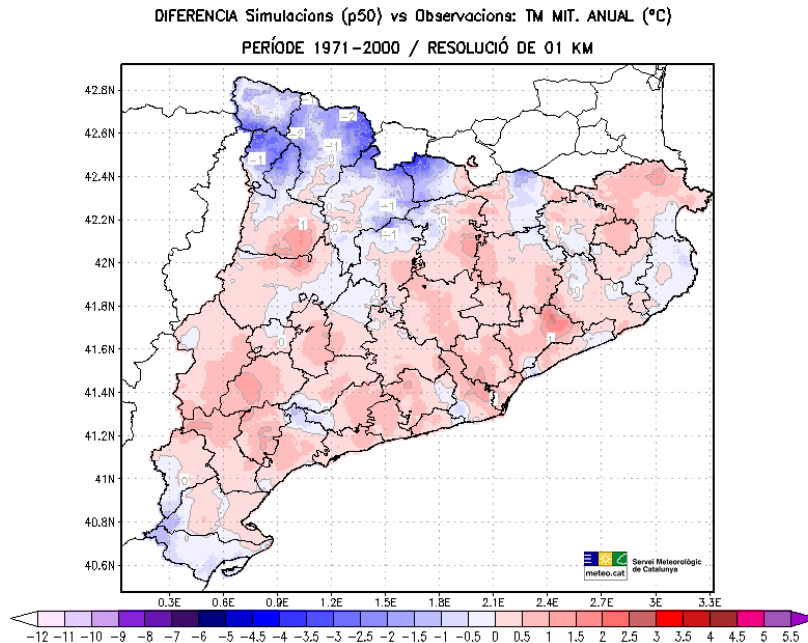


Figura 3.3: Diferència (valors simulats menys observats) entre el camps espacials (en °C) de la temperatura mitjana (TM) anual per al període de referència 1971-2000 a Catalunya a partir de la malla d'observacions a 1 km i del percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament.

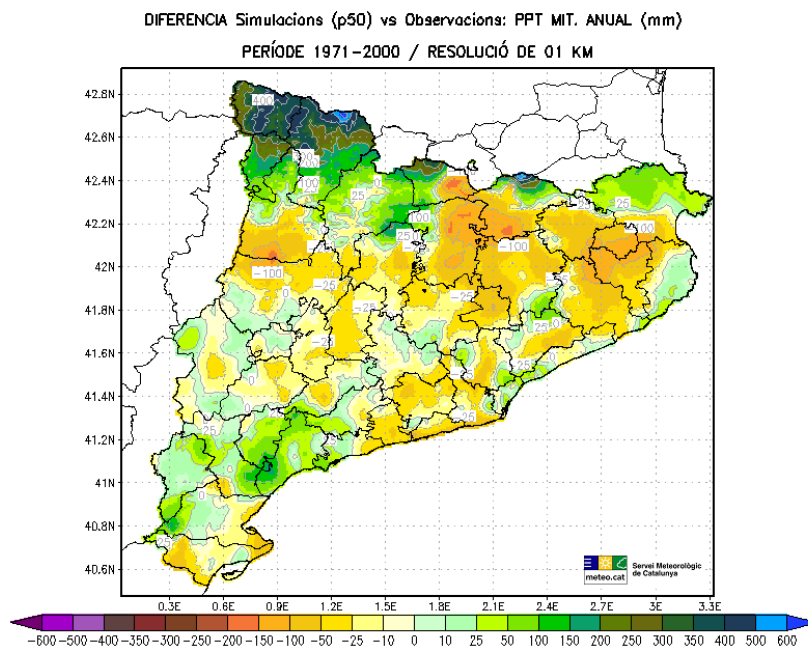


Figura 3.4: Diferència (valors simulats menys observats) entre el camps espacials (en mm) de la precipitació (PPT) mitjana anual per al període de referència 1971-2000 a Catalunya a partir de la malla d'observacions a 1 km i del percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament.

La metodologia (**tècnica estadística de regionalització climàtica basada en els anàlegs meteorològics**) utilitzada en el present treball reproduïx acceptablement bé les principals característiques termopluriomètriques, tant de Catalunya com de la zona litoral-prelitoral així com interior, però sobreestimant generalment la temperatura (Figura 3.3) i subestimant la precipitació (Figura 3.4). En canvi, reproduïx amb més dificultats la zona pirinenca (la d'una major complexitat orogràfica). Per tant, els resultats són més robustos per al conjunt de tot el territori o la zona litoral-prelitoral així com interior que no pas la zona pirinenca. Tot i així, els senyals actuals així com projectats d'increment de la temperatura al Pirineu són clars i contundents, com per exemple, l'aparició de nits tropicals a força indrets de la zona pirinenca que actualment es troben lliures de patir aquest índex extrem climàtic. També és clara la disminució de la precipitació a l'estiu, amb la conseqüent reducció de reserves hídriques.

Per a la temperatura es pot concloure que la diferència entre els valors simulats i els observats depèn de l'escala temporal, però en general les simulacions solen sobreestimar la temperatura a gran part del territori amb valors entre 0,5-2 °C, excepte al Pirineu on clarament els valors projectats es queden força per davall dels valors observats, amb diferències per sota dels -3,0 °C (Figura 3.3). Aquests fets, així com els biaixos produïts per la metodologia emprada, són en general del mateix ordre que els obtinguts per les simulacions meteorològiques operatives a l'SMC (*Sairouni et al.*, 2007) o a qualsevol centre meteorològic del món com per exemple en el Centre Europeu de Predicció a Mitjà Termini (*Haiden et al.*, 2018), de manera que es consideren acceptables.

Totes les simulacions tendeixen a sobreestimar en general els índexs climàtics de temperatura que s'han analitzat excepte els DG, en què es queden per sota de manera apreciable. Aquest biaix en els DG simulats podria ser conseqüència d'una menor freqüència dels dies amb condicions d'estabilitat o anticiclònics a la part freda de l'any (de novembre a abril) per part dels models climàtics emprats. Les sobreestimacions i subestimacions més importants en aquests índexs es produeixen en aquelles zones on es donen importants sobreestimacions o subestimacions de la TX o TN, sobretot en els índexs basats en valors elevats de la TX, com són els DC i DT o bé valors elevats de la TN, com són les TR i TO, malgrat que en aquest últim cas és un índex que per ara només té interès per a la façana litoral. Un cas important a destacar és la sobreestimació significativa dels DG i DFR a la zona del Pirineu occidental amb diferències superiors als +50 i +30 dies a la part oriental del Pallars Sobirà, respectivament, com a resultat de la notable subestimació dels valors mitjans de la TN i de la TM en aquesta zona amb diferències per davall dels -3,0 °C.

Per a la precipitació, pot concloure's que existeix una tendència molt important a sobreestimar la precipitació a tota la zona pirinenca, especialment al Pirineu occidental i sobretot als seus cims, amb diferències entre valors simulats i observats superiors als +600 mm. Per contra, a la resta del país sembla clara la subestimació dels valors mitjans a la primavera mentre que a la resta d'estacions les diferències entre valors observats i simulats són molt variables d'unes zones a unes altres (veure Figura 3.4).

Per als índexs climàtics pluviomètrics, és té un comportament molt heterogeni per a cadascun dels índexs analitzats, la qual cosa molt segurament com a conseqüència de la gran variabilitat temporal i espacial de la precipitació. Així, es té un comportament un pèl caòtic en les diferències entre els valors observats i els simulats per als n5PPT, una lleugera subestimació dels n5OPPT a gran part del territori, exceptuant una part important de la zona prelitoral i de l'extrem nord-est del país, amb sobreestimacions superiors als +1,5 dies. Per a la LMRS, s'observa que les

simulacions regionalitzades es queden curtes a l'hora de reproduir el seu valor general i per al p95PPT, la subestimació és pràcticament general a tot el domini d'estudi.

Finalment, s'ha de comentar que la metodologia reproduceix amb certes dificultats l'evolució temporal de la temperatura en el període de solapament entre observacions i projeccions (2006-2018), on les observacions se situen en la banda baixa del rang de variabilitat projectat per les simulacions regionalitzades (Figura 3.5). Resultat curiós, ja que amb les simulacions regionalitzades dinàmicament en el projecte ESCAT (*Cunillera et al., 2012; Gonçalves et al., 2014*) a 10 km de resolució passava el contrari: les observacions per al període de solapament (2001-2018) es trobaven a la banda alta del rang de variabilitat projectat (*Barrera-Escoda i Cunillera, 2019*). Molt segurament això està relacionat amb el fet de disposar de molt poques sèries llargues i homogènies a l'àrea pirinenca. Només hi ha disponibles cinc estacions, quatre de les quals estan situades en fons de valls. Aquest tipus d'emplaçament geogràfic és on es registren els valors de temperatura mitjana més elevats de tot el Pirineu i Prepirineu. Per tant, si es disposés de més sèries climàtiques, sobretot d'alta muntanya, molt probablement el comportament de les anomalies observades estaria millor representat i se situaria més proper a l'obtingut amb les simulacions regionalitzades.

### 3.3 Evolucions temporals i variacions projectades

En relació a les projeccions futures desenvolupades, els resultats més significatius serien que per a la temperatura (sigui mitjana, TM; mínima, TN o màxima, TX) es projecta que augmenti a tot Catalunya independentment de l'escenari i model considerats. Aquest augment projectat es dona tant a escala anual com estacional. Geogràficament, els majors increments projectats es localitzen al Pirineu, i sobretot als cims del Pirineu occidental. En canvi, els menors increments es trobarien a la façana litoral. Els augments projectats són de l'ordre de 0,5 °C menors a l'interior del país i de prop d'1 °C menors per a la zona litoral-prelitoral, respecte dels obtinguts per a la zona pirinenca. També es troba que el rang de variabilitat projectat per a la temperatura per a la zona del Pirineu és molt més gran que per a les altres dues àrees (interior i litoral-prelitoral).

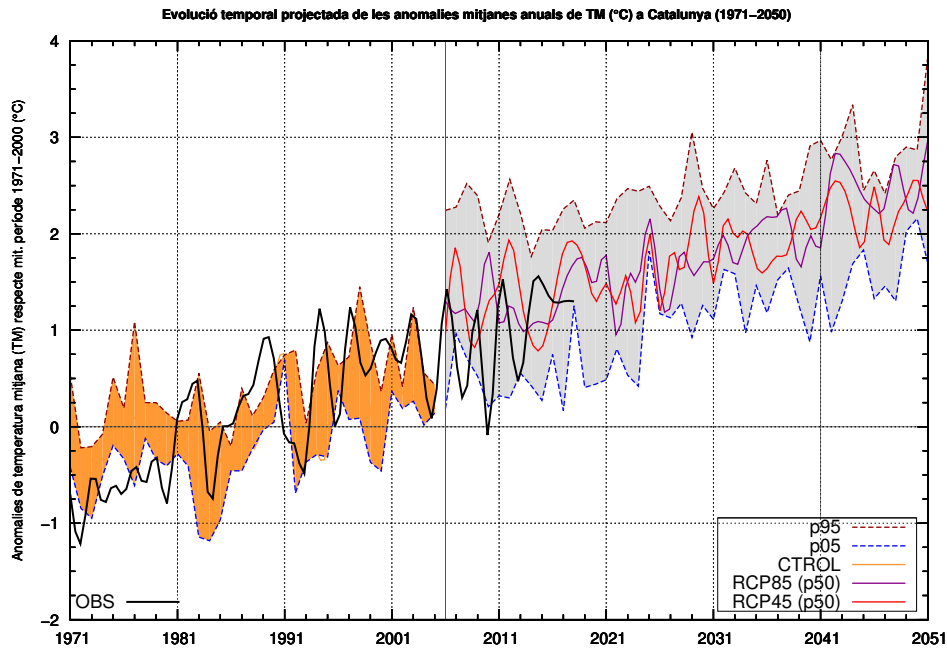
L'increment projectat per a la temperatura es podria situar proper als +3,5 °C a mitjan de segle per a la TM mitjana anual segons l'RCP8.5 (escenari d'emissions més intensiu) per al conjunt de Catalunya i la zona interior. Se situaria proper als +3,5 °C a la zona litoral-prelitoral, però podria ser superior als +4,0 °C a la zona pirinenca (veure Figura 3.5). L'increment projectat per la TX és major que el de la TN, projectant-se increments en la TX mitjana anual superiors als +4,0 °C enfront dels +3,0 °C per a la TN, segons l'RCP8.5 i cap a l'any 2050.

Tots els increments projectats per a la temperatura a escala anual són estadísticament significatius amb un nivell de confiança del 99 % (veure Taula 3.1). Així, es projecta per a la TM anual una tendència lineal de +0,13 °C per decenni segons l'RCP4.5 i +0,41 °C per decenni segons l'RCP8.5. Per a la TX mitjana anual es projecten +0,15 °C per decenni segons l'RCP4.5 i +0,48 °C per decenni segons l'RCP8.5. Per a la TN mitjana anual es projecten +0,11 °C per decenni segons l'RCP4.5 i +0,35 °C per decenni segons l'RCP8.5.

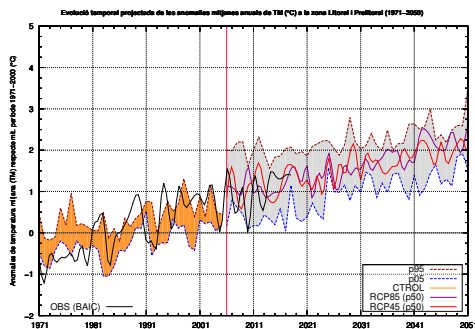
Si es comparen les tendències anuals projectades de la temperatura per a tot el s. XXI amb la present per a tot Catalunya, calculada a partir de les 23 sèries climàtiques de tempera-

<sup>2</sup>El llindar del 90 % de nivell de confiança és considerat massa baix com per a extreure conclusions respecte a la notorietat o no d'una tendència.

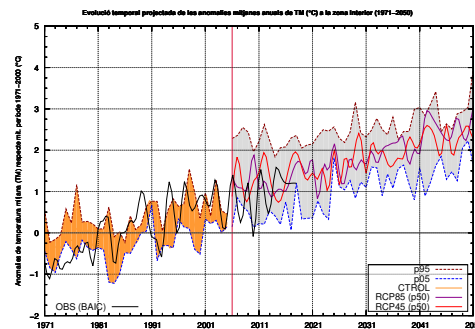
## Temperatura mitjana anual



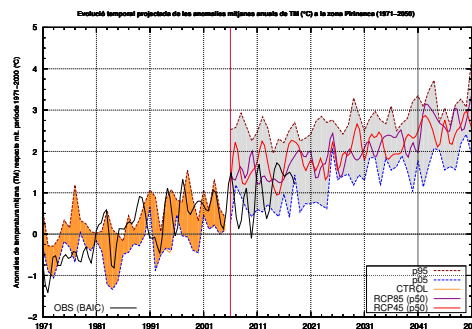
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



(c) Zona interior



(d) Zona pirinenca

Figura 3.5: Evulsió temporal projectada (1971-2050) de les anomalies (en °C) de temperatura mitjana anual (TMA) respecte del valor mitjà del període de control (1971-2000) per al conjunt de Catalunya (a), zona litoral i prelitoral (b), zona interior (c) i zona pirinenca (d).

### Temperatura mitjana anual

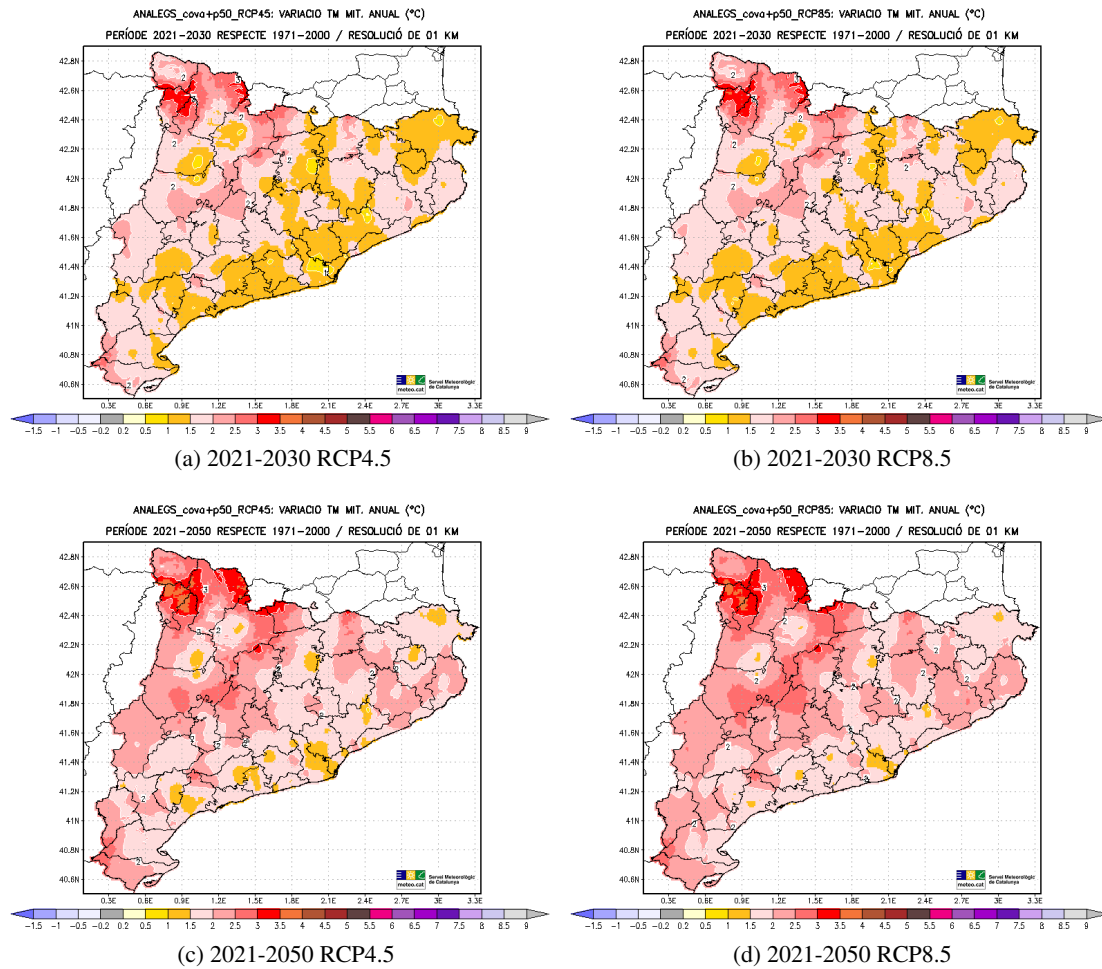


Figura 3.6: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Mitjana (TM) anual respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

tura del BAIC per al període 1971-2018 (48 anys, veure Taula 3.1) es té que les projeccions mantenen el signe de la tendència observada, reduint entre lleugerament i moderada la taxa d'increment (escenari RCP4.5), o bé mantenint-la (escenari RCP8.5). Per exemple, es passa d'una tendència en la TM anual observada de  $+0,43$  °C per decenni a  $+0,13$  °C per decenni segons l'RCP4.5 i  $+0,41$  °C per decenni segons l'RCP8.5. El que voldria dir que si les concentracions de  $CO_2$  a l'atmosfera durant aquest segle segueixen el camí traçat per l'RCP4.5 s'aconseguiria reduir el ritme d'augment de la temperatura. Si pel contrari, se segueix l'evolució en les concentracions traçada per l'RCP8.5 es continuaria a un ritme d'augment similar a l'actual.

Estacionalment, l'increment projectat de la temperatura no és igual per a totes les estacions. Així doncs s'obtenen majors increments a la tardor i primavera (allargament de les condicions estiuenques) amb augments que podrien arribar a ser cap al 2050 de fins a  $+4,5$  °C segons l'RCP8.5 per a la TM. Per a la TX, es projecta un increment de fins a  $+6,0$  °C a la tardor i  $+5,0$  °C a la primavera. Per a la TN, es tindria un increment de fins a  $+3,5$  °C a la primavera i  $+4,0$  °C a la tardor. Aquests augments serien menors per a l'estiu i l'hivern, amb valors de fins a  $+3,5$  i  $+2,5$  °C per a la TM, fins a  $+3,0$  i  $+2,0$  °C per a la TN i fins a  $+4,0$  i  $+2,5$  °C per a la TX, respectivament.

Taula 3.1: Tendències de la temperatura a partir de la sèrie amitjanada per al conjunt de tot Catalunya tenint en compte les 23 sèries climàtiques de temperatura del BAIC durant el període 1971-2018, la projectada per les reanàlisis de l’NCEP-NCAR (1971-2014) així com la projectada per al període de control (1971-2005) i al llarg del s. XXI (2006-2100) a partir del percentil 50 de les tres simulacions regionalitzades. L’escala de colors simbolitza el nivell de significació estadística de la tendència calculat a partir d’un mètode de Monte Carlo (Livezey i Chen, 1983): vermell (99 %), carabassa (95 %), groc (90 %)² i verd (sense significació).

		Tendències de la temperatura mitjana (°C/decenni)				
Variable	Estació	OBS (BAIC)	NCEP-NCAR	CTROL	RCP4.5	RCP8.5
		1971-2018	1971-2014	1971-2005	2006-2100	2006-2100
TM	Anual	+0,43	+0,31	+0,18	+0,13	+0,41
TM	Hivern	+0,19	-0,01	+0,16	+0,12	+0,33
TM	Primavera	+0,56	+0,46	+0,11	+0,13	+0,46
TM	Estiu	+0,57	+0,44	+0,20	+0,11	+0,37
TM	Tardor	+0,43	+0,35	+0,38	+0,16	+0,50
TN	Anual	+0,36	+0,20	+0,17	+0,11	+0,35
TN	Hivern	+0,09	-0,10	+0,11	+0,11	+0,30
TN	Primavera	+0,43	+0,29	+0,08	+0,11	+0,40
TN	Estiu	+0,49	+0,35	+0,18	+0,09	+0,28
TN	Tardor	+0,20	+0,28	+0,36	+0,14	+0,42
TX	Anual	+0,51	+0,42	+0,26	+0,15	+0,48
TX	Hivern	+0,27	+0,08	+0,21	+0,13	+0,36
TX	Primavera	+0,68	+0,62	+0,07	+0,15	+0,51
TX	Estiu	+0,64	+0,52	+0,23	+0,13	+0,46
TX	Tardor	+0,36	+0,42	+0,44	+0,18	+0,58

Per a les sèries climàtiques de temperatura per al conjunt de Catalunya (SMC, 2019b) no s’hi observa aquest comportament diferenciat per a l’estiu respecte de la primavera o de la tardor, però sí que l’increment durant la primavera és molt similar al de l’estiu. Així, la TM presenta una tendència estadísticament significativa a la primavera de +0,56 °C per decenni durant el període 1971-2018 en front de l’estiu amb +0,57 °C per decenni. La tardor mostra un ritme d’escalfament de +0,43 °C per decenni i a l’hivern es registra un +0,19 °C per decenni. Per a la TN aquestes tendències són menors, en canvi per a la TX són majors, produint-se el ritme d’augment més important per a la primavera, amb +0,68 °C per decenni, que no pas per a l’estiu.

Aquest comportament diferenciat entre estacions de l’any, però sobretot que destaquí el ritme d’augment de la temperatura per la primavera o la tardor amb comparació a l’estiu ja s’havia observat amb estudis previs a d’altres àrees de Catalunya, com l’Àrea Metropolitana de Barcelona (Altava-Ortiz et al., 2017), o de l’àmbit de la Mediterrània occidental, com la sèrie climàtica de l’Aeroport de Palma (Mallorca, Illes Balears) (Jansà et al., 2017). Tot i així, totes les projeccions anteriors que s’havien desenvolupat o analitzat des de l’SMC per al conjunt de Catalunya amb tècniques dinàmiques de regionalització climàtica sempre havien donat l’estiu com l’estació amb un major ritme d’augment seguida de ben a prop per la tardor i en menor mesura per la primavera (Barrera-Escoda i Cunillera, 2011a,b; Cunillera et al., 2012). Tampoc s’havia trobat aquest comportament anòmal de la tardor en l’anàlisi de tots els conjunts de simulacions globals del CMIP5 així com regionalitzades climàticament per al conjunt de Catalunya disponibles quan es va elaborar el capítol dedicat a les "Projeccions climàtiques" (Calbó et al., 2016) del

Tercer Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya (TICCC, *Martín-Vide et al.*, 2016). Aquest comportament tampoc es troba comparant estudis recents paral·lels de regionalitzacions tan dinàmiques, desenvolupades per exemple en el marc del projecte internacional EURO-CORDEX (*Jacob et al.*, 2020), com estadístiques, desenvolupades per exemple per l'Agència Estatal de Meteorologia d'Espanya (*Amblar Francés et al.*, 2017).

Així doncs el que s'ha trobat aquí molt probablement és conseqüència de la tècnica estadística de regionalització climàtica emprada i sobretot d'una correcció emprada en la regionalització climàtica estadística de la temperatura davant la manca de situacions anàlogues en el passat davant situacions excepcionals de temperatura molt elevada en altura que es donarien en el futur i sobretot per a l'estiu. No obstant això, el que sembla molt clar és que per al proper trentenni 2021-2050 s'ha d'esperar un allargament de les condicions estiuenques o de l'estiu: avançant-se la seva arribada cap a l'inici de maig i retardant-se la seva fi cap a final de setembre o inici d'octubre.

Si observem les tendències obtingudes amb la simulació regionalitzada a partir de les reanàlisis de l'NCEP-NCAR (Taula 3.1, podem ja intuir que la correcció aplicada podria ser la causant que la tardor destaquí respecte de l'estiu i la primavera. La tendència per a la tardor (+0,35 °C per decenni) amb les reanàlisis de l'NCEP-NCAR ja no destaca respecte l'estiu (+0,44 °C per decenni), sent la primavera (+0,46 °C per decenni) l'estació que s'hauria escalfat més tot i que a un ritme gairebé idèntic al de l'estiu, que també és present en les observacions (Taula 3.1). En canvi, l'hivern no està ben reproduït perquè s'obté una tendència que no és estadísticament significativa. Aquí la metodologia emprada té certes mancances i s'haurien de considerar menys robustes les projeccions per a l'hivern que no pas a l'estiu o la primavera així com la tardor.

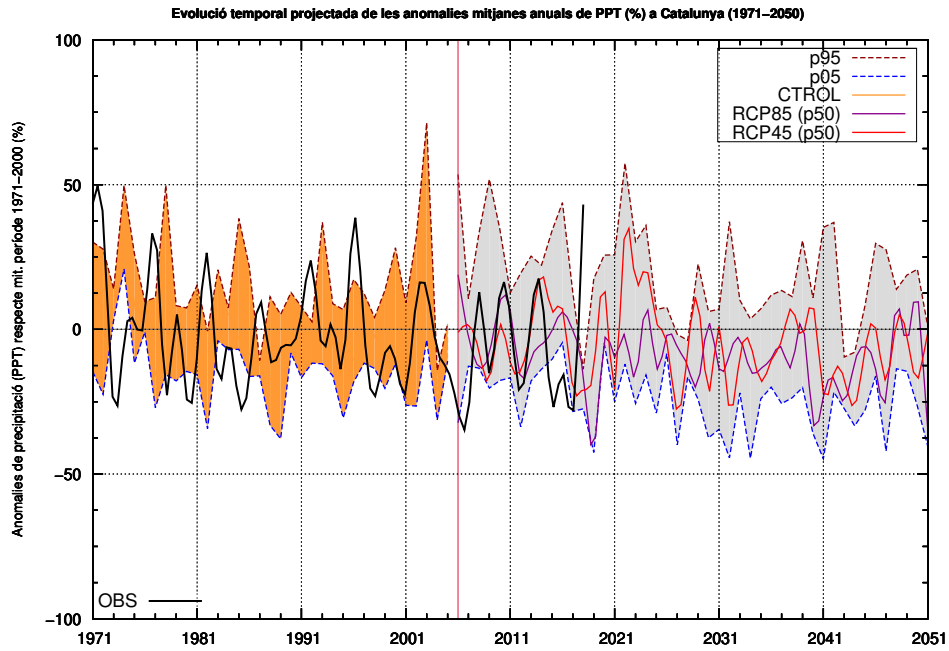
L'evolució projectada per a la PPT, presenta una gran variabilitat interanual (successió d'anys molt plujosos i anys molt secs) major que l'observada durant el període de control (Figura 3.7), la qual cosa fa difícil trobar una tendència clara i robusta en aquesta variable (veure Taula 3.2). Aquest fet és sobretot molt significatiu per a l'hivern i la tardor, on es projecten anomalies excepcionals en els valors mitjans superiors al +250 % així com un nombre apreciable d'anomalies per damunt del +100 %. Per tant, les simulacions estarien projectant un augment de la freqüència d'esdevenir importants temporals de pluja durant l'hivern o la tardor al conjunt de Catalunya com els recents casos del temporal Gloria de gener de 2020 (*SMC*, 2020) o els aiguats d'octubre de 2019 (*SMC*, 2019a) que han provocat molts danys i pèrdues econòmiques a gran part del país.

Així doncs, l'evolució temporal és molt incerta per a la PPT, però sembla haver-hi una tendència a una disminució general de la PPT mitjana anual, sobretot segons l'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. Aquestes reduccions cap a l'any 2050, segons l'RCP8.5, podrien assolir valors de l'ordre del -40 % per a tot el domini i la PPT mitjana anual, de cara a la primavera de l'ordre del -45 %, i a l'estiu de l'ordre del -75 % (Figura 3.7).

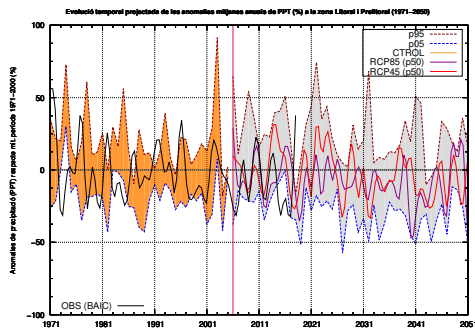
Geogràficament, les disminucions projectades en la PPT cap a l'any 2050 s'esperen a les comarques del nord-est i al prelitoral tarragoní, mentre que les menors es donarien al Pirineu occidental. Així doncs, tenim una reducció projectada de la PPT mitjana anual, segons l'RCP8.5 i per al període 2021-2050, per davall del -15 % al nord-est de Catalunya (Figura 3.8).

L'anàlisi de la tendència lineal que presenten les evolucions projectades de la PPT per a tot Catalunya (Taula 3.2) mostren per a les simulacions forçades amb l'RCP8.5 significació estadística (amb nivells de confiança entre el 90 i el 99 %, depenent de l'escala temporal considerada),

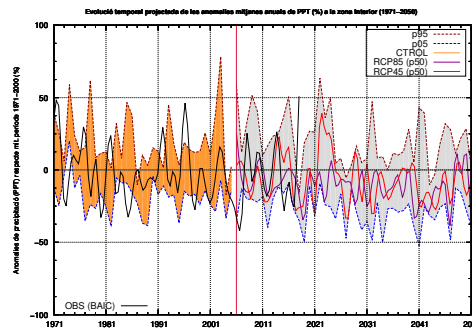
### Precipitació mitjana anual



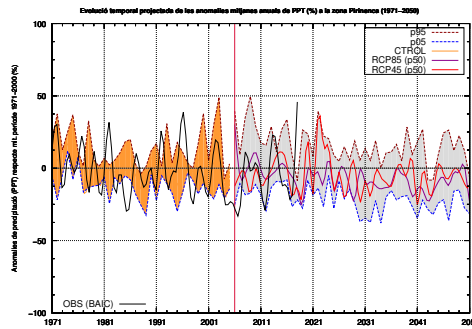
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



(c) Zona interior



(d) Zona pirinenca

Figura 3.7: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies (en %) de la precipitació (PPT) mitjana anual respecte el valor mitjà del període de control (1971-2000) per al conjunt de Catalunya (a), zona litoral i prelitoral (b), zona interior (c) i zona pirinenca (d).



### Precipitació mitjana anual

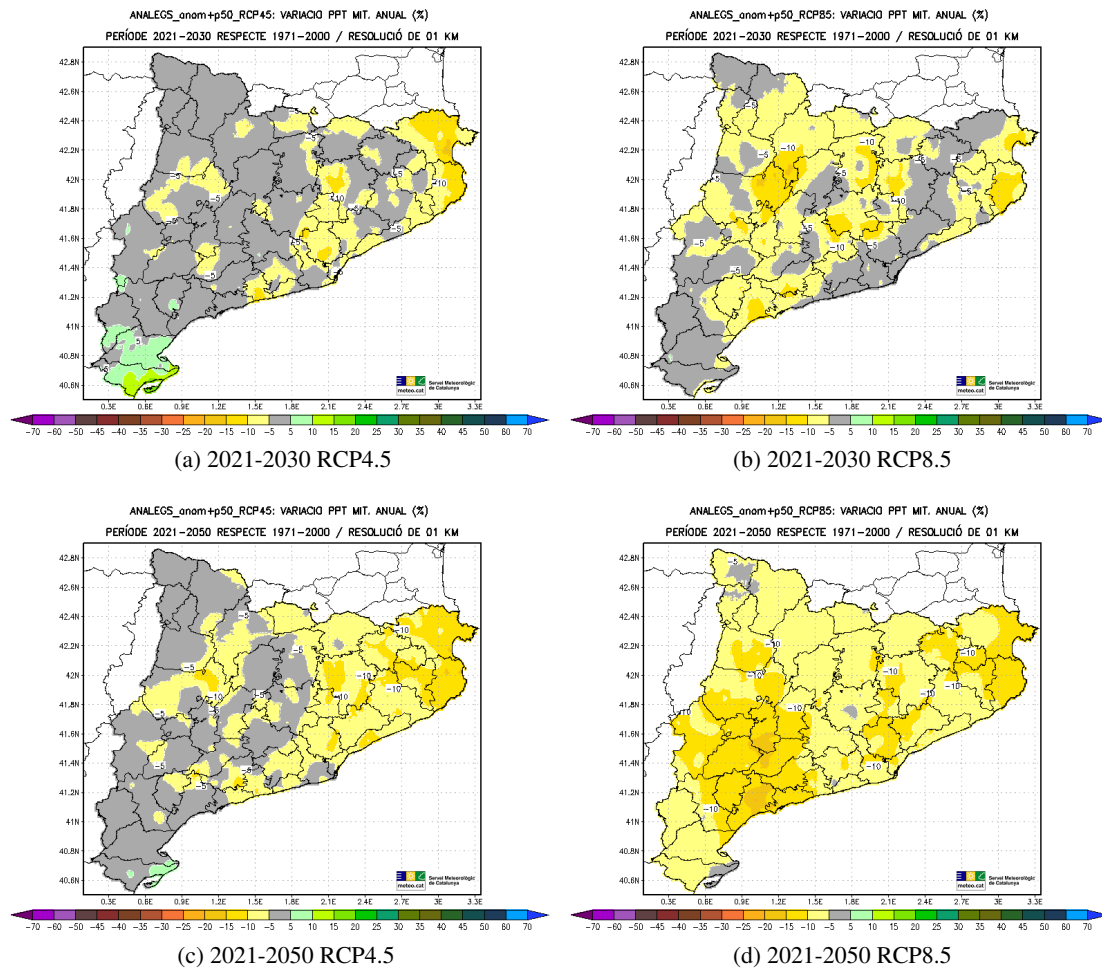


Figura 3.8: Variació projectada (en %) de la Precipitació (PPT) mitjana anual respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

tot i que per a la PPT d'hivern la significació de la tendència és molt baixa (del 90 %). Cal destacar la tendència en la PPT anual segons l'RCP8.5 de  $-2,5$  % per decenni així com per a la primavera i l'estiu amb valors de la tendència per davall dels  $-3$  % per decenni. Per a les simulacions forçades amb l'RCP4.5, només la PPT d'hivern i primavera presenten una tendència lineal estadísticament significativa amb un nivell de confiança del 99 % de  $+0,5$  i  $-2,7$  % per decenni, respectivament. Crida l'atenció l'augment projectat per a l'hivern, però en general és una estació força seca al conjunt del país, tret del Pirineu, amb la qual cosa aquest augment lleu projectat no implicaria un augment excessiu en quantitat de mil·límetres per a la PPT mitjana d'hivern i no s'arribaria a compensar la reducció projectada per a la primavera, que sol ser una estació força plujosa al conjunt del país.

Comparant els valors de les tendències observades per a tot Catalunya, calculada a partir de les 70 sèries climàtiques de precipitació del BAIC per al període 1971-2018, amb les de la sèrie de control, es veu que no estan del tot ben capturades aquestes tendències amb la metodologia i models emprats (Taula 3.2). Encara que és pitjor aquesta comparació si s'analitzen les tendències obtingudes amb la simulació a partir de les renàlisis de l'NCEP-NCAR, les quals

Taula 3.2: Tendències de la precipitació a partir de la sèrie amitjanada per al conjunt de tot Catalunya a partir de les 70 sèries climàtiques de precipitació del BAIC durant el període 1971-2018, la projectada per les reanàlisis de l’NCEP-NCAR (1971-2014) així com la projectada per al període de control (1971-2005) i al llarg del s. XXI (2006-2100) a partir del percentil 50 de les tres simulacions regionalitzades. L’escala de colors simbolitza el nivell de significació estadística de la tendència calculat a partir d’un mètode de Monte Carlo (Livezey i Chen, 1983): vermell (99 %), carabassa (95 %), groc (90 %)³ i verd (sense significació).

		Tendències de la precipitació (% per decenni)				
Variable	Estació	OBS (BAIC)	NCEP-NCAR	CTROL	RCP4.5	RCP8.5
		1971-2018	1971-2014	1971-2005	2006-2100	2006-2100
PPT	Anual	-2,4	-8,4	-2,2	-0,6	-2,5
PPT	Hivern	-8,2	-14,2	-0,3	+0,5	-2,0
PPT	Primavera	-1,4	-9,1	-1,2	-2,7	-3,1
PPT	Estiu	-7,2	-11,3	-6,1	-0,7	-3,3
PPT	Tardor	+3,8	+1,0	-0,9	-0,6	-1,7

malgrat ser del mateix signe que les observades són en valor absolut més grans i estadísticament significatives per a la PPT anual, d’hivern i primavera, estacions per a les quals les observacions no mostren cap significació estadística en les seves tendències. Tornant a les simulacions de control, almenys la tendència per a la PPT d’estiu està acceptablement ben reproduïda, tot i que estadísticament significativa amb un nivell de confiança del 90 % (baix). Les simulacions de control desenvolupades donen valors de la tendència del mateix signe que les observades, tret de la tardor, per a la qual les observacions mostren una tendència positiva, malgrat que no és estadísticament significativa.

Sobre les projeccions dels diferents índexs climàtics termomètrics que s’han analitzat es troben els següents resultats principals:

Els DC, DT i DLG es projecten que augmentin acusadament de manera independent de l’escenari i model considerats, amb increments que per al conjunt de Catalunya i cap a l’any 2050 podrien arribar a ser superiors als +50, +15 i +40 dies, respectivament segons l’RCP8.5.

Les TR també augmentarien a gran part del territori, però sobretot a la zona litoral, on es podrien assolir increments superiors als +25 dies cap a mitjan s. XXI. També per al litoral s’espera un augment apreciable per a les TO, que podria situar-se al voltant dels +10 dies en els punts més càlids de la costa, costa Central i delta de l’Ebre. A més, cal remarcar que zones de l’interior, que en l’actualitat no tenen cap registre de TR, en tindran alguns gairebé cada estiu. Inclús, zones de l’interior o del prelitoral, que actualment no tenen cap registre de TO, s’espera que en puguin tenir algun durant alguns estius d’aquí 15-30 anys.

Per contra, els DG i DFR es projecten que disminueixin considerablement, independentment de l’escenari i model considerats, amb valors per davall dels -25 i -60 dies respectivament, segons l’RCP8.5 i cap al 2050. Per al Pirineu aquesta reducció podria arribar a valors per sota dels -60 i -70 dies, respectivament. Àmplies zones del litoral deixarien de registrar alguna glaçada gairebé cada hivern.

En relació als índexs climàtics pluviomètrics, es projecta una disminució considerable en els n5PPT independentment de l’escenari i model considerat, amb valors per davall dels -20 dies

Taula 3.3: Tendències dels índexs climàtics de temperatura i precipitació a partir de la sèrie areal observada amb la malla d'observacions a 1 km per al conjunt de tot Catalunya durant el període 1971-2015, la projectada per les reanàlisis de l'NCEP-NCAR (1971-2014) així com la projectada per al període de control (1971-2005) i el període 2006-2100 a partir del percentil 50 de les tres simulacions regionalitzades. L'escala de colors simbolitza el nivell de significació estadística de la tendència calculat a partir d'un mètode de Monte Carlo (Livezey i Chen, 1983): vermell (99 %), carabassa (95 %), groc (90 %)⁴ i verd (sense significació).

Tendències dels índexs climàtics de temperatura i precipitació (dies/decenni)						
Variable	Estació	OBS a 1 km	NCEP-NCAR	CTROL	RCP4.5	RCP8.5
		1971-2015	1971-2014	1971-2005	2006-2100	2006-2100
DT	Anual	+3,9	+0,7	-0,1	+0,6	+2,9
DC	Anual	+3,7	+4,4	+1,4	+2,2	+6,6
DG	Anual	-1,0	-1,2	-1,9	-0,9	-2,7
DFR	Anual	-5,1	-4,9	-4,2	-2,0	-5,7
DLG	Anual	+2,4	-1,0	+2,9	+1,3	+3,8
TR	Anual	+1,0	+1,1	+0,6	+0,6	+2,5
TO	Anual	+0,00	+0,01	+0,10	+0,01	+0,07
n5PPT	Anual	-2,5	-5,6	-1,0	-0,8	-2,1
n50PPT	Anual	-0,02	-0,10	-0,02	+0,01	-0,04
LMRS	Anual	+0,3	-1,9	+0,9	+0,4	+1,0
Tendències (% per decenni)						
p95PPT	Anual	+0,5	-7,2	-2,4	-0,6	-2,4

tant per al conjunt de Catalunya com per a les tres grans àrees geogràfiques del país. 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 n50PPT al voltant d'un dia més. Tot i que aquesta variació projectada pugui semblar un valor baix, és del mateix ordre que el valor mitjà anual d'aquest índex a gran part del país i representa el 50% del seu valor mitjà al terç sud de Catalunya.

S'espera que la LMRS augmenti a tot el territori fent més intenses les sequeres, especialment a tota la zona litoral-prelitoral i les Terres de Ponent, on es podria assolir un augment per damunt dels +20 dies cap al 2050. Aquest augment és preocupant, perquè els majors augments projectats es donarien a zones agrícoles importants del país amb un més que previsible augment de les necessitats de reg d'aquestes zones.

Tots els índexs termopluiomètrics analitzats, excepte per al p95PPT, presenten una tendència futura al llarg del s. XXI estadísticament significativa amb un nivell de confiança del 99 % (veure Taula 3.3) així com una tendència independentment de l'escenari d'emissions considerat, d'augment per als DC, DT, DLG, la LMRS i les TR i TO; i de disminució per als DG, DFR i n5PPT. Com era d'esperar les tendències projectades són majors en valor absolut per a l'RCP8.5 que no pas per a l'RCP4.5. En general, les projeccions desenvolupades reforcen el signe de les tendències observades en el període 1971-2018, excepte per al p95PPT en què són de signe contrari, i per a alguns índexs les fan estadísticament significatives, com és el cas dels DG, n50PPT i les TO. Pel que fa referència a com les simulacions reproduïxen correctament les tendències observades doncs depèn molt de l'índex. Així es reproduïxen correctament per als DG, DFR, n50PPT i TR, i per la resta no tan bé, sobretot per al p95PPT en què les simulacions donen una tendència de signe contrari a l'observada.

### 3.4 Quadre resum de le variacions projectades

A la Taula 3.4 es resumeixen els valors de la variació projectada per als períodes 2021-2030 i 2021-2050 segons els escenaris RCP4.5 i RCP8.5 amitjanats per al conjunt de Catalunya i per a les diferents variables analitzades. També es troben els valors mínims i màxims d'aquestes variacions dins de tot el territori català. Tots aquests valors s'han calculat a partir del percentil 50 de la variacions simulades pels tres models globals emprats (alemany, MPI-ESM; americà, GFDL-ESM2G i canadenc, CanESM2).

Taula 3.4: Resum amb els valors mitjans, màxims i mínims de les variacions projectades amitjanats per al conjunt de Catalunya segons les diferents variables analitzades, escenaris considerats (RCP4.5 i RCP8.5) i períodes 2021-2030 i 2021-2050. Els valors de la taula han estat calculats a partir del percentil 50 de les variacions simulades pels tres models globals utilitzats en el present estudi (models alemany, MPI-ESM; americà, GFDL-ESM2G i canadenc, CanESM2).

Catalunya		RCP45	RCP45	RCP85	RCP85
Variable (unitats)	Període	p50 [min ; max]	p50 [min ; max]	p50 [min ; max]	p50 [min ; max]
		2021-2030	2021-2050	2021-2030	2021-2050
<b>TM (°C)</b>	<b>Anual</b>	<b>+1,7 [+0,3 ; +3,5]</b>	<b>+2,1 [+0,7 ; +3,9]</b>	<b>+1,7 [+0,4 ; +3,6]</b>	<b>+2,1 [+0,9 ; +3,7]</b>
TM (°C)	Hivern: DGF	+1,4 [-0,2 ; +3,5]	+1,5 [+0,0 ; +3,6]	+1,5 [+0,1 ; +3,7]	+1,7 [+0,1 ; +3,8]
TM (°C)	Primavera: MAM	+0,9 [-0,6 ; +2,9]	+1,6 [+0,1 ; +3,6]	+1,6 [+0,3 ; +3,4]	+1,7 [+0,1 ; +3,6]
TM (°C)	Estiu: JJA	+1,7 [+0,6 ; +3,7]	+2,0 [+0,8 ; +4,0]	+1,7 [+0,6 ; +3,5]	+2,0 [+0,8 ; +3,9]
TM (°C)	Tardor: SON	+2,7 [+1,2 ; +4,0]	+2,8 [+1,3 ; +4,1]	+2,3 [+0,8 ; +3,6]	+2,8 [+1,4 ; +4,2]
<b>TX (°C)</b>	<b>Anual</b>	<b>+1,9 [+0,1 ; +4,0]</b>	<b>+2,2 [+0,5 ; +4,5]</b>	<b>+1,9 [+0,3 ; +4,1]</b>	<b>+2,4 [+0,7 ; +4,3]</b>
TX (°C)	Hivern: DGF	+1,4 [-0,5 ; +3,9]	+1,5 [-0,2 ; +3,8]	+1,5 [-0,2 ; +4,0]	+1,7 [+0,0 ; +4,1]
TX (°C)	Primavera: MAM	+0,9 [-1,0 ; +3,1]	+1,6 [-0,2 ; +3,9]	+1,7 [-0,1 ; +3,7]	+1,7 [-0,2 ; +3,9]
TX (°C)	Estiu: JJA	+1,9 [-0,4 ; +4,5]	+2,3 [-0,2 ; +4,9]	+2,0 [-0,3 ; +4,5]	+2,3 [-0,2 ; +4,8]
TX (°C)	Tardor: SON	+3,1 [+0,8 ; +4,8]	+3,2 [+0,8 ; +4,9]	+2,5 [+0,7 ; +4,5]	+3,2 [+0,7 ; +5,1]
<b>TN (°C)</b>	<b>Anual</b>	<b>+1,5 [-0,3 ; +3,1]</b>	<b>+1,9 [+0,7 ; +3,5]</b>	<b>+1,5 [+0,3 ; +3,1]</b>	<b>+1,9 [+0,8 ; +3,4]</b>
TN (°C)	Hivern: DGF	+1,5 [+0,0 ; +3,5]	+1,5 [+0,0 ; +3,6]	+1,5 [-0,1 ; +3,6]	+1,7 [+0,3 ; +3,8]
TN (°C)	Primavera: MAM	+1,0 [-0,4 ; +2,8]	+1,6 [+0,2 ; +3,6]	+1,6 [+0,4 ; +3,5]	+1,6 [+0,2 ; +3,6]
TN (°C)	Estiu: JJA	+1,4 [+0,3 ; +2,9]	+1,8 [+0,6 ; +3,2]	+1,5 [+0,3 ; +2,9]	+1,7 [+0,6 ; +3,1]
TN (°C)	Tardor: SON	+2,2 [+0,8 ; +3,4]	+2,4 [+1,2 ; +3,6]	+2,0 [+0,9 ; +3,2]	+2,4 [+1,2 ; +3,7]
<b>PPT (%)</b>	<b>Anual</b>	<b>-2,7 [-16,7 ; +17,6]</b>	<b>-5,3 [-16,0 ; +7,8]</b>	<b>-5,6 [-16,1 ; +5,9]</b>	<b>-9,4 [-20,3 ; -2,0]</b>
PPT (%)	Hivern: DGF	-4,5 [-30,4 ; +23,0]	-5,9 [-23,3 ; +16,3]	-8,2 [-26,6 ; +22,9]	-3,9 [-18,0 ; +11,7]
PPT (%)	Primavera: MAM	+8,6 [-11,3 ; +35,3]	-2,8 [-16,5 ; +9,9]	+0,9 [-14,9 ; +24,2]	-2,1 [-10,7 ; +12,4]
PPT (%)	Estiu: JJA	-8,3 [-27,3 ; +19,7]	-18,7 [-37,8 ; +6,4]	-15,6 [-39,0 ; +12,9]	-25,8 [-46,2 ; -10,8]
PPT (%)	Tardor: SON	-9,7 [-33,8 ; +29,5]	-5,7 [-22,5 ; +9,7]	-10,2 [-28,2 ; +19,5]	-12,4 [-30,6 ; +9,4]
DG (dies)	Anual	-16,0 [-66,6 ; +9,6]	-17,6 [-74,2 ; +7,0]	-16,0 [-66,6 ; +9,6]	-18,0 [-72,8 ; +7,8]
DFR (dies)	Anual	-26,8 [-56,5 ; +3,2]	-31,7 [-63,9 ; +1,2]	-27,5 [-58,4 ; +4,0]	-33,3 [-63,3 ; +1,1]
DLG (dies)	Anual	+20,9 [-9,6 ; +61,6]	23,9 [-8,7 ; +69,4]	+21,5 [-9,8 ; +64,1]	+24,6 [-7,9 ; +67,4]
TR (dies)	Anual	+6,8 [-3,9 ; +50,3]	+8,9 [-1,9 ; +58,2]	+7,2 [-1,4 ; +53,6]	+9,6 [-1,2 ; +58,8]
TO (dies)	Anual	+0,1 [-1,0 ; +11,1]	+0,1 [-0,5 ; +13,2]	+0,1 [-0,4 ; +11,5]	+0,1 [-0,2 ; +14,1]
DC (dies)	Anual	+22,5 [-3,0 ; +49,6]	+27,0 [-1,5 ; +53,9]	+22,1 [-2,4 ; +47,4]	+28,6 [-0,1 ; +55,5]
DT (dies)	Anual	+4,6 [-1,1 ; +27,5]	+6,0 [-0,5 ; +31,6]	+4,7 [-0,5 ; +26,2]	+6,8 [-0,2 ; +33,0]
LMRS (dies)	Anual	+0,5 [-7,1 ; +12,9]	+1,3 [-6,0 ; +9,6]	+1,5 [-5,2 ; +13,2]	+2,7 [-4,3 ; +12,6]
n5PPT (dies)	Anual	-1,7 [-10,5 ; +6,0]	-3,5 [-8,9 ; +2,2]	-4,6 [-12,2 ; +4,7]	-6,1 [-11,8 ; +1,3]
n50PPT (dies)	Anual	+0,1 [-0,8 ; +1,4]	+0,0 [-0,8 ; +1,0]	+0,1 [-0,8 ; +1,1]	+0,0 [-0,7 ; +0,6]
p95PPT (%)	Anual	-3,9 [-22,1 ; +18,0]	-6,9 [-21,0 ; +6,3]	-7,8 [-27,4 ; +12,3]	-10,7 [-25,7 ; +0,9]

<sup>4</sup>El llinard del 90 % de nivell de confiança és considerat massa baix com per a extreure conclusions respecte a la notorietat o no d'una tendència.

## Bibliografia

- Altava-Ortiz, V. (2010), Caracterització i monitoratge de les sequeres a Catalunya i nord del País Valencià. Càlcul d'escenaris climàtics per al segle XXI, Tesi Doctoral, Publicació Interna, Departament d'Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, 296 pp.
- Altava-Ortiz, V., A. Barrera-Escoda, i J. Amaro (2017), Escenaris climàtics regionalitzats a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (Projecte ESAMB). Projeccions estadístiques regionalitzades. Fase II, *Informe tècnic*, 382 pp., Servei Meteorològic de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya, Barcelona., <http://scur.cat/HJ579E>.
- Amblar Francés, P., M. J. Casado Calle, A. Pastor Saavedra, P. Ramos Calzado, i E. Rodríguez Camino (2017), *Guía de escenarios regionalizados climáticos sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5*, 102 pp., Agència Estatal de Meteorologia, Ministeri d'Agricultura i Pesca, Alimentació i Medi Ambient, Govern d'Espanya, Madrid, Espanya, <http://scur.cat/2C0LOG>.
- Barrera-Escoda, A., i J. Cunillera (2011a), Climate change projections for Catalonia (NE Iberian Peninsula). Part I: Regional climate modeling, *Tethys*, 8, 75–87, doi:10.3369/tethys.2011.8.08.
- Barrera-Escoda, A., i J. Cunillera (2011b), *Primer informe sobre la generació d'escenaris climàtics regionalitzats per a Catalunya durant el segle XXI*, 95 pp., Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, <http://scur.cat/J3CLEY>.
- Barrera-Escoda, A., i J. Cunillera (2019), *Informe d'avaluació de les projeccions climàtiques emprades a l'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic a Catalunya ESCACC 2013-2020. Anàlisi de les projeccions regionalitzades a 10 km de resolució espacial del projecte ESCAT per al període 2001-2018*, 61 pp., Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, <http://scur.cat/GA5KGA>.
- Barrera-Escoda, A., M. Gonçalves, D. Guerreiro, J. Cunillera, i J. M. Baldasano (2014), Projections of temperature and precipitation extremes in the North Western Mediterranean Basin by dynamical downscaling of climate scenarios at high resolution (1971–2050), *Climatic change*, 122(4), 567–582, doi:10.1007/s10584-013-1027-6.
- Calbó, J., A. Sánchez-Lorenzo, J. Cunillera, i A. Barrera-Escoda (2010), Projeccions i escenaris de futur, *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Institut d'Estudis*

- Catalans i Generalitat de Catalunya. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya, Barcelona*, pp. 183–239, [http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/segon-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/1part/06\\_projeccions\\_i\\_escenaris\\_de\\_futur.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/segon-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/1part/06_projeccions_i_escenaris_de_futur.pdf).
- Calbó, J., M. Gonçalves, A. Barrera-Escoda, J. García-Serrano, F. Doblas-Reyes, V. Gue-mas, J. Cunillera, i V. Altava-Ortiz (2016), Projeccions climàtiques i escenaris de futur, *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Institut d'Estudis Cata-lans i Generalitat de Catalunya. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya, Barcelona*, pp. 113–133, <http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/1part/5-Projeccions-climatiques-i-escenaris-de-futur.pdf>.
- Chylek, P., J. Li, M. Dubey, M. Wang, i G. Lesins (2011), Observed and model simulated 20th century Arctic temperature variability: Canadian Earth System Model CanESM2, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 11(8), 22,893–22,907, doi:10.5194/acpd-11-22893-2011.
- Cunillera, J., A. Barrera-Escoda, J. Baldasano, M. Gonçalves, i D. Gutiérrez (2012), *Ge-neració d'escenaris climàtics amb alta resolució a Catalunya. Projecte ESCAT*, 57 pp., Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generali-tat de Catalunya i Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputa-ción, Barcelona, <http://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2015/05/29071222/Informe-ESCAT-NOV2012.pdf>.
- Dunne, J. P., J. G. John, A. J. Adcroft, S. M. Griffies, R. W. Hallberg, E. Shevliakova, R. J. Stouffer, W. Cooke, K. A. Dunne, M. J. Harrison, et al. (2012), GFDL's ESM2 global coupled climate-carbon Earth System Models. Part I: Physical formulation and baseline simulation characteristics, *Journal of Climate*, 25(19), 6646–6665, doi:10.1175/JCLI-D-11-00560.1.
- Giorgetta, M. A., J. Jungclaus, C. H. Reick, S. Legutke, J. Bader, M. Böttinger, V. Brovkin, T. Crueger, M. Esch, K. Fieg, et al. (2013), Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5(3), 572–597, doi:10.1002/jame.20038.
- Gonçalves, M., A. Barrera-Escoda, D. Guerreiro, J. Baldasano, i J. Cunillera (2014), Seasonal to yearly assessment of temperature and precipitation trends in the North Western Mediterranean Basin by dynamical downscaling of climate scenarios at high resolution (1971–2050), *Climatic change*, 122(1-2), 243–256, doi:10.1007/s10584-013-0994-y.
- Gonçalves-Ageitos, M., A. Barrera-Escoda, J. M. Baldasano, i J. Cunillera (2015), Modelling wind resources in climate change scenarios in complex terrains, *Renewable Energy*, 76, 670–678, doi:10.1016/j.renene.2014.11.066.
- Grell, G. A., J. Dudhia, i D. R. Stauffer (1994), A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), *NCAR Technical Note 398*, 122 pp., Mesoscale and Microscale Meteorology Division.
- Haiden, T., G. Sandu, I. Balsamo, G. Arduini, i A. Beljaars (2018), Addressing biases in near-surface forecasts, *ECMWF Newsletter*, 157, 20–25, doi:10.21957/eng71d53th, <https://www.ecmwf.int/file/277768/download?token=0Fm3G9Jd>.
- Houghton, J. T., L. G. Meiro Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenburg, i K. Maskell (1996), *Climate change 1995: The science of climate change: contribution of working group I*

- to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, vol. 2, 584 pp., IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, RU.
- IPCC (2013), *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-AR5)*. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)], 1535 pp., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_all\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf).
- Jacob, D., C. Teichmann, S. Sobolowski, E. Katragkou, I. Anders, M. Belda, R. Benestad, F. Boberg, E. Buonomo, R. M. Cardoso, R. Fealy, J. Fernández, M. A. Gaertner, M. García-Díez, F. Giorgi, A. Gobiet, K. Goergen, J. J. Gómez-Navarro, J. J. González-Alemán, C. Gutiérrez, J. M. Gutiérrez, I. Güttler, A. Haensler, T. Halenka, S. Jerez, P. Jiménez-Guerrero, R. G. Jones, K. Keuler, E. Kjellström, S. Knist, S. Kotlarski, D. Maraun, E. van Meijgaard, P. Mercogliano, J. P. Montávez, A. Navarra, G. Nikulin, N. de Noblet-Ducoudré, H.-J. Panitz, S. Pfeifer, M. Piazza, E. Pichelli, J.-P. Pietikäinen, A. F. Prein, S. Preuschmann, D. Rechid, B. Rockel, R. Romera, E. Sánchez, K. Sieck, P. M. M. Soares, S. Somot, L. Srnec, S. L. Sørland, P. Termonia, H. Truhetz, R. Vautard, K. Warrach-Sagi, i V. Wulfmeyer (2020), Regional climate downscaling over Europe: Perspectives from the EURO-CORDEX community, *Regional Environmental Change*, 20(51), doi:10.1007/s10113-020-01606-9.
- Jansà, A., V. Homar, R. Romero, S. Alonso, J. A. Guijarro, i C. Ramis (2017), Extension of summer climatic conditions into spring in the Western Mediterranean area, *International Journal of Climatology*, 37(4), 1938–1950, doi:10.1002/joc.4824.
- Livezey, R. E., i W. Y. Chen (1983), Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques, *Monthly Weather Review*, 111(1), 46–59.
- Marsland, S. J., H. Haak, J. H. Jungclaus, M. Latif, i F. Röske (2003), The Max-Planck-Institute global ocean/sea ice model with orthogonal curvilinear coordinates, *Ocean Modelling*, 5(2), pp. 91–127.
- Martín-Vide, J. (1992), El Clima, A *Geografia General dels Països Catalans*, vol. 1, pp. 1–110, Enciclopèdia Catalana, Barcelona.
- Martín-Vide, J., O. Puig-Godes, A. Queralt-Bassa, J. Ros-Aragonès, i S. Samitier-Martí (Eds.), (2016), *Tercer Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya*, 624 pp., Generalitat de Catalunya i Institut d'Estudis Catalans, <http://scur.cat/KBNB00>.
- Meehl, G. A., C. Covey, K. E. Taylor, T. Delworth, R. J. Stouffer, M. Latif, B. McAvaney, i J. F. Mitchell (2007), The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(9), 1383–1394, doi:10.1175/BAMS-88-9-1383.
- OCCC (2012), *Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic (ESCACC). Horitzó 2013-2020*, 189 pp., Oficina Catalana del Canvi Climàtic, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, <http://scur.cat/FK753Z>.
- Pachauri, R. K., M. Allen, V. Barros, J. Broome, W. Cramer, R. Christ, J. Church, L. Clarke, Q. Dahe, P. Dasgupta, et al. (2014), *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 166 pp., IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, RU.

- Roeckner, E., G. Bäuml, L. Bonaventura, R. Brokopf, M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I. Kirchner, L. Kornbluh, E. Manzini, A. Rhodin, U. Schlese, U. Schulzweida, i A. Tompkins (2003), The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I, *Report No. 349*, 127 pp., Max-Planck Institut für Meteorologie, Hamburg, Alemanya, [http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/publikationen/Reports/max\\_scirep\\_349.pdf](http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/publikationen/Reports/max_scirep_349.pdf).
- Sairouni, A., J. Moré, J. Toda, J. R. Miró, M. Aran, i J. Cunillera (2007), *Verificació dels models de mesoescala operatius al Servei Meteorològic de Catalunya*, 78 pp., Notes d'Estudi del Servei Meteorològic de Catalunya, núm. 71. Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Barcelona, <http://scur.cat/ZLK0KM>.
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, i J. G. Powers (2005), A description of the Advanced Research WRF Version 2, *NCAR Technical Note NCAR/TN-468+STR*, 88 pp., Mesoscale and Microscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, EUA., [http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw\\_v2.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v2.pdf).
- SMC (2013), PRESCAT (PRedicció ESTadística per conjunts a CATalunya), Miscel·lània del Servei Meteorològic de Catalunya, <http://scur.cat/34NPJ0>, publicat el 13-06-2013.
- SMC (2019a), *El temporal de pluja ha deixat més de 200 mm al voltant de les muntanyes de Prades*, Nota de Premsa. Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, <http://scur.cat/37YN9J>, publicat el 23-10-2019.
- SMC (2019b), *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics (BAIC). Any 2018*, 85 pp., Àrea de Climatologia, Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, <https://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2019/11/18121230/BAIC-2018.pdf>, publicat el 04-06-2019.
- SMC (2020), *Balanç d'una llevantada històrica a Catalunya*, Nota de Premsa. Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, <http://scur.cat/DJF7AN>, publicat el 24-01-2020.
- Taylor, K. E., R. J. Stouffer, i G. A. Meehl (2012), An overview of CMIP5 and the experiment design, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485–498, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1.
- van Vuuren, D. P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.-F. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S. J. Smith, i S. K. Rose (2011), The Representative Concentration Pathways: An overview, *Climatic Change*, 109(1), 5–31, doi:10.1007/s10584-011-0148-z.